

Università degli Studi di Cagliari  
Scuola di dottorato in Ingegneria Civile e Architettura

Dottorato di ricerca in  
Tecnologie per la Conservazione dei Beni Architettonici e Ambientali  
XXVI ciclo  
Coordinatore: prof. Ulrico Sanna

# **RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DELL'EDILIZIA STORICA**

## **Criticità e strategie d'intervento**

Tesi di: Miriam Stara  
Tutor: Caterina Giannattasio, Giuseppe Desogus

settori disciplinari:  
ICAR/19  
ING-IND/11





Università degli Studi di Cagliari

DOTTORATO DI RICERCA  
TECNOLOGIE PER LA CONSERVAZIONE DEI BENI ARCHITETTONICI E AMBIENTALI  
Ciclo XXVI

TITOLO TESI  
RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DELL'EDILIZIA STORICA. CRITICITÀ E STRATEGIE D'INTERVENTO

Settori scientifico disciplinari di afferenza  
ICAR/19  
ING-IND/11

Presentata da:  
Miriam Stara

Coordinatore Dottorato:  
prof. Ulrico Sanna

Tutor:  
Caterina Giannattasio  
Giuseppe Desogus

Esame finale anno accademico 2012-2013





La presente tesi è stata prodotta durante la frequenza del corso di dottorato in Tecnologie per la Conservazione dei Beni Architettonici e Ambientali dell'Università degli Studi di Cagliari, a.a. 2012/2013 - XXVI ciclo, con il supporto di una borsa di studio finanziata con le risorse del P.O.R. SARDEGNA F.S.E. 2007-2013 - Obiettivo competitività regionale e occupazione, Asse IV Capitale umano, Linea di Attività I.3.1 "Finanziamento di corsi di dottorato finalizzati alla formazione di capitale umano altamente specializzato, in particolare per i settori dell'ICT, delle nanotecnologie e delle biotecnologie, dell'energia e dello sviluppo sostenibile, dell'agroalimentare e dei materiali tradizionali".









# INDICE

p. 3 **Introduzione**

## **PARTE I RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DELL'EDILIZIA STORICA**

p. 13 **1. Restauro ed efficientamento energetico dell'edilizia storica: teoria e recenti applicazioni**

*Esperienze europee: Hist.Urban, 3ENCULT, GOVERNEE, New4Old, BRITA in PuBs, ReSTART, Energy Heritage. A guide.  
Esperienze italiane: A.T.T.E.S.S., Linee Guida ministeriali per l'uso efficiente del patrimonio culturale.  
Considerazioni sull'efficacia delle esperienze europee di riqualificazione energetica.*

p. 33 **2. Tecniche bioclimatiche preindustriali**

2.1 Archetipi mediterranei

*I Sassi di Matera. I Trulli della Puglia. I Dammusi e il Giardino pantesco. Le case a volta della Costiera Amalfitana.  
La casa a corte della Sardegna.*

2.2 Considerazioni sull'attuale applicabilità delle tecniche bioclimatiche

p. 69 **3. Comfort e tecnologie impiantistiche**

3.1 Il comportamento termico degli edifici storici

3.2 Storia dell'uso dell'energia e degli impianti storici

3.3 Le attuali tecnologie impiantistiche

*L'impianto di riscaldamento, raffreddamento e climatizzazione, idrico-sanitario, elettrico.*

3.4 Considerazioni su comfort e riadeguamento impiantistico

p. 109 **4. Realizzazione e integrazione degli impianti nell'architettura storica**

4.1 Il riadeguamento impiantistico nella moderna teoria del restauro

4.2 La progettazione degli impianti in un edificio storico

4.3 Esempi positivi di interventi di riadeguamento

*Palazzo di Spinola di Pellicceria a Genova. Il Convento dei Crociferi a Venezia. I Nuovi Uffizi a Firenze.*

p. 135

## **5. Il quadro normativo**

### 5.1 Tutela dei beni culturali

*Le carte del restauro, L'evoluzione legislativa nazionale nella tutela dei beni culturali. La tutela a livello locale: il caso della Regione Sardegna.*

### 5.2 Riqualificazione energetica

*Le direttive europee. La normativa nazionale. Competenze regionali e recepimento della normativa a livello locale.*

### 5.3 Lo strumento della deroga

*5.4 Criticità nel sistema normativo sul risparmio energetico in relazione alla tutela dei beni architettonici*

p. 179

## **Bibliografia**

## **PARTE II IL RIADDEGUAMENTO SOSTENIBILE DELL'EDILIZIA STORICA: IL QUARTIERE DI CASTELLO IN CAGLIARI**

p. 191

### **1. La metodologia**

#### 1.1 La ricostruzione storica e grafica

#### 1.2 Le indagini strumentali

*Le proprietà termiche dell'involucro. Lo studio del microclima interno agli edifici.*

#### 1.3 L'individuazione delle criticità energetiche

##### 1.3.1 I dati di input

##### 1.3.2 Peculiarità di calcolo nel caso di edifici storici

p. 219

### **2. Il quartiere storico di Castello**

#### 2.1 La storia del quartiere e l'evoluzione del tessuto edilizio

#### 2.2 I materiali utilizzati

#### 2.3 Le tipologie edilizie

#### 2.4 Le tecniche costruttive

*Le fondazioni. Le murature. Gli intonaci. Le volte. I solai. I pavimenti. Le coperture. Gli infissi.*

#### 2.5 L'analisi ambientale del sito e del microclima

#### 2.6 Le soluzioni tecnologiche e gli accorgimenti bioclimatici tradizionali

p. 261

### **3. I casi studio**

Premessa

3.1 Il palazzotto: palazzo Floris Thorel

3.2 La casa a schiera: l'abitazione sita in via Lamarmora 115

3.3 La ricostruzione post bellica: l'abitazione sita in Vico II Lamarmora

3.4 Gli interventi proposti e i risultati ottenuti

p. 317

### **Bibliografia**

p. 323

### **Conclusioni**

p. 333

### **Appendice: Fogli di calcolo**

p. 403

Fonti fotografiche







# INTRODUZIONE





## INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni si è reso indispensabile un processo sostenibile di sviluppo basato sulla limitazione dei consumi energetici da fonti fossili, responsabili della rottura dei delicati equilibri naturali che stiamo vivendo in questi anni.

Il settore dell'edilizia risulta essere uno dei maggiori imputati per quanto riguarda le emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera, assorbendo nel 2012, il 40% dell'energia disponibile e prodotta per l'80% da fonti non rinnovabili<sup>1</sup>. La ricca normativa in materia di riduzione dei consumi del comparto edile prevede regole sempre più stringenti che hanno favorito la realizzazione di nuovi edifici sempre più performanti. Tuttavia si è recentemente preso coscienza di come gli sforzi per il raggiungimento degli obiettivi comunitari previsti dal "Pacchetto Clima-Energia"<sup>2</sup> saranno vani se non si agirà in maniera capillare anche sul patrimonio costruito.

A ciò si affianca la necessità di arginare il fenomeno dello spopolamento dei centri storici a favore di nuove

periferie, dotate di edifici più confortevoli, e il conseguente consumo indiscriminato di suolo.

Il nuovo interesse per il recupero del costruito porta però con sé diverse problematiche, relative per lo più agli edifici storici.

Se, infatti, per quanto riguarda gli edifici risalenti al secondo dopoguerra è relativamente semplice ottenere ampi margini di miglioramento nelle prestazioni energetiche di fabbriche standardizzate, per quanto riguarda il patrimonio storico meno recente diventa indispensabile comprendere a pieno le diverse peculiarità del singolo edificio e agire nel totale rispetto della materia storica che lo caratterizza.

Un'ulteriore complicazione deriva dalla poca chiarezza delle prescrizioni normative in relazione alle architetture storiche, alla cui singolarità ci si è troppo spesso approcciati tramite lo strumento della "deroga".

Ma se per certi aspetti può risultare efficace esonerare il patrimonio tutelato dall'adempimento di obblighi

1. ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica (RAEE)*, dicembre 2013, p. 54.

2. Il Parlamento Europeo ha approvato nel dicembre 2008 una serie di provvedimenti per la lotta ai cambiamenti climatici, tra cui l'obiettivo di raggiungere, entro il 2020, la riduzione del 20% delle emissioni di gas serra, il 20% di risparmio energetico e l'aumento del 20% del ricorso a fonti energetiche rinnovabili.

e prescrizioni che potrebbero comportare detrimento al suo valore culturale, nel caso specifico della riqualificazione energetica il concetto di deroga pare cozzare contro l'importanza di un corretto intervento di recupero del costruito.

Non bisogna infatti sottovalutare l'importanza di un corretto uso dell'edificio storico, necessariamente supportato da un adeguamento delle condizioni di comfort e sicurezza, ai fini della sua conservazione.

L'adattamento alle esigenze della vita contemporanea deve però nascere dalla consapevolezza che bisogna agire secondo logiche estranee a quelle che hanno portato alla realizzazione della fabbrica; l'individuazione delle soluzioni più idonee per il raggiungimento degli standard di comfort e la riduzione dei consumi deve quindi essere guidata dalla conoscenza approfondita dell'edificio e dalla riscoperta del suo comportamento passivo.

La presente ricerca si prefigge lo scopo di coniugare il miglioramento delle prestazioni energetiche del patrimonio architettonico storico con la corretta tutela e conservazione delle sue peculiarità artistico-culturali, indagando il complesso legame esistente fra restauro e raggiungimento

di nuovi livelli di benessere.

Qualsiasi ricerca che ha come obiettivo quello di migliorare lo stato di fatto, deve senza dubbio partire da solide basi fondate su una conoscenza approfondita dei molteplici aspetti riguardanti il tema trattato.

Nel campo del restauro architettonico, la conoscenza rappresenta uno "strumento di lavoro" indispensabile: come sottolineato da Prosper Mèrimèe, il restauro è un atto volto a conservare e riprodurre ciò che è stato, non si può quindi operare in questo campo se non partendo da una solida comprensione delle caratteristiche proprie dell'edificio da restaurare, della sua storia e della sua morfologia. Il gesto conservativo stesso può, e deve, essere inteso come un atto di conoscenza e di approfondimento dell'oggetto e non di mera, asettica conservazione materica. Tuttavia, non bisogna per questo pensare al restauro architettonico come ad una disciplina statica e sterile, che ha come obiettivo la pura conservazione di un'immagine passata, con la speranza di fermare il passare del tempo.

Esso è invece, come la storia del restauro ci insegna, in continua evoluzione, chiamato a rispondere a pro-

blematiche sempre nuove, frutto del periodo storico che via via attraversa.

La tesi, partendo da un approfondito studio dello stato dell'arte, mostrerà una metodologia di analisi del costruito storico del quartiere Castello, primo nucleo abitato della città di Cagliari, analizzando le peculiarità energetiche e costruttive di tre edifici, rappresentativi delle diverse tipologie presenti nel quartiere.

Risulta di fondamentale importanza lo studio del rapporto che intercorre fra il costruito e il contesto climatico, legame già chiaro alle prime popolazioni insediatesi stabilmente sul colle, durante il Medioevo, che, tramite l'applicazione di basilari conoscenze bioclimatiche, riuscirono a raggiungere il miglior compromesso fra l'orografia del sito e lo sfruttamento di quanto di buono veniva offerto dal clima.

Il fine del presente lavoro è fornire una metodologia di approccio alla riqualificazione energetica del patrimonio costruito "minore" che, stabilendo un proficuo rapporto fra rispetto della testimonianza storico-culturale dei manufatti e le nuove tecnologie per il raggiungimento del comfort, possa risultare sostenibile e rispettosa del bene.

La ricerca si articola in due distinte fasi, di cui la prima fondata sull'approfondimento delle problematiche relative alla riqualificazione energetica degli edifici storici in base alla moderna teoria del restauro.

Dopo una prima analisi delle recenti sperimentazioni sul tema in campo comunitario, fondamentali per comprendere lo stato dell'arte, si è passati a ricostruire la storia delle tecniche di riscaldamento e raffrescamento preindustriali.

La lettura dei trattati di architettura ha consentito di mettere in evidenza l'importanza che, dai tempi di Vitruvio, è stata data alla scelta del sito capace, tramite un'attenta progettazione, può favorire il raggiungimento del livello di benessere richiesto dall'utente.

Dopo una prima analisi generale, si è scelto di esaminare, nello specifico, alcuni esempi di tecniche bioclimatiche diffuse nell'ambito del bacino mediterraneo, con particolare riferimento alla Sardegna, in modo da comprendere la loro effettiva efficacia e riproducibilità nel contesto attuale.

Una cospicua parte del lavoro è stata dedicata alla ricostruzione storica dell'uso dell'energia e all'evoluzione delle tecnologie impiantistiche, dalla

preistoria fino ai giorni nostri, a partire dall'evoluzione del concetto di benessere termoigrometrico.

Si è quindi affrontata un'analisi del legame che intercorre fra comportamento termico della fabbrica storica e comfort, necessaria a delineare i punti di debolezza del patrimonio edificato e i parametri da raggiungere per ottenere un adeguato livello di benessere ambientale.

Successivamente si è esaminato il nodo del riadeguamento degli impianti nella moderna teoria del restauro, cercando di fornire delle linee guida estrapolate da quanto affermato dai maggiori teorici sul tema.

Completano l'analisi alcuni esempi di buone pratiche, in cui viene messa in evidenza la necessità di progettare in maniera differenziata, in base alle esigenze dei diversi ambienti, in modo da perseguire il massimo rendimento con il minimo impatto sul bene da conservare.

La prima parte della tesi, di approfondimento teorico, si conclude con una disamina della normativa relativa al risparmio energetico e alla tutela dei beni culturali, necessaria ad inquadrare il campo nel quale si opera, mettendone in evidenza limiti, criticità e margini di miglioramento.

La seconda parte è introdotta dallo

studio del quartiere di Castello, della sua evoluzione storica e all'analisi dei condizionamenti che il clima ha avuto sulla morfologia del suo costruito. Attraverso la ricerca iconografica, bibliografica e d'archivio, si sono ricostruite le vicende storico-costruttive che hanno portato alla sua attuale configurazione.

La successiva indagine svolta sul campo, ha permesso di constatare il reale stato in cui versa il patrimonio edificato, nonché un riscontro dell'effettivo utilizzo delle tecniche bioclimatiche analizzate nella prima parte del lavoro.

I capitoli relativi agli edifici presi come caso studio riportano la descrizione delle loro caratteristiche tipologico-formali e l'analisi delle criticità energetiche, ottenuta tramite il calcolo del fabbisogno energetico, secondo la normativa di riferimento. La parte finale del lavoro espone le scelte progettuali effettuate per riqualificare energeticamente gli edifici analizzati, in maniera sostenibile e rispettosa degli stessi, attraverso l'impiego di materiali naturali compatibili con il supporto materico tradizionale e la proposta di utilizzo di sistemi impiantistici ad alta efficienza energetica e poco invasivi nei confronti della fabbrica storica.











**PARTE I**  
**RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DELL'EDILIZIA STORICA**



## 1 RESTAURO ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DELL'EDILIZIA STORICA: TEORIA E RECENTI APPLICAZIONI

Ogni edificio è espressione del periodo storico nel quale è stato realizzato, del gusto, dell'arte di costruire e delle conoscenze tecniche caratteristiche del contesto geografico nel quale è ubicato. La stringente necessità di operare sul patrimonio architettonico esistente, nell'ottica del miglioramento delle prestazioni energetiche (cfr. Introduzione), ci pone quindi dinnanzi ad un conflitto che si articola fra l'osservazione dei principi propri del restauro e i limiti imposti dalla normativa relativa al contenimento dei consumi energetici. Sappiamo tuttavia che ogniqualvolta ci si trovi ad agire su un patrimonio "sensibile" come quello storico-architettonico, ci si debba immancabilmente confrontare con il timore di diminuirne in qualche maniera il valore (di testimonianza storica ma anche, più banalmente, il valore economico). Spesso, tale "rischio", viene superato dai progettisti tramite il ricorso alla deroga prevista dalla normativa per i beni di valore storico-culturale (cfr § 6.1), con una conse-

guente condizione di "immobilismo" e abbandono che investe diversi immobili storici.

Nel corso dei secoli, la necessità di intervenire sul costruito è stata di rado supportata dall'effettiva presa di coscienza della singolarità che ogni manufatto recava in sé, rendendolo oggetto di interventi spesso poco accorti e rispettosi.

La legalizzazione della pratica tardo-imperiale dello spoglio è stato uno dei più evidenti esempi della mancanza di apprezzamento (e conseguentemente di rispetto) per le preesistenze che, a partire dal IV secolo, segnò l'affievolirsi dell'interesse e dell'ammirazione per il passato<sup>1</sup>.

Sotto una nuova spinta culturale, il Rinascimento italiano segnò invece una svolta per quanto riguarda l'apprezzamento dei monumenti antichi. Tuttavia agli sforzi profusi nel loro studio e nella loro rappresentazione non sempre fece seguito un'effettiva tutela: contrariamente a quanto successo nei secoli precedenti, l'apprezzamento nei confronti dell'anti-

1. Durante il Tardo-Impero il dilagare del fenomeno delle spoliazioni rese necessaria l'emanazione di specifiche leggi per la tutela delle costruzioni preesistenti (G. CARBONARA, *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, Liguori, Napoli 1997, p. 51).

2. Diventa opportuno definire il campo nel quale si va ad operare ogni qual volta si agisce su un edificio storico, sia esso monumentale o “minore”.

Il termine “bene culturale” ha abbracciato nel tempo un patrimonio sempre più vasto; secondo Giovanni Carbonara «“Monumento”, nel senso etimologico del termine, significa documento, ammonimento, testimonianza ed in tal modo era correntemente impiegato dagli eruditi del XVII e XVIII sec. (...). Non significa, se non indirettamente e nel parlare comune, l’opera eccezionale per valori di storia e d’arte, né il solo monumento cosiddetto intenzionale, sorti nel secondo ventennio di questo secolo sulle piazze italiane e francesi, con l’intento di celebrare un fausto evento storico. Monumento, a rigor di termini, non è quindi soltanto il Colosseo o la statua a Vittorio Emanuele II in piazza del Duomo a Milano, ma tutto ciò che assume valore di testimonianza storica (per la sua antichità) o artistica (per la sua qualità)» (Ivi, p. 12).

Diventa quindi necessario estendere il concetto di monumento a qualcosa di più ampio rispetto a quanto finora considerato, per poter conservare e tutelare quelle che sono le tracce storiche del lavoro umano sul costruito. Ne consegue un ampliamento dell’ambito di competenza del restauro e l’emergere di nuovi interrogativi.

3. Carta della Conservazione Integrata, Amsterdam 1975, Punto 3.

4. E. E. VIOLLET LE DUC, *Dictionnaire raisonné de l’architecture française du XI au XVI siècle*, Paris 1854-1868 trad. it. parziale a cura di M. A. Crippa, L’architettura ragionata, Jaka Book, Milano 1988, pp. 248 e ssg.

5. Ivi, p. 250.

co fu tale da promuoverne la vera e propria imitazione. Spesso, aspetto e significato del monumento furono radicalmente modificati in virtù di una presunta ricostruzione storica, arrivando di fatto alla distruzione di quello che era il manufatto originario. Ma se la linea operativa seguita era quella della più radicale ricostruzione “archeologica”, la speculazione teorica portata avanti da letterati ed eruditi mostrò posizioni molto più caute sul versante della tutela.

Il XVIII secolo vide il delinearsi di diversi filoni di pensiero che, con l’introduzione dei concetti di conservazione, minimo intervento e reversibilità, gettarono le basi del restauro più maturo, sviluppatosi successivamente, in epoca neoclassica.

Oggi la disciplina del restauro ha come oggetto una quantità di beni molto più ampia rispetto a quanto venisse concepito in passato<sup>2</sup>.

Le implicazioni economiche relative al riutilizzo degli stessi creano però nuova confusione fra fini e mezzi del restauro architettonico.

L’attribuzione della funzione più appropriata per un bene è senza dubbio il mezzo più efficace per garantirne la conservazione; è, purtroppo, tuttavia usuale considerare il riuso come fine ultimo del restauro. Capita

infatti che l’originaria configurazione morfologico-funzionale del bene venga sacrificata a favore di una nuova destinazione d’uso non compatibile, poichè molto lontana dalla primitiva funzione dell’edificio e dalla sua distribuzione spaziale.

Il termine “patrimonio”, già per definizione, denota un insieme di “beni”, percepiti come qualcosa capace di fruttare, da cui trarre il massimo beneficio economico possibile. Per fare ciò è però indispensabile un adeguamento ai requisiti richiesti dal mercato immobiliare.

Questo porta irrimediabilmente ad “eccessi di riuso”, colpevoli di snaturare completamente la preesistenza. D’altra parte, come detto, nell’attuale contesto economico e sociale un conveniente riuso del costruito storico diventa doveroso per l’abbattimento dei consumi di energia e di suolo: “Lungi dall’essere un lusso per la collettività, l’utilizzazione di questo patrimonio è fonte di economie”<sup>3</sup>.

Gli edifici storici, ancor più se aggregati, mostrano storicamente la loro capacità di adeguarsi alle mutate esigenze della popolazione.

La forte crescita demografica dovuta all’industrializzazione del XIX secolo segna senza dubbio la svolta per ciò che riguarda la ricerca di più elevati

parametri di “abitabilità”: non è più sufficiente costruire sfruttando le tecniche bioclimatiche radicate nel sapere collettivo, diventa necessario migliorare le condizioni di salubrità e comfort interne alle abitazioni.

La principale novità introdotta in questo periodo negli edifici è senza dubbio quella impiantistica, inserita sia nelle nuove realizzazioni che nelle preesistenze, con l'intento di supplire alle carenze di carattere igienico-sanitario proprie di quelle che erano le abitazioni pre-industriali.

Tuttavia, già nell'Ottocento, le azioni atte ad apportare miglorie e innovazione all'edificato storico vengono viste con sospetto.

In Francia Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc affermava: «Restaurare un edificio non è conservarlo, ripararlo o rifarlo, è ripristinarlo in uno stato di completezza che può non essere mai esistito in un dato tempo»<sup>4</sup>.

Ma il concetto di “completezza” e il ricorso al termine “compléter”, sovente utilizzato negli scritti del teorico in luogo del termine “restaurer”, ci pone dinnanzi a un problema di interpretazione. Egli rimarca infatti, in diversi suoi scritti, quanto un restauro possa essere dannoso per un monumento, per via delle aggiunte che può comportare; l'unico modo per

superare l'apparente aporia generata dalla teoria viollet-leduchiana è concepire il “completamento” come “compimento” dell'opera, esclusivamente dal punto di vista stilistico.

Lo stesso Viollet le Duc è però consapevole della necessità di giungere ad un giusto compromesso fra restauro e uso di un edificio: *«mais qu'il ne se prêle pas à l'établissement d'un calorifère, par exemple, sous le prétexte que le moyen âge n'avait pas adopté ce système de chauffage dans les édifices religieux, qu'il oblige ainsi les fidèles à s'enrhumer de par l'archéologie, cela tombe dans le ridicule. Ces moyens de chauffage exigeant des tuyaux de cheminée, il doit procéder, comme l'aurait fait un maître du moyen âge s'il eût été dans l'obligation d'en établir, et surtout ne pas chercher à dissimuler ce nouveau membre, puisque les maîtres anciens, loin de dissimuler un besoin, cherchaient au contraire à le revêtir de la forme qui lui convenait, en faisant même de cette nécessité matérielle un motif de décoration»*<sup>5</sup>.

In Inghilterra John Ruskin, considerando il restauro stilistico un'opera di distruzione e di annullamento dell'autenticità dell'opera, promuove la conservazione di tutte le stratificazioni storiche, anche quelle che potevano sembrare più insignificanti:

«Vi sono due compiti che incombono su di noi nei confronti dell'architettura del nostro paese la cui importanza è impossibile sopravvalutare: il primo consiste nel conferire una dimensione storica all'architettura di oggi, il secondo nel conservare quella delle epoche passate come la più preziosa delle eredità»<sup>6</sup>.

La posizione portata avanti in Italia, da Camillo Boito, è invece intermedia, finalizzata ad una conservazione capace di riconoscere l'importanza delle aggiunte di epoche successive, necessarie alla comprensione del manufatto e della sua storia. Con il documento sulla Conservazione e il restauro dei monumenti stilato dal Congresso degli Ingegneri e Architetti nel 1883, Boito dà il via ad una più decisa regolamentazione degli interventi sugli edifici storici, sia in campo italiano che internazionale, che porta, nei primi decenni del Novecento, alla redazione delle carte del restauro e all'emanazione di leggi di tutela vincolanti.

In quegli anni Alois Riegl evidenzia l'importanza del consono utilizzo dei beni architettonici, in virtù di un loro "valore d'uso" che esige continua manutenzione e riadeguamento alle esigenze contemporanee: «un edificio antico che ancora oggi viene

utilizzato, deve essere conservato in una condizione tale che possa alloggiare uomini senza metterne in pericolo la vita e la salute»<sup>8</sup>.

Superato il secondo dopoguerra, periodo durante il quale l'urgenza della ricostruzione non lascia spazio a particolari attenzioni nei riguardi dell'edificato storico, il recupero e riuso degli edifici diventa un tema di estrema attualità, tutt'oggi analizzato da diverse correnti di pensiero.

I fautori della "pura conservazione" hanno come obiettivo la conservazione della consistenza materico-strutturale del bene.

Afferma Marco Dezzi Bardeschi:

«Diremo di restauro ogni intervento che si proponga l'obiettivo della permanenza nel tempo, per quanto relativa, della consistenza fisica del bene materiale ricevuto in eredità dalla storia, del quale si possa garantire la conservazione di ogni sua dotazione e componente in uso attivo (meglio quest'ultimo se ancora originario o almeno comunque d'alta compatibilità e minimo consumo), da perseguire attraverso opportuni e calcolati nuovi apporti di progetto (funzionali, impiantistico - tecnologici, di arredo), in vista della sua integrale trasmissione in efficienza al futuro»<sup>9</sup>.

Tali nuovi apporti dovranno quindi

6. J. RUSKIN, *Le sette lampade dell'architettura*, Jaka Book, sesta ristampa, Milano 2007, p. 211.

7. A. RIEGL, *Il culto moderno dei monumenti*, Nuova Alfa, Bologna 1990, pp. 58-60.

8. Ivi, p. 58.

9. A. BELLINI ET AL., *Che cos'è il restauro? Nove studiosi a confronto*, Marsilio, Venezia 2005, p. 38.

10. Ibidem.

11. Ivi, p. 45.

affiancare l'esistente, in maniera autonoma ma compatibile, in modo da permettere l'uso dell'edificio e la sua perpetuazione. Se rispetteranno tali requisiti, non potranno che essere considerati come un valore aggiunto. La pura conservazione si fonda sul profondo rispetto delle preesistenze e del loro valore documentale, scongiurando qualsiasi tipo di soggettiva selezione storica, procedendo sempre per aggiunta e mai per sottrazione. Oppone il rifiuto a quel restauro che «possa interrompere il processo di accumulazione di cultura materiale stratificata che l'uomo e il tempo continuano a depositare sul palinsesto»<sup>10</sup>.

Il restauro diventa quindi la somma delle azioni volte alla conservazione delle stratificazioni storiche e delle necessarie aggiunte, mirato al conseguimento di una giusta storicizzazione del bene all'interno del contesto nel quale è inserito.

Paolo Marconi, sostenitore di una corrente opposta a quella conservativa, rifiuta invece fermamente l'idea di introdurre nell'edificio parti nuove e chiaramente distinguibili dall'antico, in modo da evitare la fuorviante illusione, data dall'invecchiamento delle parti aggiunte, che il bene sia nato in quel modo e non modificato

in epoca successiva. Il restauro promosso dai fautori del ripristino non consente dunque l'introduzione di innovazioni linguistiche, considerando fondamentale l'istanza estetica e la sua funzione didascalico-simbolica: «Restaurare vuol dire operare su un'architettura o un contesto urbano al fine di conservarli a lungo, quando fossero degni di essere apprezzati e goduti dai nostri discendenti. L'operatore deve far sì che l'oggetto del suo operare sia tramandato nelle migliori condizioni, anche ai fini della trasmissione dei significati che l'oggetto possiede»<sup>11</sup>.

Tale trasmissione viene però, nella maggior parte dei casi, distorta o quantomeno ostacolata dalle stratificazioni storiche succedutesi nel tempo. A ciò si può porre rimedio, secondo Marconi, inducendo ulteriori trasformazioni atte a ristabilire l'unità organica del bene. Il restauratore ha il delicato compito di distinguere fra superfetazioni e apporti nobilitanti.

Il filone critico-conservativo si attesta invece su posizioni meno radicali:

«S'intende per restauro qualsiasi intervento volto a tutelare ed a trasmettere integralmente al futuro, facilitandone la lettura e senza cancellarne le tracce del passaggio nel

tempo, le opere d'interesse storico-artistico ed ambientale; esso si fonda sul rispetto della sostanza antica e delle documentazioni autentiche costituite da tali opere, proponendosi, inoltre, come atto di interpretazione critica non verbale ma espressa nel concreto operare. Più precisamente come ipotesi critica e proposizione sempre modificabile, senza che per essa si alteri irreversibilmente l'originale»<sup>12</sup>.

L'approccio critico-conservativo, tramite il raggiungimento dell'equilibrio fra ripristino e conservazione, ha come scopo il mantenimento in efficienza del bene, consentendone, allo stesso tempo, la lettura.

Il restauro diventa una reinterpretazione critica dell'opera, da attuarsi tramite una serie di azioni conservative che hanno lo scopo di preservare il manufatto dal deperimento fisico e materico.

La direttrice da seguire è quella critico-conservativa:

«conservativa perché parte dal presupposto che il monumento chieda in primo luogo d'essere perpetuato e trasmesso al futuro nelle migliori condizioni possibili e in secondo luogo perché tiene conto del fatto che l'attuale coscienza storica impone di conservare molte più cose che in

passato. Critica (...) perché muove dal convincimento che ogni intervento costituisca un episodio a sé, non inquadrabile in categorie, non rispondente a regole prefissate ma da studiare a fondo ogni volta, senza assumere posizioni dogmatiche e precostituite»<sup>13</sup>.

Il procedimento critico comporta la profonda comprensione del manufatto seguita dall'eliminazione delle superfetazioni che ne ostacolano la lettura, danneggiandone l'integrità formale, la ricostruzione solo se necessaria e comunque mai sostanziale, l'eventuale scelta estrema di non ripristinare un'unità figurale andata perduta, qualora questa fosse scaturita dal giudizio critico operato dal restauratore.

«Il restauro costituisce il momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte, nella sua consistenza fisica e nella sua duplice polarità estetica e storica, in vista della sua trasmissione al futuro»<sup>14</sup>.

Riconosciuto il valore dell'opera si procede con una serie di valutazioni che dovranno far convergere in maniera congrua le esigenze della tutela e quelle del committente.

Per qualsiasi opera di restauro risulta, sempre e comunque, fondamentale far prevalere le ragioni della tu-

12. G. CARBONARA, *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, Liguori, Napoli 1997, p. 33.  
13. *Ibidem*.

14. C. BRANDI, *Teoria del restauro*, Torino, Edizioni di Storia e Lettere, 1963. Parte II. *Note sulle problematiche relative agli interventi sugli edifici storici*, p. 95.

15. G. PALMERIO, *Premesse teoretiche e di metodo*, in G. CARBONARA, *Restauro architettonico e impianti vol I*, UTET, Torino 2001, pp. 21 e ssg.

16. S. DELLA TORRE, F. PIANEZZE, V. PRACCHI, *Efficienza energetica e patrimonio architettonico: stato dell'arte e prospettive di ricerca*, in Arkos n. 23, Editinera, Roma 2010, pp. 52-58.

17. Si riportano, a titolo d'esempio, il testo di D. CAMUFFO, *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam 1998, o di Aa. Vv., *Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali. Guida all'analisi dei pro e dei contro dei vari sistemi di riscaldamento*, Electa, Milano 2006.



tela su quelle finanziarie, cercando, nei limiti del possibile, di appianare il moderno conflitto esistente fra economia e cultura, secondo un equilibrio variabile che può vedere alternativamente il sottile prevalere di un aspetto sull'altro, a seconda della valutazione critica del caso.

Il moderno restauro, quindi, mediando criticamente le posizioni estreme del “conservatorismo” da una parte e del mero riadattamento prestazionale dall'altra, vede il riadeguamento impiantistico ed energetico come una lecita modificazione, indispensabile all'uso (o riuso) del bene, e, di conseguenza, alla sua conservazione<sup>15</sup>.

Tuttavia, sebbene la speculazione sul tema del restauro, inteso nella sua più ampia accezione, abbia raggiunto una consolidata unità di metodo sviluppata parallelamente al pensiero critico e filosofico contemporaneo, il settore relativo all'adeguamento impiantistico risulta ancora in fase di definizione. La mancanza di una specifica riflessione sul tema<sup>16</sup> e la continua evoluzione ed espansione delle tecnologie deputate al conseguimento del comfort anche negli edifici storici, presenta caratteri di invasività che raramente si confrontano in modo valido con i concetti di

rispetto e la tutela.

I contributi teorici più interessanti e attuali vengono da riviste, convegni e ricerche, a sottolineare l'obsolescenza dei testi dedicati al restauro, ancora fermi su posizioni caute e poco aggiornati su un tema altamente specifico e relativamente nuovo.

D'altra parte è da evidenziare come anche la trattativa relativa al recupero energetico difficilmente si soffermi ad analizzare le problematiche relative all'edificato sottoposto a tutela.

È tuttavia riscontrabile un certo interessamento verso gli aspetti più settoriali del recupero energetico dell'edilizia storica. Esistono infatti trattazioni specifiche sull'impiantistica dei luoghi di culto o sull'impiantistica museale, legata alla conservazione delle opere d'arte<sup>17</sup>.

Rimane però “scoperto” l'ambito dell'edilizia storica minore, più modesta dal punto di vista architettonico e artistico, ma sicuramente altrettanto ricca dal punto di vista culturale nonché, come affermato da Roberto Pane al Congresso Nazionale di Storia dell'architettura tenutosi a Palermo nel 1950, dotata di una propria “artisticità diffusa”.

Il campo del restauro architettonico si denota quindi, ancora, come carat-

18. Nel 1972, anno durante il quale la prima crisi petrolifera mondiale mette in luce i punti deboli di quelle che erano finora state le logiche dello sviluppo, il Club di Roma commissiona e pubblica la ricerca "The Limits to Growth". Per la prima volta il pianeta è visto come sistema finito e proiettato, in un futuro prossimo, verso scenari catastrofici dovuti all'esaurimento delle risorse, in rapporto ad una popolazione sempre crescente. La preoccupazione destata dal rapporto, andata ad incrementare quella generata qualche decennio prima dal cosiddetto Picco di Hubbert, darà inizio al dibattito mondiale sulla sostenibilità che porterà, nel 1987, alla stesura del Rapporto Brundtland.

19. A. PASTA, *Ristrutturazioni ed impianti: l'impiantistica moderna nella ristrutturazione edilizia*, Kappa, Roma 1982, p. 22.

20. A. PASTA, *L'impiantistica nel recupero dei vecchi edifici*, in A. ABRIANI (a cura di), *Restauro architettonico e recupero edilizio*, p. 59.

21. G. CARBONARA, *L'integrazione possibile fra impianti e restauro*, in G. DALL'Ò (a cura di), *Gli impianti nell'architettura e nel restauro*, pp. XVII-XXII

22. E. LONGO, G. SCHIPPA, *Sperimentazioni nel presente e lezioni dal passato: la sfida del miglioramento energetico nell'edificato storico*, Tesi di laurea, relatore V. PRACCHI, Politecnico di Milano - Facoltà di Architettura e Società, a. a. 2008/2009, p. 172.

23. G. DALL'Ò, *Gli impianti nell'architettura e nel restauro*, UTET, Torino 2003, p. XVII.

24. L. DE SANTOLI, *Efficienza energetica negli edifici storici*, intervista a cura di M. ZANI, AICARR Journal, 1(2010).

terizzato da una sorta di cauto immobilismo, su cui grava la responsabilità di agire su un patrimonio particolarmente "delicato".

Per comprendere a pieno quali potranno essere gli sviluppi futuri relativi al tema in questione, risulta necessaria una piena conoscenza dello stato dell'arte, che non può prescindere dallo studio di quanto è stato finora scritto sullo specifico tema.

I primi testi che trattano il recupero dell'ambiente urbanizzato risalgono ai primi anni Settanta, collocandosi in un contesto caratterizzato da una crescente attenzione verso le tematiche ambientaliste<sup>18</sup>.

Nel corso del decennio successivo, un ulteriore filone di ricerca approfondisce il tema del riuso e della riqualificazione dell'esistente, secondo un'ottica di diminuzione dei consumi energetici.

Sebbene il soggetto principale di tali trattazioni siano le generiche preesistenze, inizia ad emergere timidamente il tema degli edifici tutelati. Si iniziano a proporre i lavori a secco e non più sotto traccia, si forniscono suggerimenti finalizzati perlopiù alla riduzione delle dispersioni e delle infiltrazioni d'aria (come l'isolamento delle pareti e dei soffitti e la sigillatura siliconica dei giunti degli infissi)<sup>19</sup>.

L'intervento ha, generalmente, come scopo principale, il risparmio di risorse, di tempo e denaro, secondo una procedura standardizzata che non prevede un'approfondita analisi conoscitiva del bene considerato. Ciò risulta evidente anche dal trattamento riservato agli elementi impiantistici originali, per i quali non si ha alcuna esitazione dinnanzi alla scelta di demolirli per far posto a soluzioni tecnologicamente più avanzate: «indipendentemente dalle opere di restauro, con la ristrutturazione si tende essenzialmente ad eliminare le incongruenze del passato conferendo agli alloggi quelle caratteristiche di funzionalità e di benessere proprie delle costruzioni moderne»<sup>20</sup>.

Solo in seguito, nei primi anni del Duemila, gli impianti acquisteranno dignità pari a quella concessa agli altri elementi caratterizzanti l'edificio storico, anche in virtù della loro crescente importanza nell'ottenimento delle nuove condizioni di comfort<sup>21</sup>.

Giovanni Carbonara suggerisce per gli impianti un procedimento del tutto simile a quello da seguire per l'intero edificio: una fase conoscitiva seguita dal riuso, ove possibile, delle parti esistenti o la loro integrazione o sostituzione con nuove tecnologie chiaramente distinguibili.

Tale approccio si presenta come innovativo in un panorama nel quale i vecchi elementi venivano rimossi e rimpiazzati o, nella migliore delle ipotesi, conservati come testimonianza storica. Gli impianti tecnici continuano però ad essere considerati come qualcosa di estraneo alla fabbrica, seppur necessari al suo mantenimento in uso<sup>22</sup>.

Uno spiraglio sulla possibilità di coniugare conservazione e tecnologia, secondo un'ottica di integrazione impiantistica, viene aperto da Giuliano Dall'Ò. Egli suggerisce il continuo miglioramento delle prestazioni dell'edificio, finalizzato al soddisfacimento delle nuove esigenze che si evolvono di pari passo con i modelli culturali e che non possono che abbracciare anche il problema dell'eccessivo consumo di risorse.

Dall'Ò pone l'intervento impiantistico come vero e proprio "problema" di restauro, complicato dalla vasta normativa nazionale in materia, in continua evoluzione e «poco interessata alla specificità dei beni culturali architettonici e ancor meno quando risulti influenzata o condizionata da disposizioni comunitarie europee, in gran parte promosse da paesi culturalmente diversi dal nostro e, a dire il vero, meno interessati ai temi della

tutela»<sup>23</sup>.

Attraverso una completa disamina dei differenti impianti necessari all'uso di un edificio, egli dimostra come sia possibile coniugare tecnologia e rispetto delle preesistenze.

Dello stesso avviso è Livio De Santoli, secondo cui l'efficientamento energetico del costruito storico deve partire dal miglioramento delle prestazioni impiantistiche. In tale modo si potrà raggiungere l'obiettivo della riduzione dei consumi di energia primaria, limitando gli impatti visivi sul bene<sup>24</sup>.

Alla carente trattativa relativa al riadeguamento energetico degli edifici storici si contrappone, tuttavia, un fervido interesse al tema da parte di enti di ricerca pubblici e privati, nazionali ed esteri.

Le recenti politiche europee, orientate verso la definizione di procedure e strumenti per la pianificazione e gestione sostenibile del patrimonio architettonico, hanno dato vita a diversi programmi attualmente operativi, grazie anche alla spinta introdotta dalla direttiva 2002/91/EC:

- il programma Life+ (2007-2013) fornisce supporto ai progetti tecnologici in grado di apportare innovazione sostenibile, producendo benefici in

campo ambientale ed energetico. Si avvale di diversi gruppi di lavoro impegnati in due sottotematiche: “Politica e governance ambientali” e “Informazione e comunicazione”;

- il programma EIE-Energia Intelligente per l’Europa; dopo aver preso il via nel 2003 è stato finanziato dalla Commissione Europea nell’ambito del programma quadro per l’innovazione e la competitività (CIP 2007-2013). L’obiettivo è la promozione dell’efficienza energetica tramite un maggior ricorso alle fonti rinnovabili, parallelamente al monitoraggio dei loro impatti;

- il programma Energia che, all’interno del più vasto intervento di Cooperazione inserito nel 7° Programma Quadro 2007-2013, mira ad incentivare e rafforzare i legami tra industria e ricerca con lo scopo di convertire l’attuale sistema energetico in uno competitivo e sostenibile.

Interessanti filoni di ricerca sono portati avanti in Svezia, con il programma *Save & Preserve-Energy Efficiency in Historic Buildings* e dal DO-COMOMO, su edifici più recenti<sup>25</sup>.

La varietà dei temi considerati e dei professionisti coinvolti trasmette una chiara idea della necessaria multidisciplinarietà che investe l’ambito del recupero energetico del costruito.

Ai fini del presente lavoro si considera interessante soffermarsi su alcuni progetti in particolare, rappresentativi di *best practice* cui attingere per la costruzione di un valido processo di *retrofit* rispettoso del valore culturale delle preesistenze.

Una linea d’azione che accomuna diversi programmi è la promozione dell’uso di fonti energetiche rinnovabili per la riduzione dei consumi negli edifici storici, pubblici o privati.

Un esempio è dato dal progetto GOVERNEE (*Good Governance in Energy Efficiency*), su fondi del Programma europeo di Cooperazione trans-nazionale *Central Europe*, avviato nel 2010 con una durata prevista di 36 mesi. Coinvolge 5 comuni e 2 istituzioni di ricerca, provenienti da 5 diverse nazioni. Il progetto nasce dalla consapevolezza delle limitazioni imposte dai vincoli normativi vigenti sul costruito di pregio, che si vanno a scontrare con l’urgenza di frenare i notevoli consumi energetici derivanti dallo stesso. L’approccio è prevalentemente di *governance*. Lo scopo è l’elaborazione di linee guida ad uso degli amministratori pubblici per la realizzazione di percorsi di sviluppo sostenibile in campo energetico, tramite strategie e politiche responsabili. I cantieri pilota selezionati mirano

25. F. PIANEZZE, *L’obiettivo del miglioramento dell’efficienza energetica nel processo di conservazione del costruito storico*, tesi di dottorato in Progetto e tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali, Politecnico di Milano, XXIV ciclo, tutor S. DELLA TORRE, V. PRACCHI, pp. 43-44.

a diventare casi esemplari di inserimento di soluzioni tecnologiche efficienti (come i pannelli fotovoltaici ad elevata integrazione architettonica), ma rispettose delle preesistenze. Il progetto GOVERNEE, quindi, da un lato implementa la ricerca, dall'altro forma gli amministratori e gli altri attori del settore pubblico affinché abbiano a disposizione tutti gli strumenti da adottare nei piani di efficientamento energetico degli edifici. Uno dei cantieri pilota ha riguardato l'installazione di pannelli fotovoltaici sulla copertura di un palazzo storico a Quedlinburg, una città tedesca di origine medioevale. L'edificio individuato per l'intervento è una costruzione del 1909-1910, originariamente a destinazione militare e poi riconvertito in parte ad uso ufficio e in parte a residenza. In accordo con la locale Soprintendenza, si è deciso di utilizzare dei pannelli perfettamente integrabili nella copertura (fig. 1), in assoluto rispetto del valore storico culturale della fabbrica, seppure a discapito dell'efficienza energetica dell'intero impianto. Si è quindi optato per l'installazione di moduli fotovoltaici vetro-vetro (o biPV), costituiti da stringhe di celle fotovoltaiche racchiuse tra due vetri temperati e stratificati, con il vantaggio di poter

essere realizzati in base alle esigenze architettoniche ed energetiche del committente in quanto completamente personalizzabili in termini di dimensione, forma, trasparenza, potenza, spessore, tipologia e colore della cella. Nel caso specifico i moduli sono stati installati in modalità sovrapposta e la completa integrazione è stata ottenuta tramite l'apposizione di un film nero sui pannelli, capace di rendere omogeneo l'effetto cromatico in copertura. La particolarità delle soluzioni adottate ha tuttavia condizionato negativamente l'efficienza economica dell'intervento: è stato infatti stimato un *payback period* di 33 anni, di durata largamente superiore alla vita utile dell'impianto.

Fig. 1: Impianto fotovoltaico integrato nella copertura di un edificio del 1910 a Quedlinburg.



È stato finalizzato alla promozione dell'uso di impianti alimentati da fonti rinnovabili e alla razionalizzazione dell'uso dell'energia negli edifici storici anche il progetto *New4Old-New energy for old buildings. Promoting the integration of RES & RUE measures in historic buildings*.

Si tratta di una serie di interventi inseriti nel già citato asse europeo EIE - Energia intelligente per l'Europa; della durata di tre anni (dal 2007 al 2010) ha coinvolto diversi partner europei coordinati da EREC-European Renewable Energy Council.

Il progetto ha portato avanti una serie di cantieri pilota (*Renewable Energy Houses-REH8*) che potessero fungere da riferimento per progettisti e amministratori. L'attività è stata affiancata da una vivace campagna di eventi e seminari (fra cui *"The contribution of Heritage Buildings to Energy Savings"*, workshop organizzato a Bruxelles nel 2009, *"Pilot projects of energy efficiency retrofits of historical buildings"*, conferenza tenutasi a Friburgo nel 2010 e *"Buildings for the future"*, nello stesso anno a Bruxelles) fondamentali per la diffusione degli obiettivi e dei risultati raggiunti dal progetto. Le linee guida<sup>26</sup> scaturite da *New4Old* si strutturano in tre parti dedicate a involucro e scambi con

l'esterno, ambiente interno, regolazione e controllo. All'interno di esse vengono evidenziati i punti di forza e di debolezza del funzionamento degli edifici storici, insieme alla proposta di suggerimenti e buone pratiche per gli interventi di retrofit.

La linea d'azione BRITA-in-PuBs *Bringing retrofit innovations to application in public buildings* (2004-2008), fa invece parte dei quattro progetti dimostrativi facenti parte del progetto *Eco-building*:

- BRITA in PuBs-*Bringing Retrofit Innovation To Applications in Public Buildings*;
- DEMOHOUSE: *Design and Management Options for improving the energy performance of Housing* (2004-2008), per lo sviluppo di standard e raccomandazioni sui temi dell'efficienza energetica tramite il *"Decision Support Tools"*;
- ECO-Culture, *Demonstration and dissemination of ECO-concepts for high-performing European cultural buildings* (2004-2009), incentrato su tre edifici di rilevanza storico-culturale (il *Danish Royal Theatre* di Copenhagen, la *Amsterdam Library* ad Amsterdam, e la *New Opera House* di Oslo);
- SARA, *Sustainable Architecture Applied to Replicable Public-Access Buildings* (2004-2008), focalizzato sulla

26. *"Technical guidelines for buildign designers"*, realizzate da 3E in collaborazione con gli altri partner di progetto nel gennaio 2009.

27. Norvegia, Finlandia, Danimarca, Regno Unito, Germania, Italia, Grecia, Repubblica Ceca e Lituania.

28. La Casa di Riposo Filderhof a Stoccarda, Germania; la Scuola Professionale di Plymouth, Regno Unito; il Centro Sociale di Borgen, Norvegia; la Chiesa a Hol, Norvegia; il Prøvehallen di Copenhagen, Danimarca; la Biblioteca Evonymos ad Atene, Grecia; l'edificio Universitario "Ex-birrificio" a Brno, Repubblica Ceca; l'edificio Universitario di Vilnius, Lituania.

29. Si vedano M. Citterio, *8 Reports on the Realisation and Validation Analysis of the Demonstration Buildings in BRITA in PuBs*, 2008 e *Reports on the concept development of the demonstration buildings in BRITA in PuBs*, 2005, pubblicati sul sito <http://edit.brita-in-pubs.eu>.

replicabilità degli interventi effettuati sui sei edifici pubblici prescelti.

L'intera iniziativa si sviluppa all'interno del sesto programma quadro per la ricerca e lo sviluppo tecnologico della Commissione Europea e nasce con la finalità di sviluppare un nuovo approccio valido sia in caso di costruzioni *ex novo* che di interventi sulle preesistenze.

Gli obiettivi principali sono la riduzione sostanziale della richiesta di energia primaria negli edifici e il soddisfacimento del restante fabbisogno attraverso fonti di energie rinnovabili e sistemi di gestione in rete.

Il progetto *BRITA-in-PuBs*, in particolare, si inserisce in questo contesto con la finalità di applicare le medesime direttive sull'edificato storico.

Si è operato su 9 edifici pubblici dimostrativi, localizzati nel territorio degli altrettanti paesi europei partecipanti<sup>27</sup>. L'obiettivo generale era la diminuzione del 50% almeno dei consumi dovuti a riscaldamento, condizionamento, ventilazione, acqua calda e illuminazione. Era inoltre previsto il miglioramento generale delle condizioni di comfort interne agli edifici.

Nello specifico si è agito a livello di involucro edilizio (con il miglioramento dell'isolamento termico e l'utilizzo di finestre ad alta efficienza) e sugli

impianti (sistemi ibridi di ventilazione e riscaldamento, sistemi di cogenerazione, sistemi di illuminazione energeticamente efficiente).

L'edificio dimostrativo scelto per l'Italia è la residenza studentesca Daniel's Hotel, a Milano. Gli interventi previsti, ma non realizzati a causa del mancato reperimento dei fondi necessari, prevedevano l'isolamento dell'involucro opaco e la sostituzione degli infissi con altri con vetri basso-emissivi, l'adozione di un sistema di trigenerazione per la produzione di elettricità e per il riscaldamento e raffrescamento degli interni.

Erano inoltre previste strategie di controllo della radiazione solare e sistemi domotici per la gestione dell'illuminazione artificiale.

Gli interventi sugli altri casi studio<sup>28</sup> sono invece stati portati a termine.

I risultati ottenuti<sup>29</sup> sono stati divulgati attraverso un breve *report* che analizza le tipologie di intervento e le criticità riscontrate.

Nonostante le necessarie modifiche ai piani inizialmente ipotizzati, per cause di tipo quasi esclusivamente economico, tutti i progetti pilota hanno portato a risultati incoraggianti, sia in termini di riduzione dei consumi che di incremento del comfort interno. Nell'ambito del programma

30. *Thermie* era un programma dimostrativo all'interno del più vasto progetto non nucleare *Joule\_Thermie*; durato un totale 8 anni (1990-94 e 1995-98) era finalizzato a diffondere e testare tecnologie e strategie di intervento sostenibili nel breve e nel lungo periodo.

31. Il Parco Scientifico e Tecnologico per l'ambiente a Torino, la riqualificazione del centro storico a Porto, il teleriscaldamento a biomasse in Molins de Rei nell'Area Metropolitana di Barcellona, il *Solar Habitat* a Lione, la *Lighthouse of Mackintosh* a Glasgow, la riqualificazione del quartiere Vesterbro a Copenaghen, la riqualificazione di 500 unità abitativa a Dublino sud e la riqualificazione di 800 abitazioni nel quartiere Stoopweg di Rotterdam.

32. I casi studio sono:

- *Public Weigh House*, Bolzano: edificio del XIII secolo destinato a commercio e residenza;
- Palazzo d'Accursio, Bologna: edificio storico di proprietà comunale utilizzato come museo e sede della pubblica amministrazione;
- Palazzina della Viola, Bologna: edificio del XV secolo è oggi la sede dell'università;
- *The Material Court of the Fortress*, Copenhagen: riportato alle sue forme settecentesche dopo il restauro degli anni '90 l'edificio ospita uffici pubblici;
- *Monumental School*, Innsbruck: realizzato nei primissimi anni '30, l'edificio rappresenta uno dei più importanti esempi di architettura moderna in Tirolo;
- *Warehouse City*, Potsdam: l'edificio, appena sottoposto a restauro, oltre ad ospitare mostre è destinato a residenza e uffici;
- *Industrial Engineering School*, Salamanca (Spagna): sede della scuola di ingegneria, è un edificio del 1968 realizzato in cemento armato;
- *Strickbau*, Appenzell (Svizzera): edificio in legno del XVII secolo tipico delle regioni alpine della Svizzera.

*Thermie*<sup>30</sup>, promosso dalla Commissione Europea, si colloca il progetto *RESTART-Renewable Energy Strategies and Technology Applications for Regenerating Towns* (1997-2002), coordinato da *RESET (Renewable Energy Strategies for European Towns)* in collaborazione con le città di Dublino, Lione, Barcellona, Glasgow, Copenhagen, Rotterdam, Porto e Torino. Grazie al coinvolgimento di differenti attori quali progettisti, amministratori locali, industrie, ecc., il progetto ha lavorato su scala microurbana, con un approccio sistemico, per la riqualificazione energetica dei siti pilota. Questi, scelti in base a differenti criteri, avevano in comune il fatto di essere già stati inseriti nella programmazione delle singole città di appartenenza, in qualità di aree da riqualificare. I siti dovevano inoltre comprendere un'area sufficientemente vasta per consentire azioni ad ampio spettro ed elevata visibilità. Sono stati realizzati 8 progetti<sup>31</sup>, tra cui il Parco Scientifico e Tecnologico per l'Ambiente a Torino, capace di coniugare innovazione tecnologica ed ecoefficienza. L'obiettivo principale era, per tutti gli edifici coinvolti, la diminuzione del fabbisogno di energia primaria anche attraverso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

Un'altra linea d'intervento, seguita a livello comunitario, mira al contenimento dei consumi tramite una serie di azioni di risanamento degli elementi costruttivi del patrimonio costruito.

Il progetto *3ENCULT (Efficient Energy for EU Cultural Heritage)* intende perseguire il miglioramento della gestione dei flussi di energia in edifici che svolgono una funzione pubblica, grazie all'attuazione di strategie adeguatamente monitorate e controllate. Tali azioni vengono studiate anche dal punto di vista dell'impatto sociale ed ambientale all'interno del contesto urbano di riferimento e in considerazione della funzione storica e attuale degli edifici considerati. Finanziato dall'Unione Europea, nasce nel 2010 con una durata prevista di 42 mesi e coinvolge 22 *partner*, pubblici e privati. Il capofila dell'iniziativa è l'Istituto per le Energie Rinnovabili dell'EURAC (*European Academy* di Bolzano) sotto la cui guida gli esperti coinvolti (tecnici, conservatori dei beni architettonici, imprenditori e urbanisti) si impegnano nel riadeguamento energetico di 8 edifici rappresentativi di diversi climi e diverse destinazioni d'uso<sup>32</sup>. In particolare, vengono sviluppate e applicate soluzioni per il risanamen-



to energetico dell'involucro, fornendo un quadro dettagliato delle scelte che via via motiveranno il processo di riqualificazione, con la consapevolezza che ogni edificio storico rappresenta un caso a parte.

Alla base di ciascun progetto di riqualificazione sta un'approfondita analisi strumentale. Nel caso di Palazzo D'Accursio, sede del Museo comunale d'arte di Bologna, sono stati eseguiti diversi test, tra i quali il *Blower Door test*, l'analisi termografica, il *Ground Penetrating Radar test*, la misura delle dispersioni di calore e dell'umidità interna all'edificio. Il monitoraggio e l'analisi dei consumi energetici hanno quindi portato ad una serie di simulazioni dinamiche fondamentali per la scelta degli interventi da eseguire. Si è quindi deciso di operare su quelli che sono risultati essere i punti di debolezza dell'edificio: per limitare le dispersioni attraverso gli infissi, si è scelto di sostituire i vetri delle finestre con dei doppi vetri selettivi; la copertura originale è stata sostituita da un tetto ventilato, coibentato con fibra di legno e l'involucro è stato oggetto del ripristino degli intonaci di calce.

Ad oggi, gli interventi sugli altri casi studio sono in via di completamento, mentre la fase di analisi preventiva è

già stata resa consultabile con la pubblicazione *on line* dei diversi report.

È invece giunto a conclusione il progetto *Energy Heritage*, coordinato dall'agenzia scozzese di consulenza nel risparmio energetico *Changeworks*, che dal mese di aprile 2007 e fino a giugno 2008 ha promosso il miglioramento dell'efficienza energetica dell'edilizia storica abitativa della Gran Bretagna, fortemente energivora. Il risultato è stata una guida metodologica capace di dimostrare come si possa agire in modo efficiente anche su edifici sottoposti a vincolo di tutela.

Lo studio si è sviluppato in tre tempi. La prima fase ha visto la ricerca dell'unione di intenti fra le principali organizzazioni inglesi del settore quali la *Cockburn Association*, la *Historic Scotland* e la *Hedimburg World Heritage*. Nella seconda fase è stato portato avanti un progetto pilota che ha coinvolto 9 appartamenti sottoposti a tutela, dichiarati patrimonio dell'Unesco, nel centro storico di Edimburgo. Gli abitanti sono stati coinvolti operativamente nel progetto, soprattutto per quanto riguarda il monitoraggio dei consumi: affiancati da sistemi di monitoraggio intelligente (*Smart Monitors*), gli inquilini hanno potuto condurre test termici e termografi-

ci, affiancati dai tecnici della *Historic Scotland* e della *National Home Energy Rating*. I risultati ottenuti sono stati particolarmente interessanti, con una riduzione delle dispersioni di calore del 90%.

Nella terza fase sono stati elaborati i risultati ottenuti dalla ricerca, che hanno dato come frutto la pubblicazione “*Energy Heritage: a guide to improving energy efficiency in traditional and historic homes*”, presentato il 2 Maggio 2008.

Una nuova attenzione viene data, a livello europeo, anche alla riscoperta della validità dei principi bioclimatici utilizzati nella tradizione e ora messi da parte a favore delle nuove tecnologie costruttive.

Facendo parte del più complesso asse *INTERREG III B CADSES*, il progetto *Hist.Urban* ha come obiettivo principale la valorizzazione dei centri storici delle piccole e medie città dell'Europa centrale e orientale, caratterizzati da una cultura costruttiva unica nel suo genere e capace di porre le basi per uno sviluppo urbano sostenibile.

Il programma si articola attorno a tre differenti aree tematiche: *Planning and Management*, *Socio-economic Revitalisation*, *Urban Rehabilitation and Ecological Revitalisation*. Risulta

tra i partner del progetto il Comune di Faenza che, con il suo Piano Strategico per il Centro Storico, mira a promuovere i principi dell'architettura bioclimatica come possibilità di sviluppo sostenibile ed economico. L'innovazione riscontrabile nel programma è relativa alla promozione di un processo pianificativo partecipativo legato strettamente ai principi della sostenibilità ambientale<sup>33</sup>.

All'interno del panorama internazionale finora esposto, emerge un'iniziativa italiana promossa e coordinata dal Metadistretto Veneto della Bioedilizia e dal Metadistretto Veneto dei Beni Culturali: il progetto A.T.T.E.S.S. (Azioni di Trasferimento Tecnologico per il miglioramento delle prestazioni Energetico ambientali dell'edilizia Storica secondo i criteri dell'edilizia Sostenibile).

Il progetto ha portato, nel 2010, alla stesura di una serie di Linee Guida che tengono conto sia dei principi propri del restauro sia dei criteri base della bioedilizia, dando informazioni e suggerimenti sulla metodologia da applicare e sulle tecnologie innovative esistenti nel campo.

Il programma si focalizza sugli edifici realizzati con tecniche costruttive e materiali tradizionali, con lo scopo di promuovere una normativa specifica

33. I risultati della ricerca sono consultabili on line sul sito [http://www.alfoldinfo.hu/cadses/Transnational\\_Manual.pdf](http://www.alfoldinfo.hu/cadses/Transnational_Manual.pdf), dove è possibile scaricare le linee guida: *Hist.Urban. Transnational Manual Integrated and Implementation-oriented Revitalisation Approaches for Historic Towns*.

dedicata. Le basi su cui si fonda lo studio sono di carattere conservativo ma anche economico, con la consapevolezza che la valorizzazione del costruito tradizionale possa generare una nuova economia di settore, riducendo la dissipazione del territorio e il ricorso a fonti energetiche non rinnovabili.

Le Linee Guida spaziano, tra i vari temi trattati, dalle caratteristiche termiche dei materiali tradizionali alla modellazione delle prestazioni energetiche, dall'analisi bioclimatica all'inserimento impiantistico su superfici di pregio. Il progetto propone anche la creazione di una base dati su supporto *web*, interattiva (aperta all'inserimento di contenuti da parte degli utenti), capace di riunire testi normativi specifici e soluzioni tecniche. Si ritiene infine di dover citare le "Linee Guida ministeriali per l'uso efficiente dell'energia nel patrimonio culturale", portate avanti, di concerto, dal Ministero dello sviluppo economico, dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali.

Constatato come le precedenti "Linee Guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili", emanate con decreto del

10 settembre 2010, non affrontino il tema degli edifici tutelati, si è sentito il bisogno della stesura di un ulteriore codice che, partendo dalla diagnosi energetica degli edifici storici, sviluppi delle specifiche linee guida relative all'ottimizzazione energetica del comparto storico. L'incarico è stato conferito dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali all'Università La Sapienza di Roma, con il coordinamento di Livio De Santoli.

Le buone pratiche esposte nella guida deriveranno dalla sperimentazione diretta effettuata su un gruppo di edifici monumentali direttamente gestiti dallo stesso Ministero e daranno utili indicazioni ai professionisti circa la valutazione della prestazione energetica dell'edificio storico, insieme ad uno schema di progetto per gli eventuali interventi di *retrofit* opportunamente calibrati sui beni sottoposti a vincolo. Le linee guida serviranno anche alle istituzioni preposte alla tutela, alle quali verrà fornita la possibilità di formulare un parere, sugli interventi di riqualificazione, il più oggettivo possibile.

Dopo essere passati al vaglio della Direzione Generale per il Paesaggio, le Belle Arti, l'Architettura e l'Arte Contemporanea, i risultati di tale ricerca restano ancora non pubblicati.

## Considerazioni sull'efficacia delle esperienze europee di riqualificazione energetica.

Il gran numero di iniziative finalizzate al miglioramento delle prestazioni energetiche del costruito testimonia la consapevolezza, a livello internazionale, dell'importanza della definizione di una metodologia comune di approccio verso soluzioni tecnologiche innovative e materia storica.

La maggior parte dei progetti finanziati in ambito europeo si è conclusa (o si concluderà) infatti con la stesura di linee guida capaci di orientare i professionisti verso interventi efficaci ma rispettosi del patrimonio edificato.

In presenza di edifici storici, vincolati o meno, si presenta tuttavia il rischio di proporre linee di intervento generali che, pur rappresentando delle buone pratiche in relazione alla riqualificazione di recenti preesistenze, possono non tener conto del principio del "caso per caso", fondamentale per il restauro di un bene che presenta proprie caratteristiche e peculiarità in virtù del suo valore storico-culturale.

Nella riqualificazione energetica del costruito storico è senza dubbio fondamentale partire da una solida co-

noscenza della fabbrica e delle sue prestazioni; solo allora si potrà procedere alla progettazione di interventi mirati e non standardizzati, con una gradazione degli stessi capace di apportare un giusto miglioramento prestazionale.

Questo risulta particolarmente opportuno in presenza di edilizia storica minore non direttamente vincolata e, quindi, maggiormente soggetta a pesanti trasformazioni.

Il ruolo dell'utente diventa, in questo caso, fondamentale poiché in grado, col suo comportamento, di gestire al meglio l'edificio e i suoi consumi, consentendo un ridimensionamento del ricorso alle tecnologie impiantistiche.

La piena consapevolezza dell'importanza di tali azioni risulta evidente dalla struttura dei diversi progetti europei precedentemente illustrati, molti dei quali, basandosi sul coinvolgimento attivo della popolazione, forniscono l'utente di tutti gli strumenti conoscitivi utili ad attuare le pratiche necessarie al contenimento dei consumi dovuti alla conduzione degli edifici.





## 2. TECNICHE BIOCLIMATICHE PREINDUSTRIALI

Nel 1962 Victor Olgyay mette l'accento sulla fondamentale importanza che il contesto climatico ha su un edificio e su quanto questo potrà influenzarne e orientarne la progettazione:

«Il processo del costruire una casa climaticamente equilibrata si può dividere in quattro passi (...). Il primo passo verso l'aggiustamento ambientale è uno studio degli elementi climatici di una determinata località. Ciascun elemento ha però un diverso impatto e presenta un diverso problema. Poiché in architettura il metro fondamentale è l'uomo e l'abitazione è destinata a soddisfare i suoi bisogni biologici, il secondo passo è quello di valutare ogni effetto climatico in termini fisiologici. Come terzo passo, bisogna applicare ad ogni problema di comfort climatico le soluzioni tecnologiche. Infine, queste soluzioni dovrebbero essere combinate, secondo la loro importanza, in un'unità architettonica»<sup>1</sup>.

Il recente concetto di architettura bioclimatica affonda tuttavia le radici

in una stratificazione di saperi pratici che, nel corso dei secoli, hanno consentito all'uomo di trarre giovamento, in termini di miglioramento del comfort abitativo, dall'adattamento (e sfruttamento) delle condizioni climatiche del luogo scelto per erigervi la propria dimora.

«Gli antichi esperirono il loro ambiente come costituito di caratteri definiti. In particolare riconobbero essere di importanza vitale il venire a patti con il *genius* della località in cui doveva avere luogo la loro esistenza. Nei tempi passati la sopravvivenza dipendeva da un "buon" rapporto con il luogo, in senso fisico e psichico»<sup>2</sup>.

Già nel I sec. a. C. Vitruvio evidenzia, nel *De Architectura*, l'importanza di progettare in maniera differenziata in base al clima in cui l'edificio è collocato: «gli edifici privati (...) saranno disposti correttamente in tal modo, se in primo luogo si farà attenzione a in quali regioni o in quali latitudini del mondo siano costruiti. E infatti sembra opportuno istituire tipi di edifici in un modo in Egitto, in un altro

1. V. OLGAY, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, F. Muzio, Padova 1981, p. 24.

2. C. NORBERG-SCHULZ, *Genius loci. Paesaggio Ambiente Architettura*, Electa, Milano 1996, p. 18.

in Spagna, non nella stessa maniera nel Ponto, diversamente a Roma, così pure a seconda delle altre peculiarità di terre e regioni, poichè in una parte la terra è premuta dal corso del sole, in un'altra si trova a una lunga distanza da questo, in un'altra lungo la sezione mediana è temperata. Pertanto come la costituzione del mondo è fondata per natura in rapporto all'ambito della terra sull'inclinazione del cerchio dello zodiaco e sul corso del sole con peculiarità diverse, allo stesso modo altresì che le costituzioni degli edifici debbano essere disposte in rapporto ai caratteri delle regioni e alla varietà del cielo. Appare opportuno che verso nord siano fatti edifici testudinati, il più possibile chiusi e non aperti ma rivolti verso le parti calde. Di contro invece sotto la vampa del sole verso sud, poichè sono terre nella morsa del calore, debbono essere fatti più aperti e rivolti verso il nord e l'aquilone. Così, quel che la natura lede maggiormente, sarà emendato dall'arte. Analogamente nelle altre regioni si corregge allo stesso modo, a seconda di come il cielo è disposto rispetto all'inclinazione del mondo»<sup>3</sup>.

La stessa attenzione viene suggerita nella scelta della disposizione degli ambienti interni, in base all'uso che

se ne vuole fare:

«I triclini invernali e i bagni guardino l'occidente invernale, per il fatto che è necessario vi si utilizzi la luce della sera, in quanto altresì il sole calante emanando la luce di fronte, largendo calore rende di sera tale orientamento più tiepido. Le camere e le biblioteche debbono guardare verso est, perchè l'utilizzo mattutino richiede illuminazione, inoltre i libri non marciscono nelle biblioteche. Infatti in qualunque di esse guardi verso sud e ovest, i libri sono rovinati da tignole e umidità, in quanto i venti umidi irrompendovi danno vita alle tignole e le alimentano e infodendovi i soffi umidi guastano i volumi con la muffa. I triclini primaverili e autunnali guardino verso est. Poiché essendo esposti alla luce innanzi ai raggi del sole nascente, questo avanzando verso ovest li rende temperati per quel lasso di tempo in cui è opportuno di regola utilizzarli. Gli estivi guardino verso nord, in quanto tale orientamento non è come gli altri che durante il periodo del solstizio per il calore diventano torridi, in quanto esso è opposto al corso del sole, sempre refrigerato e garantisce durante l'utilizzo salubrità e piacere»<sup>4</sup>.

«Sulla corte la cucina sia sistemata nella posizione più calda, abbia inol-

3. M. VITRUVIO POLLIONE, *De Architectura*, Tomo II, libro VI, a cura di P. Gros, Einaudi Editore, Torino 1997, pp. 827 e ssg.

4. Ivi, p. 843.

5. Ivi, pp. 847-849.

6. F. DI GIORGIO MARTINI, *Trattato di architettura militare*, parte I, libro II, capo I, p. 354.



tre congiunte le stalle per i buoi, e le loro mangiatoie guardino verso il focolare e la zona orientale del cielo, per il fatto che i buoi, se vedono la luce e il fuoco non diventano selvaggi (...) la cella vinaria, dotata delle luci delle finestre rivolte a nord. Poiché se le avrà da un'altra parte che il sole può riscaldare, il vino che si troverà in tale cella intorbidato dal calore diverrà senza vigore. Invece la cella olearia deve essere disposta in modo da ricevere luce da sud e dagli orientamenti caldi. Poiché l'olio deve non congelarsi ma raffinarsi con il clima caldo. (...) I granai siano disposti col fondo rivestito e guardanti verso nord e l'aquilone, poiché in tal modo le granaglie non possono riscaldarsi in fretta, ma rinfrescate dall'aria si conservano a lungo. E infatti gli altri orientamenti danno vita al gorgoglio e alle altre bestiole che sogliono nuocere alle granaglie. Alle scuderie siano riservate le sedi più caldi nella villa, purché non guardino verso il focolare. Poiché i giumenti quando stalleggiano presso un fuoco, diventano selvaggi»<sup>5</sup>.

L'insegnamento di Vitruvio, viene ripreso e approfondito da Francesco di Giorgio Martini, architetto, teorico dell'architettura, ingegnere e artista, vissuto ad Urbino nel 1400. Durante

la sua permanenza presso la corte di Federico da Montefeltro, Martini scrisse il *Trattato di architettura civile e militare*, dove, nel paragrafo "Della situazione delle case secondo i climi e i venti" rimarca: «la prima avvertenza che l'architetto debba avere è di considerare in che clima (...) si ha a fare l'edificio, e la complessione di quel luogo avvertire: perocchè il sole per i suoi varii moti diversamente discorre sopra la terra abitabile, varie zone causando, come l'esperienza ne insegna (...). Per questo altre considerazioni sono necessarie ad uno edificio in Egitto, altre in Almania, altre in Ispagna, altre in Italia, altre nella parte opposta ad Ispagna; dove è da intendere che essendo la complessione umana una certa armonia e temperanza di quattro qualità contrarie ridotte al mezzo (...) ogni eccessiva qualità quella corrompe. E per questo le case da farsi sotto il mezzogiorno, debbono verso il settentrione con lumi e con stanze più usate e abitate esser volte: e per contrario quelle sotto settentrione verso mezzogiorno»<sup>6</sup>.

Di Giorgio Martini riprende dunque quanto scritto dall'illustre predecessore, approfondendone i concetti: «è da sapere che le stanze delle case verso tramontana debbano essere

testudinate, ovvero in volta. A perfezione eziandio della casa, è da dividere quella in due parti, in una delle quali siano ordinate le stanze e abitazioni per il verno, e nell'altra parte la state: e quella parte debba essere con maggiore diligenza ordinata, il quale loco dominasse. Le stanze per il verno sieno volte, come è detto, a mezzogiorno, sieno in volta e piccole: quelle per la state per contrario volte verso borea, ampie e aperte. E circa questo è da avvertire che poca grossezza di muro è sufficiente a resistere al freddo, ma volendo ostare al caldo bisogna fare i muri grossi: e la ragione è manifesta, perchè il freddo è condensativo dell'aere e ingrossativo, e per questo non penetra facilmente: ma il calore per l'opposito è sottigliativo e rarefattivo, donde ne segue che con facilità i muri penetra. (...) Dopo questo è da avere avvertenza che essendo né luoghi bassi l'aere molto grosso, generalmente è infetto, e in luoghi eminenti per contrario troppo sottile e penetrativo: fa adunque di bisogno per conservazione della sanità, nei luoghi bassi edificare con più solari, e più abitare le stanze alte che le basse: e così per contrario nei luoghi montuosi e alti, dove è sottile l'aere, edificare da basso e fare lato l'edifizio e non alto; la

qual regola in Italia poco si osserva, anzi quasi il contrario in molte città si vede usarsi»<sup>7</sup>.

Pochi anni dopo anche Leon Battista Alberti, nel suo *De re aedificatoria*, porterà l'attenzione sulle condizioni ambientali e climatiche, ponendo l'accento sull'importanza della scelta di un sito salubre: «Gli antichi facevano ogni sforzo per poter disporre di un ambiente che presentasse, per quanto possibile, tutti i vantaggi e fosse scevro di ogni elemento nocivo: e anzitutto facevano molta attenzione ad evitare un clima molesto e malsano. Precauzione, questa, assai saggia e anzi indispensabile. Si ammette infatti che, se la natura del terreno o delle acque presenta qualche svantaggio, si può modificarla con opportuni accorgimenti; ma né l'ingegno né la potenza dell'uomo possono mutare il cielo. E indubbiamente l'aria che respiriamo, la quale avvertiamo essere ciò che più contribuisce ad alimentare e a conservare la vita, se sarà perfettamente pura riuscirà di massimo giovamento alla salute. (...) Ora è manifesto essere più salubre proprio quell'aria che è pura e serena, che permette la massima visibilità, che si presenta trasparente e leggera, uniforme e senza variazioni. Diremo invece pernicio-

7. Ibidem.

8. L. B. ALBERTI, *De re aedificatoria*, a cura di G. ORLANDI, libro I, cap. III, Edizioni il Polifilo, Milano 1996, pp. 24 e ssg.

9. Ivi, libro I, capitolo IV, pp. 34 e ssg.

sa quell'aria che l'addensamento di nebbie e l'esalazione di vapori rende densa e fetida, onde una sorta di gravità incombe sull'occhio ostacolando la vista. Nell'un caso e nell'altro credo che i fattori fondamentali, tra vari altri, delle condizioni atmosferiche siano i soli e i venti. (...) E' quindi buona norma tener conto della quantità di sole che riceve un ambiente, e in quali modi lo riceva, al fine di evitare un eccesso sia di luce che di ombra. (...) In genere tra i venti saranno preferibili quelli leggeri; ma si sopporteranno meglio i venti più pungenti e sfrenati che un'aria immobile e greve (...). Inoltre sarà meglio che i venti giungano a noi dopo aver perso la loro violenza, o per aver avuto il cammino ostacolato da montagne e foreste, o per la lunghezza della strada percorsa»<sup>8</sup>.

«L'ambiente dovrà essere inoltre né troppo umido per eccesso d'acqua, né tormentato dalla siccità; bensì accogliente e temperato. Se poi non sarà possibile soddisfare questa esigenza, lo si sceglierà piuttosto un po' freddo e secco che non caldo e umido più del necessario. Al freddo infatti si può porre rimedio con delle mura e un tetto (...). Tuttavia l'ambiente più consigliabile sarà quello che ha il clima moderatamente umi-

do e tiepido: in tal modo gli abitanti cresceranno alti e ben conformati e inoltre sereni di carattere. Subito dopo, in ordine di convenienza, verrà l'ambiente più soleggiato di tutti in una zona nevosa, o quello più umido e ombroso in regioni aride e assolate. In ogni caso nessun edificio, qualunque esso sia, sarà peggio collocato, in rapporto alla comodità e al decoro, di quanto lo si celi nel fondo di una valle. (...) Pertanto la conformazione del luogo dovrà essere anzi in posizione elevata sulla zona circostante, e tale da essere continuamente allietata da buona aria»<sup>9</sup>.

Anche l'Alberti approfondisce la trattazione relativa alla disposizione degli ambienti interni in base all'esposizione dell'edificio, affermando: «Nella suddivisione si dimostra tutta l'acutezza di ingegno e la preparazione tecnica dell'architetto. (...) Bisogna poi tener conto delle stagioni, e conferire diverse caratteristiche agli ambienti estivi e a quelli invernali. Giacché in tal senso varia la posizione e l'ampiezza delle stanze: quelle da abitarsi d'estate conviene che siano spaziose, quelle invernali possono anche essere alquanto ristrette. Inoltre le une devono essere ventilate e rivolte verso l'ombra, le altre esposte al sole. Ed è bene evitare l'even-

tualità che gli abitanti, uscendo da un ambiente freddo, entrino in uno caldo, o da questo in un altro esposto al gelo o ai venti, senza passare per una zona dall'aria a temperatura intermedia»<sup>10</sup>.

«Sarà dunque opportuno che ogni stanza sia provvista di finestre, al fine sia di dar luce, sia di ricambiare l'aria; e dovranno esser fatte in modo da adattarsi allo scopo cui il luogo è adibito e all'ampiezza del muro; si che risultino in numero non eccessivo, né insufficiente e forniscano una quantità di luce non maggiore né minore di quanto sia necessario. Sarà bene altresì prevedere a quali venti saranno esposte le finestre stesse. Quelle infatti che accolgono venticelli salutarì si potranno fare anche molto ampie da ogni lato; e sarà bene allargarle in modo tale che l'aria giunga a circolare tra i corpi degli abitanti: il che avverrà soprattutto facendo il davanzale così basso che chi si trovi all'interno possa essere visto dalla strada e vedere a sua volta i passanti. Invece le finestre che siano esposte in direzione di venti non sempre salubri, saranno situate in modo da non illuminare meno del dovuto, ma neppure di più. Si collocheranno in alto, perché il muro frapposto difenda gli abitanti dai venti; in tal modo questi

vi penetreranno per quel tanto che basti al ricambio d'aria ma perdendo la loro forza e riuscendo quindi meno nocivi.

E' pure da prevedere in quali modi il sole dovrà entrare in casa attraverso le finestre, le quali si faranno più o meno ampie a seconda del tipo di abitazione. Negli appartamenti estivi si faranno finestre ampie in ogni direzione nelle pareti rivolte e nord, basse e strette in quelle rivolte al sole di mezzogiorno: le une saranno meglio ventilate, le altre meno vulnerabili al sole; anche così l'illuminazione, per il risplendere continuo del sole all'intorno, sarà sempre sufficiente in luoghi come questi, dove si va in cerca, assai più che di luce, di ombra. Negli appartamenti invernali, invece, si faranno finestre molto ampie, in modo da accogliere il sole direttamente nell'interno, ma poste in alto, in modo da non esporsi troppo ai venti, che non devono investire direttamente gli abitanti nemmeno quando stanno in piedi»<sup>11</sup>.

Il tema della disposizione degli ambienti in base all'utilizzo che ne viene fatto e all'orientamento viene trattato anche dal Palladio nel paragrafo "Del compartimento delle stanze e altri luoghi" del II libro del trattato *I quattro libri dell'architettura*, pub-

10. Ivi, libro I, cap. IX, pp. 64 e ssg.

11. Ivi, libro I, cap. XII, pp. 80 e ssg.

12. A. PALLADIO, *I quattro libri dell'architettura*, libro II, cap. II, p. 342.

blicato a Venezia nel 1570, che, sviluppando le teorie anticipate nel *De architectura*, pone le basi del nuovo stile neoclassico.

«(...) nella più bassa parte della fabbrica, la quale io faccio alquanto sotterra; siano disposte le cantine, i magazzini da legne, le dispense, le cucine, i tinelli, i luoghi da liscia o bucata, i forni, e gli altri simili che all'uso quotidiano sono necessari: dal che si causano due comodità: l'una che la parte di sopra resta tutta libera, e l'altra, che non meno importa; è, che detto ordine di sopra divien sano per habitarvi, essendo il suo pavimento lontano dall'humido della terra (...). Appartiene anche alla comodità che le stanze per l'estate siano ampie e spacciose, e rivolte a Settentrione; e quelle per lo inverno a Meriggie, e Ponente, e siano più tosto picciole che altramente: percioche nella estate noi cerchiamo l'ombre, e i venti, e nell'inverno i Soli, e le picciole stanze più facilmente si scaldano che le grandi. Ma quelle, delle quali vorremo servirci la Primavera, e l'Autunno; saranno volte all'Oriente, e riguarderanno sopra giardini e verdure. A questa medesima parte saranno anco gli studi, o librerie: perché la mattina più che d'altro tempo si adoperano»<sup>12</sup>. Quanto teorizzato dal Palladio viene

messo in pratica in una delle sue più famose opere, villa Almerico Capra (fig. 2), detta "La Rotonda", famosa per inserirsi in maniera estremamente armonica sulla collina scelta per la sua edificazione, alle porte di Vicenza. La costruzione si articola su due piani: un basamento destinato agli ambienti di servizio e un piano nobile impostato attorno all'ampio salone circolare a tutta altezza, servito da corridoi d'accesso su due livelli.

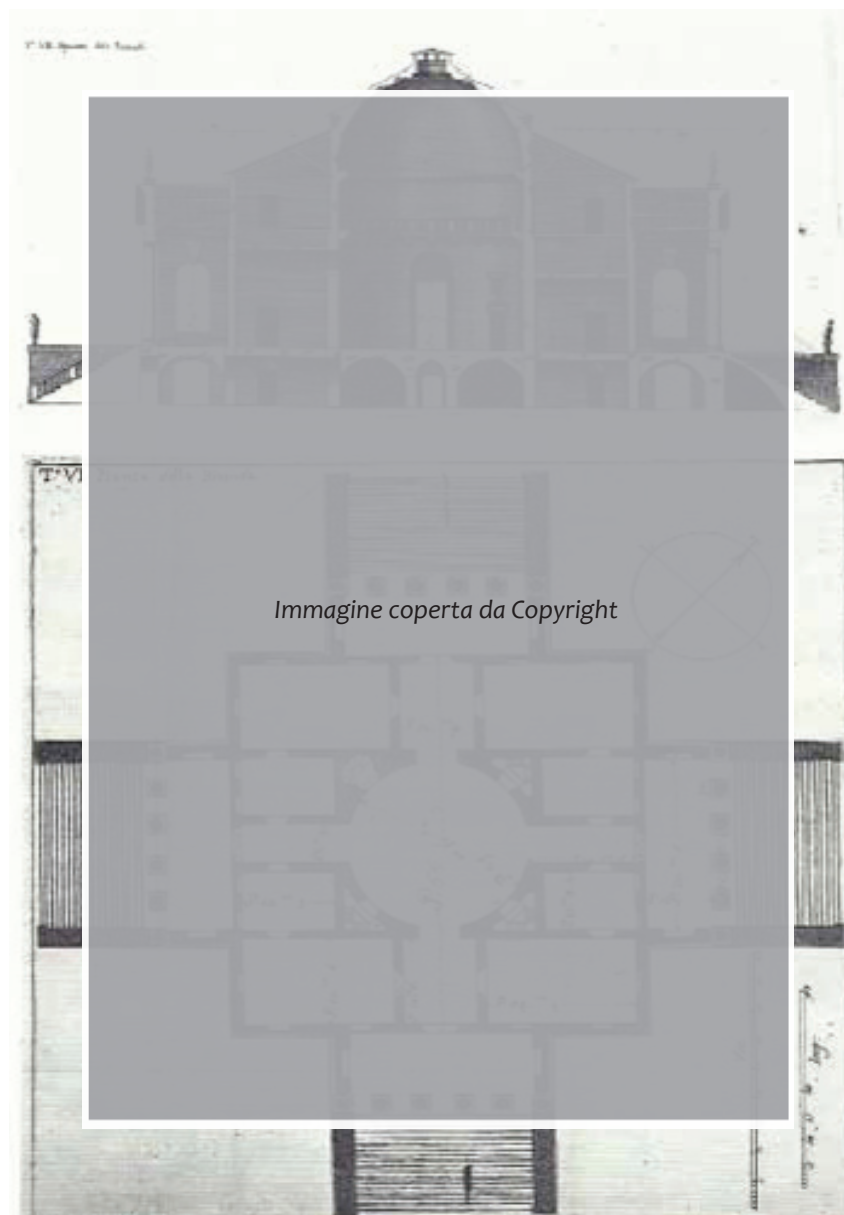
Ruotando la pianta di 45 gradi rispetto ai punti cardinali, Palladio ottiene un'efficace esposizione al sole per ogni stanza. La particolare articolazione dei volumi consente inoltre, anche grazie all'apertura dell'oculo posto alla sommità della cupola centrale (aperto successivamente da Scamozzi) di sfruttare l'effetto camino che, grazie alla circolazione dell'aria più fresca proveniente dal piano basamentale e la sua uscita dall'apertura sommitale, permette il raffrescamento dell'intera villa (fig. 3).

La conoscenza dell'architettura si è fondata per secoli sul rilievo degli edifici esistenti e sull'analisi del loro comportamento. Così facendo, e grazie ad una lunga sperimentazione delle tecnologie già adottate, è stata possibile, nel tempo, la progressiva selezione dei materiali e la correzione

Fig. 2: Villa Almerico Capra, veduta da nord-est.



Fig. 3: Sezione e pianta della villa Almerico Capra.



degli errori riscontrati durante il loro uso, con il raggiungimento dell'armonia delle parti. Tuttavia al giorno d'oggi si riscontra un allontanamento da quello che è l'insegnamento del passato: gli edifici storici sono considerati preziosi quasi esclusivamente per il loro valore di testimonianza storica, raramente per la loro valenza costruttiva.

L'architettura storica potrebbe, al contrario, rappresentare un modello a cui fare nuovamente riferimento, con l'apporto delle dovute integrazioni e correzioni indispensabili alla sua "attualizzazione".

Come posto precedentemente in evidenza, sono numerosi i suggerimenti che possiamo cogliere per sfruttare le opportunità date dal sito destinato all'edificazione. Tuttavia non sempre è possibile scegliere l'orientamento più favorevole per l'edificio; diventa quindi fondamentale sfruttare l'apporto degli elementi naturali.

Un esempio ci viene dalla tecnica dell'ipocausto (fig. 4), utilizzata dai romani a partire dal I secolo a. C. per mitigare la temperatura di ambienti non direttamente riscaldati dal focolare. Tale sistema prevedeva la realizzazione di un pavimento rialzato e di una serie di canalizzazioni che vi correvano al di sotto per poi risalire

lungo alcune intercapedini ricavate nelle murature, all'interno delle quali circolava il flusso d'aria calda prodotta da un focolare situato nei locali inferiori dell'edificio. Il calore, diffuso per irraggiamento dalle pareti, era in grado di riscaldare gli ambienti, pur richiedendo tempi di accensione del focolare molto lunghi e grandi quantità di legna da ardere.

L'ipocausto faceva ricorso al cosiddetto "effetto camino", principio secondo cui l'aria calda tende a salire verso quote superiori rispetto all'aria fredda, a causa della pressione generata dalla differenza di temperatura esistente fra le due masse fluide. La spinta verso l'alto data dalla pressione è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura.

I moti convettivi generati dall'aria calda continuano ad essere sfruttati nel corso dei secoli, mediante tecniche sempre più affinate. E' del 1859 il camino a doppio tubo M'Kinnel che, mutuato dall'originale sistema di ventilazione dei bastimenti, combina riscaldamento e ventilazione. Si tratta di un sistema di estrazione costituito da due tubi concentrici coassiali, uno per l'ingresso dell'aria esterna e uno per l'uscita di quella interna, viziata. Mentre quest'ultima, più calda, fuoriesce per via dei suoi naturali



Fig. 4: Resti archeologici di ipocausto romano.



moti convettivi dal tubo più alto (che non ne permette il reingresso), l'aria esterna più fresca viene aspirata dal canale più esterno ed immessa nell'ambiente.

La ventilazione naturale veniva usata, nella tradizione, anche per il raffrescamento estivo. Nel fitto tessuto edilizio dei centri storici medievali anche le finestre venivano pensate in modo tale da poter captare quanta più aria possibile. E' il caso, ad esempio, delle strette aperture con strombatura asimmetrica riscontrate in alcune abitazioni a Perugia (figg. 5 e 6), orientate a favore dei venti prevalenti<sup>13</sup>. Spesso la ventilazione naturale veniva utilizzata in sinergia con il raffrescamento geotermico passivo: i cosiddetti "ventidotti" o "covoli" delle ville prepalladiane delle colline vicentine, a Costozza, sfruttavano l'aria fredda e densa incanalata nelle cavità naturali del terreno, talvolta estese artificialmente in epoca romana, immettendola direttamente nei loro locali interrati. Attraverso delle griglie l'aria poteva fluire verso l'alto, mitigando la temperatura interna ai vani abitati.

Nell'antica Roma, il *criptoportico*<sup>14</sup> (fig. 7) consentiva un sicuro sollievo dalle elevate temperature estive mentre in ambito medio-orientale l'a-

ria viene tuttora captata dai *bàdgir*<sup>15</sup> (fig. 8) e incanalata negli ambienti seminterrati dell'edificio. Una volta raffrescatasi risale all'interno degli ambienti più caldi e fuoriesce tramite opportune aperture sommitali. Di notte il ciclo si inverte: durante le ore diurne la massa del *bàdgir* assorbe il calore che viene poi rilasciato nelle ore più fresche, quando l'aria degli ambienti sotterranei ha una temperatura inferiore. Tale differenza di temperatura innesca una ventilazione opposta a quella diurna. Il *badgir*, seppure spesso integrato con altri sistemi di controllo dell'umidità dell'aria (come specchi d'acqua e manti vegetali), può essere considerato autosufficiente, poiché, grazie all'inerzia termica della massa muraria, è in grado di innescare il flusso d'aria anche in assenza di vento, assicurando una buona circolazione dell'aria e una buona protezione dalla radiazione solare.

I materiali da costruzione impiegati sono quelli della tradizione costruttiva islamica: terra, fibre vegetali, legno ed in alcuni rari casi il vetro.

Il componente fondamentale è il mattone in terra cruda, la cui superficie esterna viene generalmente protetta da un intonaco naturale, di colore neutro, che ha la funzione di

13. F. SARTOGO, M. BASTIANI, *Manuale metodologico per il recupero della struttura bioclimatica della città storica di Perugia*, Edizioni Guerra, Perugia 1998.

14. Corridoio voltato a botte, completamente o parzialmente interrato e illuminato dalla luce naturale tramite lucernari o bocche di lupo.

15. In lingua persiana "acchiappa vento". Si tratta di torrette realizzate in muratura, caratterizzate da una partizione interna verticale e aperte su tre o quattro lati, diffuse prevalentemente in Iran e nell'area del Golfo Persico.

Fig. 5: Apertura strombata nel centro storico di Perugia.



Fig. 6: Rappresentazione di un'apertura strombata nel centro storico di Perugia: sezione (in alto) e vista frontale (in basso).



Fig. 7: Criptoportico, Aosta.



Fig. 8: Badgir a pianta ottagonale, in Iran.



riflettere la radiazione solare<sup>16</sup>.

Un altro sistema di raffrescamento utilizzato in Medioriente, che prevede lo sfruttamento della ventilazione naturale, è il *qa'a*, diffuso nelle città caratterizzate da un tessuto edilizio particolarmente denso, all'interno del quale la ventilazione assicurata dalle ridotte superfici finestrate risulta insufficiente.

Il sistema coinvolge tre ambienti dell'edificio: il *durqà'a*, un locale centrale a tutta altezza, utilizzato per il passaggio delle persone, con pavimento in marmo, e gli *iwana*t, due ambienti annessi, chiusi e dedicati ad accogliere lo svolgimento delle pubbliche relazioni degli utenti, sollevati e con i pavimenti ricoperti da tappeti. Il meccanismo di ventilazione è innescato dalla differenza di pressione che si instaura tra i diversi ambienti e tra interno ed esterno. L'aria catturata dal *malqaf*<sup>17</sup> (figg. 9 e 10) viene incanalata prima nell'*iwan*, arriva quindi al *qa'a* vero e proprio per poi salire per effetto del tiraggio. Tale fenomeno è dovuto ad una differenza di temperatura, e quindi di pressione, fra la parte bassa e quella più alta del vano centrale (il lanternino), dove l'effetto serra generato dai vetri che schermavano alcune delle aperture, innesca il meccanismo di estrazione.

In estate l'aria calda dell'ambiente tende a salire verso l'alto, fuoriuscendo dalle aperture della sommità; tale flusso richiama aria fresca dagli ambienti circostanti. In inverno, invece, le aperture vengono chiuse con del vetro.

La conformazione del *qa'a* è legata alla copertura del *dur-qa'a*: le aperture del lanternino sommitale possono variare sia per forma che per materiali.

Queste sono generalmente schermate da una struttura lignea a graticcio, a volte in mattoni, capace di ridurre il surriscaldamento della struttura, pur assicurando il passaggio dell'aria.

In Egitto il lanternino è di legno, in Iran è in muratura e ha tradizionalmente una forma ogivale.

Talvolta l'ambiente centrale è coperto a cupola, in modo da proteggere ulteriormente l'ambiente interno da fenomeni di surriscaldamento.

Per poter essere pienamente efficiente, la *qa'a* deve avere uno dei due *iwana*t orientato verso nord, quello in cui è collocato il *malqaf*. Ma la caratteristica fondamentale della *qa'a* è la sua centralità nella progettazione dell'intero edificio, non trattandosi di un semplice elemento architettonico della casa tradizionale, ma di un'idea dello spazio, con una precisa relazio-

16. M. GROSSO, *Archetipi bioclimatici dell'area mediorientale*, in idem, *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN) 2011, p. 137 e ssg.

17. Il *malqaf* è una torre di captazione dell'aria posta sulla sommità di un edificio, realizzata con un'apertura rivolta verso i venti dominanti.

Fig. 9: Schema dell'andamento dei venti in presenza di due schiere di edifici con elemento captatore del vento (a) e dettaglio del malqaf (b).

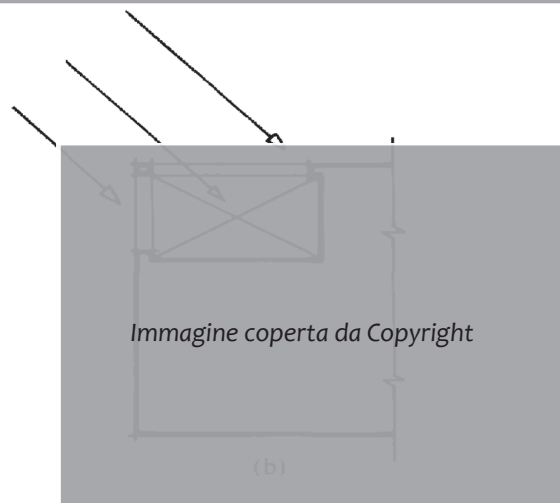
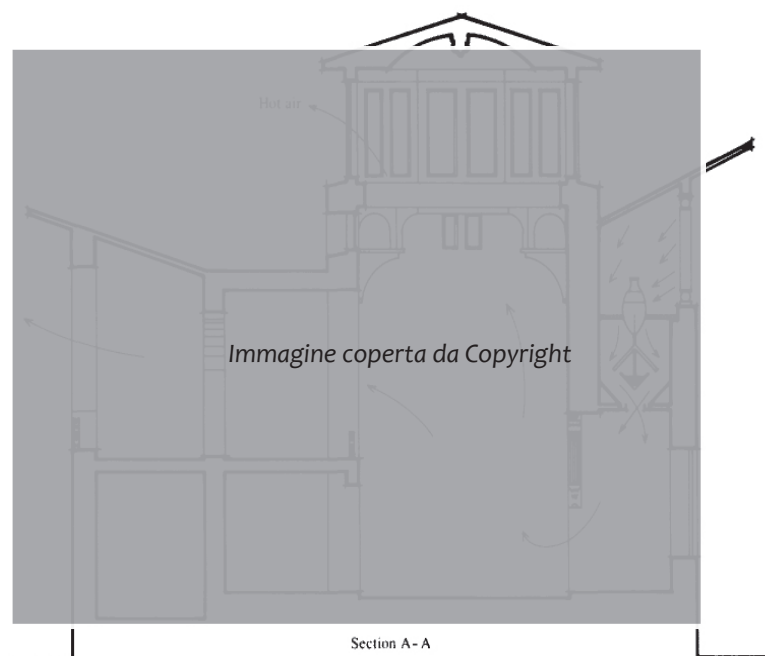


Fig. 10: Rappresentazione grafica di un malqaf (sezione e pianta).



ne tra l'articolazione degli ambienti e l'articolazione funzionale<sup>18</sup>.

Caratteristico dell'architettura araba è anche il *salsabil*, una lastra di pietra inclinata su cui scorre dell'acqua che, nelle ore più calde della giornata, evapora sottraendo calore all'aria circostante<sup>19</sup>.

Le tecniche di raffrescamento evaporativo hanno radici antiche: sviluppatesi prevalentemente nei Paesi con clima caldo-secco, spesso hanno contribuito ad enfatizzare la forte valenza simbolica e religiosa dell'acqua.

La fontana trova infatti posto, nella generalità dei casi, al centro del cortile o del patio, e con la sua forma ottagonale, con semicerchi agli spigoli (come da tradizione mediorientale), rievoca la volta celeste.

Altre volte la fontana viene collocata al centro di locali forniti di torri del vento, che convogliano l'aria esterna verso l'acqua della fontana, in modo da consentire la diminuzione della temperatura dell'aria e, allo stesso tempo, incrementarne il contenuto di umidità.

Anche i patii rappresentano uno strumento fondamentale per il controllo del microclima interno all'abitazione, schermando i raggi solari estivi ed evitando che questi colpiscano in maniera diretta il prospetto, sur-

riscaldandolo. Il funzionamento bioclimatico del patio varia in funzione delle stagioni: durante i mesi più caldi le pareti e le logge che vi si affacciano gettano ombra durante tutto il giorno, mantenendo freschi gli ambienti in cui si svolgono le mansioni domestiche, anche a mezzogiorno, quando il sole è vicino allo zenith. In questo arco di tempo, i raggi solari incidono perpendicolarmente sul pavimento riscaldando l'aria che, per effetto camino, si sposta verso l'alto dando luogo a moti convettivi e fenomeni di ventilazione naturale incrociata.

Gli ambienti interni, ancora freschi per via dell'inerzia termica delle pareti, nel tardo pomeriggio cominciano a rilasciare il calore immagazzinato durante le ore calde.

L'effetto camino richiama l'aria interna, espellendola verso l'alto e facendo penetrare l'aria notturna più fresca e densa che, permanendo nel patio, raffresca anche le stanze attigue. Nella stagione invernale il patio è abitato a partire da mezzogiorno e fino al tardo pomeriggio, durante le ore in cui l'aria comincia a scaldarsi, rendendo piacevole la sosta per via dell'accumulo di calore delle pareti e del pavimento.

Un altro sistema di protezione dal

18. H. FATHY, *The Qa'a of the Cairene Arab House, its development and some new usages for its design concepts*, in "International Colloquium On The History of Cairo", Hassan Fathy Archives, Cairo 1970.

19. L'effetto dell'evaporazione del contenuto dell'acqua presente nell'aria viene utilizzato come pozzo termico naturale; il calore sensibile dell'aria viene ceduto alle molecole d'acqua sotto forma di calore latente, al fine di permetterne l'evaporazione. La quantità di calore sensibile assorbito dipende dalla quantità d'acqua che può essere fatta evaporare.

20. Secondo Hassan Fathy il controllo dell'umidità dell'aria esercitato dalla *mashrabiya* è dovuto al legno che la compone poiché esso assorbe l'umidità del vento durante la notte, per poi rilasciarla quando colpito dai raggi del sole, durante il giorno (H. FATHY, *Natural energy and vernacular architecture*, University of Chicago Press, USA 1986, p. 56).

forte irraggiamento estivo consiste nell'aprire delle griglie di fronte alle aperture (è il caso dei *mashrabiya* lignei) o nel realizzare dei muri traforati (come il *claustrum* musulmano) che consentono, allo stesso tempo, il passaggio della luce.

Si tratta generalmente di spazi realizzati a sbalzo, nel quale venivano collocate delle giare contenenti acqua, in modo che i flussi d'aria che circolano attraverso le aperture potessero raffrescarle.

Attualmente, per *mashrabiya* si intendono le aperture schermate da una griglia di legno, formata da piccole balaustre lignee, a sezione circolare, disposte ad intervalli regolari a formare delle decorazioni di tipo geometrico (figg. 11-13).

La *mashrabiya* adempie a diverse funzioni: il controllo del passaggio della luce, il controllo dei flussi d'aria, il controllo della temperatura e dell'umidità dell'aria<sup>20</sup>, la tutela della *privacy*.

Il *claustrum* è uno schermo realizzato con mattoni di terra cruda, disposti secondo disegni geometrici e, a differenza della *mashrabiya*, non possiede profondità, essendo complanare alla facciata dell'edificio.

Anche le coperture a volta o a cupola sono funzionali al raffrescamento

degli edifici, grazie al fenomeno del reirraggiamento (figg. 15 e 16): fra due corpi con temperature diverse vi è uno scambio di calore anche senza che questi siano a contatto, per irraggiamento.

Durante il giorno le coperture accumulano calore che viene poi ceduto alla volta celeste, fredda, durante la notte. Volte e cupole aumentano la superficie di scambio, massimizzando l'effetto.

Fig. 11: *Mashrabiya*, schema.

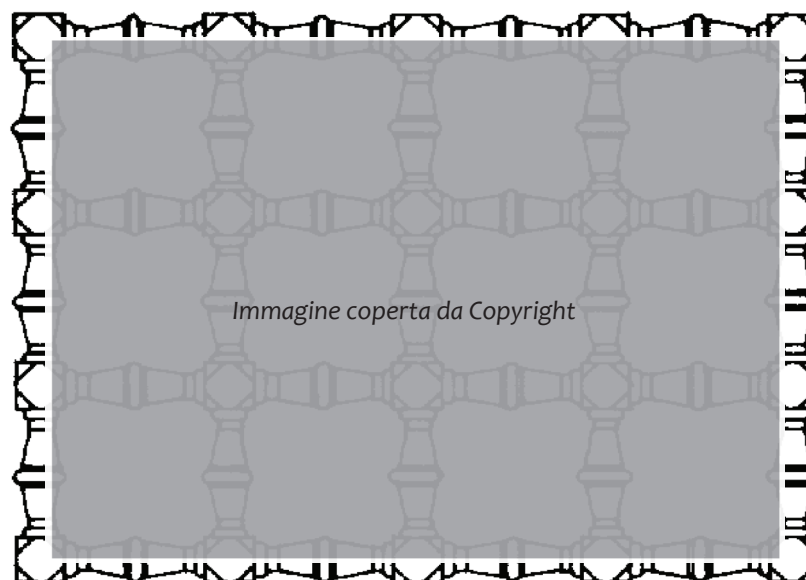


Fig. 12: Sezione di un Mashrabiya.

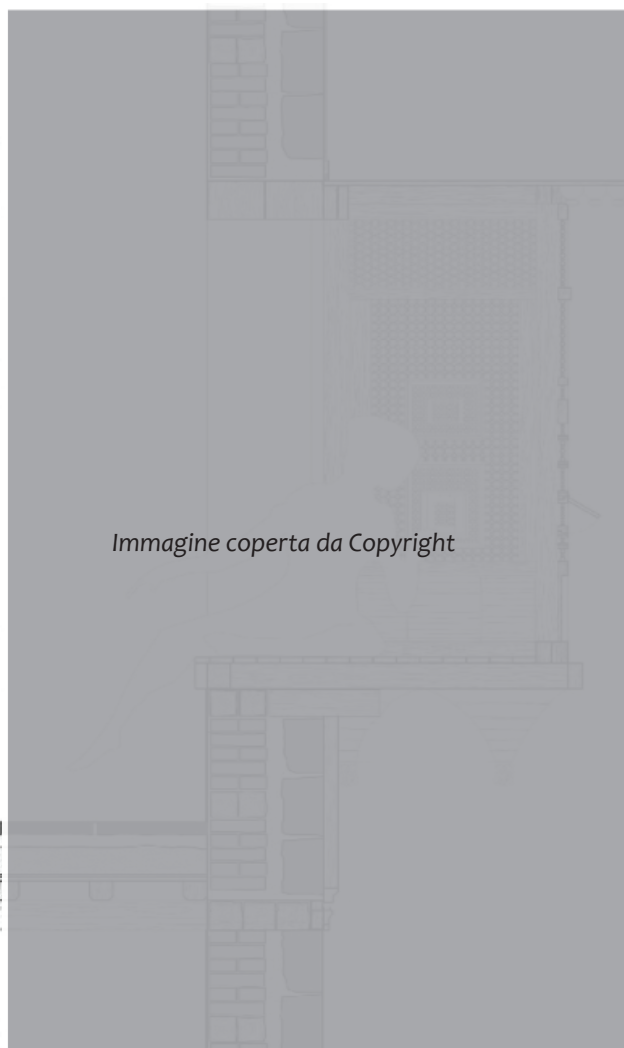
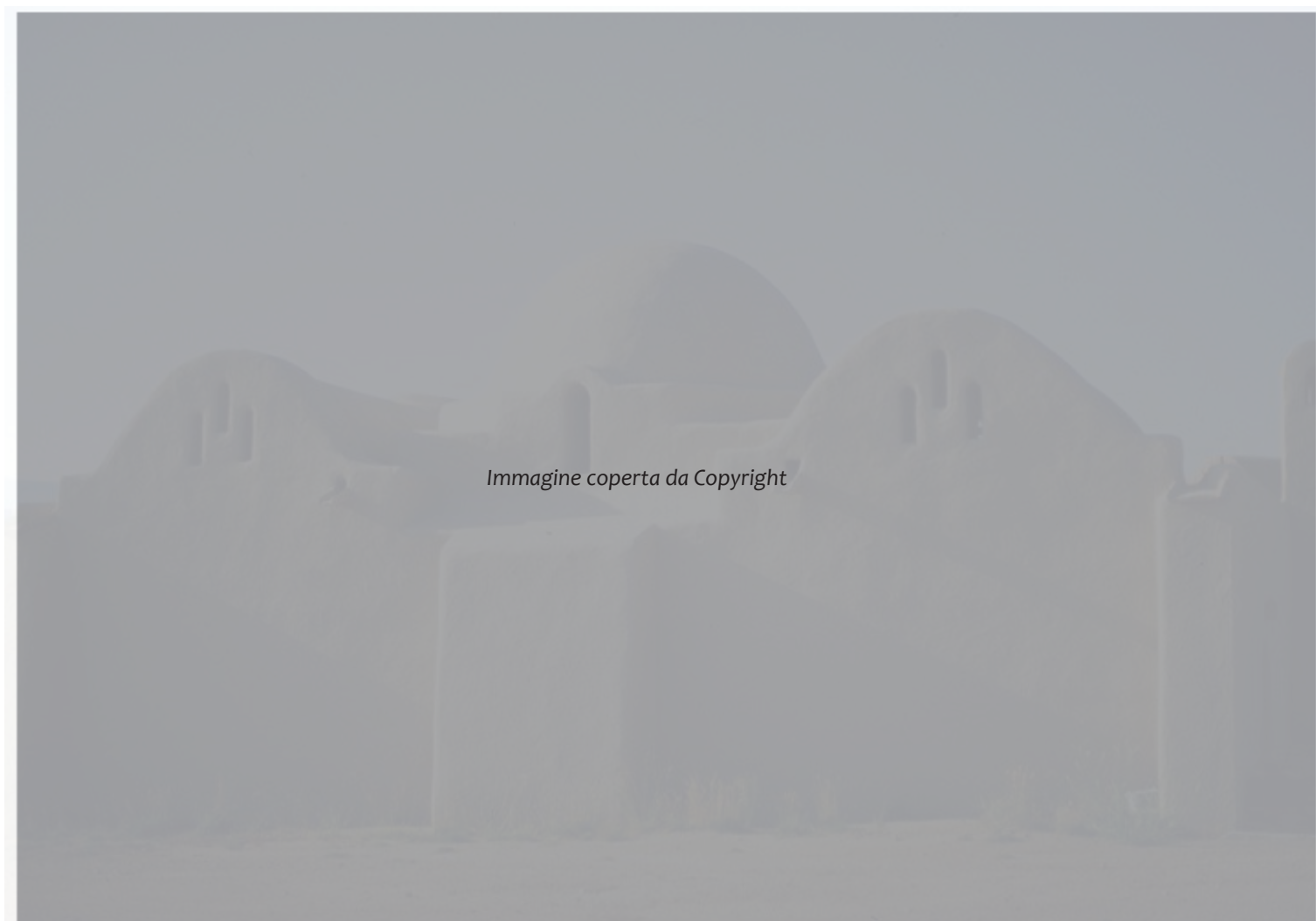


Fig. 13: Mashrabiya al Cairo.





Fig. 14: Cupole del Dar al-Islam Foundation ad Abiquiu.



## 2.1 Archetipi mediterranei

«Il concetto di mediterraneità non esprime una semplice condizione di appartenenza geografica, ma si riferisce più correttamente ad una chiara dimensione linguistica, che privilegia intenzionalmente alcuni principi a scapito di altri (...). La mediterraneità, più che prerogativa di un contesto che dall'esterno limita e guida la pratica architettonica, risulta pertanto una qualità interna alla pratica del progetto di architettura»<sup>21</sup>.

L'architettura mediterranea è dunque il risultato della relazione fra insediamento e paesaggio scelto, come si evince dall'osservazione della tradizione costruttiva del Sud della Spagna e dell'Italia centro-meridionale, delle architetture vernacolari arabe e di quelle greche.

Le invarianti architettoniche, rappresentate dai caratteri morfologici e tecnologici di queste tipologie edilizie, si pongono come punto di partenza per uno studio dei principi bioclimatici che le hanno generate. Ogni comunità ha adoperato i materiali disponibili *in loco*, sfruttando-

ne a proprio vantaggio proprietà e caratteristiche fisiche e meccaniche (inerzia termica, porosità, resistenza, permeabilità, ecc.), note sin dall'antichità e caratterizzanti un'esperienza costruttiva consolidatasi nel tempo. L'efficienza di un sistema costruttivo è commisurata al grado di comfort dei suoi abitanti; le prestazioni venivano perfezionate nel tempo, di pari passo con la conoscenza delle caratteristiche climatiche del sito.

Oggi gli archetipi costruttivi dell'Italia meridionale ci mostrano come l'impostazione morfologica prevalente sia fondata su una cellula base, di forma compatta, all'interno della quale si svolge la vita degli abitanti. Tutt'intorno si articolano i vani accessori e gli ambienti di servizio, di forma stereometrica, disposti a grappolo o in linea, spesso orientati in base all'orografia del terreno.

Il controllo microclimatico dell'abitazione è affidato a patii, pergole e giardini che, opportunamente pensati, proteggono gli ambienti di vita dell'abitazione, generalmente espo-

21. N. MARZOT, *Architetture scolpite. Alcune invarianti del paesaggio mediterraneo*, in "Paesaggi d'architettura mediterranea" 7-8 (2003), Agorà Edizioni, La Spezia, p. 25.

22. L'inerzia termica di una muratura è la capacità che questa ha di accumulare e rilasciare calore nel tempo, contribuendo al contenimento delle oscillazioni della temperatura dell'ambiente interno. È data dall'azione combinata di attenuazione e sfasamento dell'onda termica sinusoidale che attraversa la parete quando questa viene riscaldata. Questi due effetti dipendono dalla sua massa frontale e dalla conduttività dei materiali che la costituiscono.

sti a Sud, e che spesso influenzano la distribuzione spaziale dell'intero manufatto.

In presenza dei tessuti insediativi compatti tipici dei centri storici, il controllo dell'irraggiamento solare estivo è demandato agli spazi d'ombra generati dagli stretti vicoli che, per la loro particolare conformazione, permettono di schermare i raggi più forti durante il giorno e di incanalare le correnti fresche della notte.

Il flusso ventoso è favorito dalle coperture a cupola, funzionali anche al raccoglimento delle acque piovane.

L'altezza degli edifici dipende sempre dalle dimensioni della pianta così da mantenere il grado ottimale di compattezza e non accrescere il valore del rapporto tra superficie e volume.

L'efficienza energetica dell'architettura tradizionale mediterranea dipende quindi, strettamente, dal corretto equilibrio tra compattezza e "permeabilità" dell'impianto morfologico, ma anche dalle componenti murarie.

Queste ultime, realizzate con i materiali reperiti localmente (quindi pietra o laterizio), hanno generalmente una sezione compresa tra gli 80 e i 200 cm e consentono di mantenere nel periodo estivo una temperatura

interna costante.

L'importante massa perimetrale agisce, infatti, sfasando e smorzando il flusso di calore dovuto al soleggiamento delle facciate, consentendo di limitare gli sbalzi termici negli ambienti interni, in relazione alle escursioni giornaliere e stagionali del clima. Maggiore è l'inerzia termica<sup>22</sup>, minore sarà la velocità con cui la temperatura interna aumenta o diminuisce, in risposta ad una variazione della temperatura esterna.

Durante il giorno i muri dell'edificio immagazzinano calore che poi rilasciano in un arco di tempo variabile a seconda delle caratteristiche della struttura (spessore, materiale, etc...). In un edificio ad alta inerzia termica, o "pesante", il calore accumulato viene ceduto agli ambienti interni durante le ore più fresche; ciò, in estate, rallenta l'ingresso del calore durante le ore più calde della giornata, rilasciandolo durante la notte e rendendo necessario lo sfruttamento della ventilazione naturale.

L'impiego di intonaci chiari nelle murature esterne, specie se orientate a meridione, contribuisce a proteggerle ulteriormente la struttura dal surriscaldamento estivo: il basso valore di assorbimento del colore consente di allontanare parte della radiazione

solare incidente, attenuando così le temperature superficiali esterne dell'involucro.

Le aperture sono piccole e sporadiche, così da consentire l'illuminazione degli ambienti interni in ogni stagione e, allo stesso tempo, proteggere dall'eccessiva incidenza solare diretta in estate.

Si nota, nelle costruzioni che hanno tenuto la facciata in pietra a vista, come gli stipiti di porte e finestre venissero tradizionalmente dipinti di bianco per sfruttare il medesimo principio di riflessione della radiazione precedentemente esposto.

### **I Sassi di Matera**

Un valido esempio di sfruttamento e adattamento alle peculiarità del sito scelto per l'insediamento è senza dubbio quello dei cosiddetti "Sassi" di Matera (fig. 15), un insieme di circa 3000 abitazioni quasi interamente scavate nella roccia: dove il banco tufaceo è più duro vi sono le grotte naturali, dove questo è più tenero e quindi scavabile, sono state realizzate le abitazioni più articolate.

Originariamente il sito era deputato all'agricoltura: la struttura dei Sassi

corrisponde ad un complesso sistema di raccolta delle scarse acque presenti nel territorio mentre i terrazzamenti erano occupati da giardini e orti coltivati.

La migliorata salubrità del sito consente, in epoca successiva, la sua conversione in centro abitato.

La sottrazione degli spazi all'agricoltura prevede anche che alcune cisterne vengano rivisitate in forma d'abitazione mentre altri alloggi verranno scavati nella roccia, generando una caratteristica «commistione tra i tipi architettonici delle cisterne e quelli delle case»<sup>23</sup>.

Le grotte artificiali non si sviluppano in orizzontale ma si articolano all'interno della roccia con lunghe gallerie, in maniera obliqua e con un andamento a ferro di cavallo.

Tale conformazione consente, quando il sole invernale è più basso all'orizzonte, che i raggi penetrino sino in fondo scaldando e illuminando gli ambienti. Per contro, d'estate il sole più alto investe con i suoi raggi solo l'ingresso mantenendo freschi gli ambienti.

Di notte le cavità funzionano da "accumulatori" di umidità atmosferica che, condensandosi nelle cisterne terminali degli ipogei, rimane disponibile come scorta d'acqua, anche

23. P. LAUREANO, *Giardini di pietra*, ed. Bollati Boringhieri, Torino 1993, p. 111.

in assenza di canalizzazioni. Il tufo estratto in fase di cava viene usato per chiudere l'ingresso e per rivestire la cavità interna, voltandola a botte. Durante questa fase costruttiva prende piede il cosiddetto "lamione" ovvero la cellula base, addossata alla grotta e voltata, anch'essa a botte, che costituisce un prolungamento della grotta verso l'esterno.

Le spinte della volta sono contenute dalle spesse pareti di roccia, più alte della copertura in tegole.

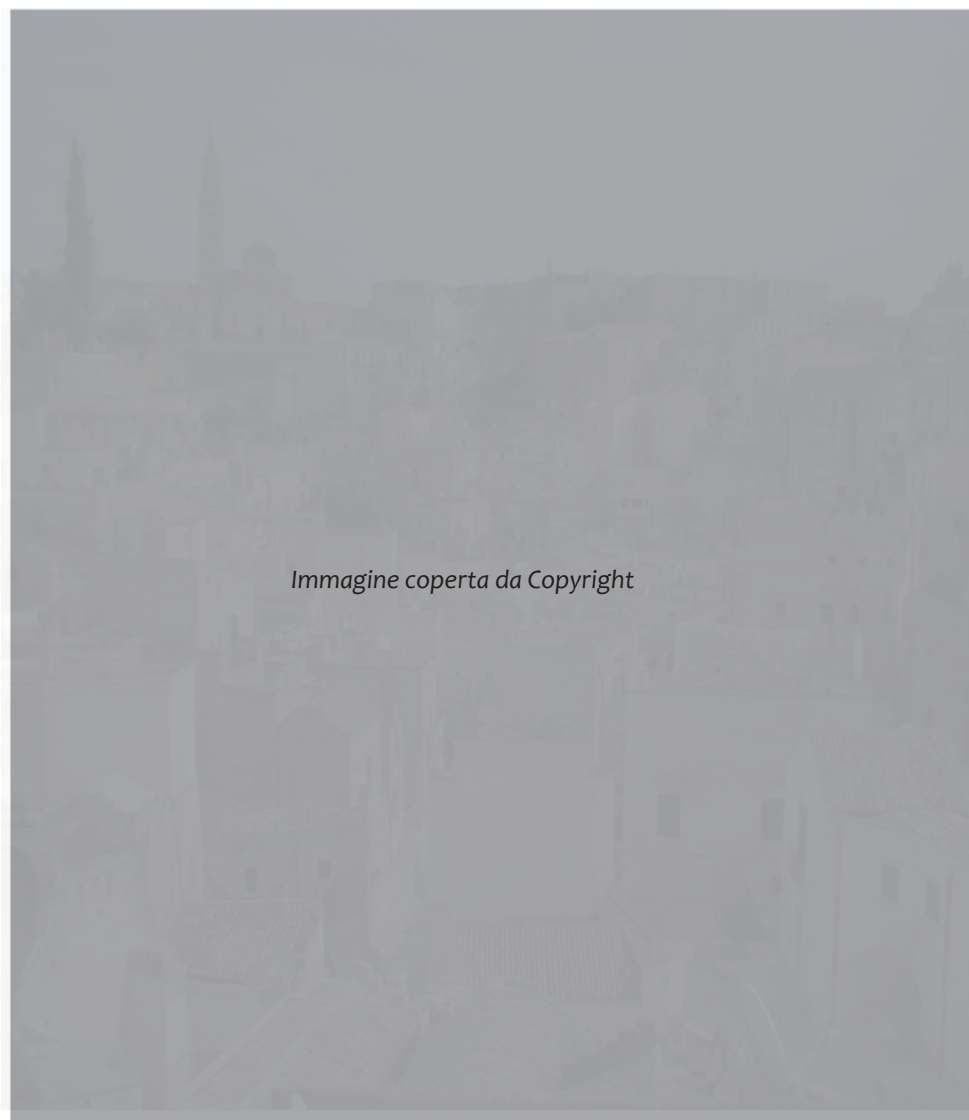
Alcuni Sassi presentano più di dieci cavità sovrapposte, collegate fra loro attraverso pozzi e dispositivi di aerazione in verticale.

Il paesaggio urbano è determinato dall'accostarsi di diversi lamioni, su più piani: può capitare che il tetto delle case poste a quota inferiore arrivi al ciglio del giardino di quelle sovrastanti.

Ogni piccola porzione di terreno pianeggiante disponibile è stata sfruttata per la coltivazione di un piccolo orto o di un frutteto.

Alcune abitazioni attigue chiudono completamente lo spazio prospiciente, dando origine ad una sorta di condominio aperto su una corte, altre si fondono insieme in un'unica grande facciata che, nonostante l'aspetto palaziale, nasconde cunicoli e grotte.

Fig. 15: Sassi di Matera, veduta dell'abitato.



## I Trulli della Puglia

Spesso in area mediterranea la costruzione dei sistemi di captazione e conservazione dell'acqua precede la localizzazione delle abitazioni tradizionali, influenzandone forma e articolazione.

La costruzione dei Trulli (fig. 16) inizia con lo scavo di una cisterna di raccolta, protetta da muri calcarei e da una copertura a cupola che raccoglierà l'acqua piovana utile alla sua stessa alimentazione.

L'intero manufatto è realizzato in pietra: i conci di medie dimensioni vengono utilizzati a secco, senza malta, per le spesse murature a doppio paramento; quelli più grandi e resistenti vengono utilizzati per gli spigoli e per gli architravi; le lastre di medio spessore vengono posate sul pavimento, quelle più sottili in copertura.

La massa muraria, che può raggiungere i 3 metri di spessore, funziona da volano termico accumulando con grande lentezza il calore estivo, per poi rilasciarlo all'interno del trullo durante l'inverno.

Allo stesso tempo le camere d'aria presenti tra un concio e l'altro funzionano da isolante. L'effetto combinato di questi due fenomeni consente

di misurare temperature interne estive notevolmente più basse rispetto a quelle esterne (superiori ai 30° C).

## I Dammusi e il giardino pantesco

Gli Arabi abitarono l'isola di Pantelleria per circa cinquecento anni, a partire dal VIII secolo a. C., cambiando profondamente il paesaggio agricolo: una buona parte del territorio dell'isola venne sottoposto a bonifica e successivamente terrazzato per consentire la coltivazione di viti e ulivo.

Le pietre risultanti dalla bonifica, di origine lavica, vennero utilizzate per la realizzazione di numerosi terrazzamenti e per le tipiche abitazioni pantescche: i dammusi (fig. 17).

Si ripropone lo schema della cellula base cui afferiscono diversi vani di servizio e, in questo caso come negli altri, l'inerzia della muratura, spessa mediamente 80 cm, mitiga il clima caldo e ventoso dell'isola.

La tecnica di realizzazione dei muri è detta "a cascata" e consiste nella realizzazione di due paramenti di conci appena sbazzati, con riempimento di pietrame minuto e informe, costipato. Ne risulta un

Fig. 16: Trullo ad Alberobello.



Fig. 17: Dammuso, Pantelleria.



muro considerevolmente compatto e refrattario a calore e rumore. Il dammuso si mostra come un'abitazione quasi completamente chiusa all'esterno, non presentando delle vere e proprie finestre bensì delle piccole feritoie, con dimensioni di 40x50 cm, posizionate a circa 180 cm da terra, così da permettere l'illuminazione diurna e facilitare il raffrescamento naturale degli ambienti interni durante la notte.

La ventilazione naturale è aiutata dalla canna fumaria del focolare che favorisce, con moti ascensionali, l'espulsione dell'aria calda per richiamare di fresca dalle piccole aperture. La copertura è a cupola, con uno spessore totale compreso tra i 35 e i 40 cm. E' realizzata in pietra, ricoperta da uno strato di terra rifinito con un impasto impermeabilizzante e isolante di pomice vulcanica, tufo rosso e latte di calce.

La conformazione a cupola contribuisce a mantenere fresca la parte bassa dell'abitazione, raccogliendo l'aria calda verso gli strati alti, in prossimità della copertura.

Alcune volte i dammusi sono esternamente protetti, a Sud, da un ampio portico con due archi a tutto sesto o da pergole di vite.

Una particolare importanza è rive-

stita dal giardino pantesco (fig. 18) una struttura indipendente di forma tronco-conica, realizzata in pietra a secco e priva di copertura. Accessibile mediante un piccolo ingresso, la struttura accoglie uno o due alberi di agrumi.

L'alto muro di recinzione (generalmente 4 m di altezza per 2,50 m di spessore) protegge dagli intensi e frequenti venti, fornendo allo stesso tempo il giusto grado di ombreggiamento (in sinergia con la chioma degli alberi) fondamentale per evitare l'evaporazione dell'acqua presente nel sottosuolo (data dalle piogge invernali e dalla condensa notturna).

### **Le case a volta della Costiera Amalfitana**

Già a partire dal XIII secolo la costa di Amalfi ha mostrato gli evidenti segni dell'intervento dell'uomo che, grazie ai tipici terrazzamenti, è riuscito a rendere coltivabili gli scoscesi pendii che, da sempre, la rendono singolare.

L'opera umana, organicamente integrata con la morfologia del sito<sup>24</sup>, è il risultato degli intensi scambi avvenuti con l'Oriente in epoca me-

24. G. FIENGO, G. ABBATE, *Case a volta della costa di Amalfi*, Centro di Cultura e Storia Amalfitana, Amalfi (SA) 2001, p. 7.



Fig. 18: Giardino pantesco.



25. Ivi, p. 8.

26. «Conglomerato impermeabile facilmente lavabile, costituito da inerti vulcanici, calce e pozzolana», tratto da P. FRAVOLINI, C. GIANNATTASIO, H. ROTOLO, *I lastrici di battuto di lapillo della Campania*, in *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali*, (a cura di) G. FIENGO, G. GUERRIERO, Arte Tipografica Editrice, Napoli 2008, tomo II, p. 785.

27. R. PANE, *Capri. Mura e volte*, Napoli, II ediz., 1965, p. 15.

28. M. DALLA COSTA, G. CARBONARA (a cura di), *Memoria e restauro dell'architettura: saggi in onore di Salvatore Boscarino*, Francoangeli, Milano 2005, p. 145.

29. R. PANE, op. cit., p. 36.

30. G. FIENGO, G. ABBATE, op. cit., p. 74.

31. Ibidem.

32. Le maestranze locali realizzavano i “battuti” a partire da una miscela di pomice locale, inerti e calce spenta da otto giorni, mescolata più volte e lasciata riposare per diverse ore. Una volta preparata la miscela, la si stendeva sull'estradosso delle volte, in uno strato di circa 15 centimetri e «non si cominciava a battere che 24 ore dopo, affinché abbia acquistata la consistenza e fermezza sufficiente a potervi camminare sopra» (da L. RAGUCCI, *Principi di pratica di Architettura*, seconda ediz., Napoli 1859, p. 299.). Secondo Pane, l'opera di battitura durava tre giorni e veniva effettuata con la “mazzoccola”, una spatola di legno utilizzata con la faccia piana durante la prima giornata, di taglio nella seconda e nuovamente di piatto nella terza. Durante tali operazioni la superficie veniva continuamente irrorata con latte di calce e infine coperta con paglia e erba affinché asciugasse lentamente, fino a ridurre il suo spessore ad un terzo di quello iniziale (R. PANE, op. cit., pp. 32 e 33).

dievale e del successivo isolamento che, a partire dal Quattrocento per arrivare fino all'Ottocento, ha reso la Costiera immune dai cambiamenti che hanno modificato il disegno insediativo del resto della Penisola. Paesaggio e costruito compongono, quindi, «un raro esempio di sistema urbanistico-edilizio che ha salvaguardato, insieme alla struttura territoriale ed agli immobili originari, forme peculiari, come le volte estradossate, tecniche costruttive, come l'uso del lapillo battuto, apprestamenti difensivi, opere idrauliche e rete viaria antichi»<sup>25</sup> tanto da far risultare l'edilizia residenziale moderna fortemente dipendente da quella tradizionale.

Una delle peculiarità del tessuto insediativo della zona, e conseguentemente del paesaggio, è senza dubbio il ripetersi di volte estradossate (a crociera, a vela, a schifo o a botte) (figg. 19 e 20), realizzate in pietrame, battuto di lapillo<sup>26</sup> e latte di calce, spesso affiancate fra loro e in successione, caratterizzanti la locale edilizia tradizionale. Roberto Pane, descrivendo tali abitazioni, scrive: «mentre i modi di struttura e di distribuzione planimetrica seguirono la tradizione latina e bizantina (...) le forme esterne e gli ornati musivi e ceramici accolsero con favore l'influenza della

decorazione araba»<sup>27</sup>. La tipologia più semplice ha infatti la forma di un parallelepipedo allungato, articolato generalmente su due livelli, con superfici esterne lisce ma copertura «intensamente movimentata, grazie al gioco delle crociere estradossate»<sup>28</sup>. Sul lato posteriore, la fabbrica si presenta, di norma, addossata al terrapieno, mentre il prospetto anteriore e quelli laterali si aprono all'esterno tramite porte e finestre, un tempo ornate da colonnine e decori. Nell'abitazione di dimensioni medio-grandi generalmente si riscontravano, fino a qualche decennio fa, quattro ambienti orientati, compatibilmente con l'orografia del terreno, nella direzione Est-Ovest, secondo la logica bioclimatica dello sfruttamento/difesa dalle caratteristiche climatiche del sito: la stanza posta sulla testata Est era la più ampia, dedicata allo svolgimento delle attività quotidiane della famiglia e quindi più bisognosa di illuminazione naturale durante tutto l'anno; gli ambienti più interni erano invece destinati a funzioni che non avevano particolari esigenze di illuminazione: la cisterna, adiacente al lavatoio (*balneum*) e la cantina (*buctaria*), dedicata alla preparazione e conservazione del vino; trovavano poi spazio, verso Ovest, la

cucina col forno e la stalla per gli animali impiegati nei campi.

Un tavolato in castagno, collocato all'altezza delle imposte delle volte, dava luogo ad un sottotetto destinato al deposito dei prodotti agricoli, risultando funzionale, allo stesso tempo, all'isolamento termico della copertura nonché alla riduzione del volume da riscaldare all'interno dell'abitazione (come accadeva nei dammusi panteschi).

Un altro espediente utilizzato dai muratori capresi per migliorare il proporzionamento degli ambienti è il ricorso al sesto ribassato, o "ingannato", che stabilisce l'altezza massima della volta in un terzo della larghezza dell'ambiente interessato. Ne risulta una volta abbassata di un sesto rispetto al semicerchio, utile a contenere volumi e altezze<sup>29</sup>. Si ottiene quindi un ambiente relativamente facile da riscaldare durante i mesi più freddi, con una superficie voltata che consente di reiraggiare maggiore calore rispetto ad una copertura piana o a falde, durante i mesi caldi (cfr. § 2.1). Pur rispecchiando, per diversi aspetti, la tradizione bioclimatica vernacolare, si nota tuttavia come le case a volta della Costiera si discostino dalla comune prassi mediterranea di realizzare murature estremamen-

te massive: «quel che impressiona (...) è il ridotto spessore delle loro strutture verticali e orizzontali; esiguità che contrasta vivamente sia con il magistero murario ad opera incerta, ovvero di scheggioni calcarei variamente assortiti e mai lavorati, sia con l'impiego, in entrambi i piani componenti abitualmente le residenze tradizionali, di volte spingenti (...). Le curve superficiali di calpestio e di copertura si segnalano ancora di più, denunciando sezioni costantemente sottili, che talvolta non superano i 10 o 12 centimetri»<sup>30</sup>.

Tali caratteristiche di resistenza sono da attribuire alla qualità della particolare malta impiegata<sup>31</sup>, ottenuta con un impasto di calce, inerti vulcanici e pomice rinvenibili sul posto che, con tutta probabilità, avevano anche il pregio di migliorare le prestazioni termiche dei vari elementi costruttivi, contrastando il passaggio del calore attraverso murature e coperture. Queste ultime, in particolare, venivano realizzate con la tradizionale tecnica del "battuto"<sup>32</sup> di lapillo che consentiva di ottenere strutture di spessore ridotto ma altissima densità, con caratteristiche di buona impermeabilità alle piogge e capaci di schermare i raggi solari incidenti sulle volte.

Fig. 19: Casa a volta estradossata, litografia.

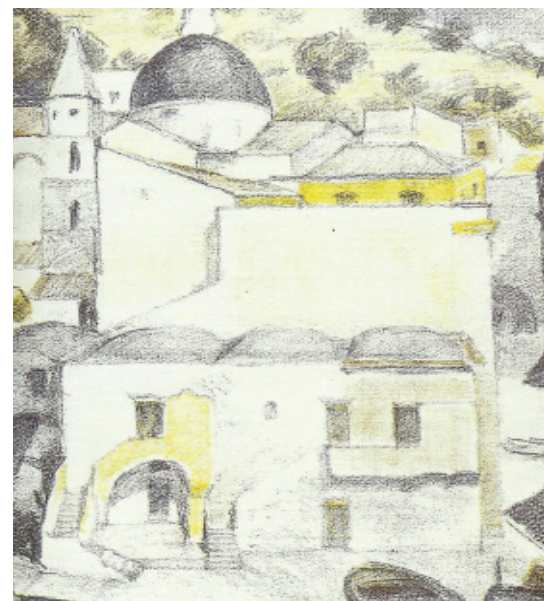


Fig. 20: Casa a volta estradossata, Amalfi.



## La casa a corte della Sardegna

Il clima della Sardegna è notevolmente influenzato dalla sua insularità: il mare esercita una forte azione mitigatrice, particolarmente sentita nelle zone costiere: la temperatura media minima può oscillare dai 2°C dell'area montana ai 12°C della pianura costiera<sup>33</sup>.

Tale differenza climatica si rispecchia nelle tipologie costruttive tradizionali presenti nell'Isola, caratterizzate da una variegata differenziazione in base alla zona geografica di diffusione. Osvaldo Baldacci, nei primi anni cinquanta del Novecento, scrive in relazione alle abitazioni rurali sarde: «dal piano alla montagna si sviluppa una gamma di soluzioni, che in ogni più piccola modifica manifestano la loro spiccata sensibilità alle condizioni d'ambiente variate dal fattore altimetrico; la casa rurale reagisce immediatamente, con la stessa prontezza con cui risponde ad uno stimolo un tessuto vivo e vitale»<sup>34</sup>.

Come il suo predecessore Maurice Le Lannou<sup>35</sup>, anche Baldacci cataloga il costruito isolano in base alle caratteristiche riscontrate nelle diverse aree geografiche storiche, passando però da tre<sup>36</sup> a quattordici categorie (fig. 21). Ma se tale classificazione, ritenuta

valida ancora oggi, ha rappresentato la base di partenza per ulteriori approfondimenti legati prevalentemente alle modificazioni subite nel tempo dal costruito (alla luce di nuove conoscenze di carattere archivistico e antropologico)<sup>37</sup>, ai fini del presente lavoro si ritiene interessante approfondire l'analisi agli aspetti bioclimatici già noti allo stesso Baldacci. L'utilizzo prevalente, per ragioni culturali, pratiche ed economiche, del materiale da costruzione reperito *in loco* identifica due grandi categorie: «la cultura della terra cruda», tipica della pianura del Campidano, e la «cultura della pietra», diffusa nel resto dell'Isola<sup>38</sup>. Le relative tipologie costruttive rappresentano caratteri estremamente diversi fra loro, mostrando condizionamenti dovuti sia alle caratteristiche meccaniche del materiale, sia a quelle morfologiche del sito. Le case della pianura si sviluppano generalmente su un solo piano sia per la possibilità di estendersi su di un territorio privo di criticità orografiche, sia per la limitata capacità di carico dei mattoni in *ladiri*<sup>39</sup>; al contrario quelle in pietra della collina e della montagna si sviluppano in altezza, sostenute dalle capacità meccaniche di trachite, scisto e granito, su tre o quattro piani, per ovviare

33. ARPAS, Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna, *Analisi agrometeorologica e climatologica della Sardegna. Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale nel periodo ottobre 2010 - settembre 2011*, Dipartimento Specialistico Regionale IdroMeteoClimatico Servizio IdrometeoClimatico.

34. O. BALDACCI, *La casa rurale in Sardegna*, Centro di Studi per la Geografia Etnologica, Firenze 1952, p. 184.

35. M. LE LANNOU, *Patres et paysans de la Sardaigne*, Arrault, Tours 1941.

36. Le Lannou individua «tre grandi tipi di casa rurale (...) la casa montana sviluppata in altezza, (...) la casa a cortile chiuso nella pianura e negli altopiani coltivati; una casa molto più semplice (...) a nord ovest di una linea immaginaria da Cabras al Golfo di Olbia».

37. A. SANNA, *Caratteri tipologici e costruttivi dell'architettura tradizionale della Sardegna. Materiali per un manuale del recupero*, Cucc, Cagliari 1992, p. 6.

38. Ivi, p. 12

39. Mattone crudo di argilla e paglia.



Fig. 21: Forme tipiche della casa sarda:

- 1 - "Cuili" della Nurra;
- 2 - tipo elementare di collina (Anglona);
- 3 - "stazzu" della Gallura;
- 4 - tipo "palattu" della Sardegna settentrionale;
- 5 - tipo elementare con vani giustapposti in profondità;
- 6 - tipo unitario di pianura (Bosa);
- 7 - tipo unitario di montagna (Barbagie);
- 8 - tipo unitario di montagna (Ogliastra);
- 9 - tipo ogliastrino collinare;
- 10 - tipo unitario del Sarcidano;
- 11 - tipo a corte antistante;
- 12 - tipo a corte antistante (var. Villaputzu);
- 13 - tipo a corte retrostante;
- 14 - "furriadrosgiu".

alle limitate possibilità spaziali offerte dal sito. Ma indipendentemente dal materiale utilizzato, le murature storiche sono caratterizzate da spessori importanti, con elevata inerzia termica: sono spesso realizzate “a sacco”, con paramenti esterni in pietra e intercapedine riempita con materiale di risulta, ciottoli e fango. Non è dato sapere se tale tecnica venisse utilizzata esclusivamente per ridurre i costi o se effettivamente se ne comprendessero gli effetti mitigatori sulla temperatura interna agli edifici.

La tipologia costruttiva tradizionale diffusa nel Campidano (fig. 22), all'interno dei centri urbani, si articola attorno ad un ampio cortile, fulcro dell'intero complesso edilizio, con sviluppo prevalentemente orizzontale.

Si distinguono generalmente tre entità edilizie aggregate: la “corte” (il cortile), la residenza vera e propria e gli annessi legati alle attività produttive di tipo agricolo (fienili, stalle e ricoveri di vario tipo), che rendono l'abitazione autonoma e autosufficiente. La casa a corte si protegge dalla forte radiazione solare estiva presentando un assetto introverso, aprendosi all'affaccio su strada esclusivamente tramite un portale carraio, unico varco nell'alto muro di

recinzione. Le bucatore sono infatti rigorosamente rivolte verso l'interno del recinto.

Addossato alla facciata dell'abitazione sta un loggiato (“sa lolla”), generalmente ricavato dal prolungamento dello spiovente anteriore del tetto, retto da robusti pilastri. Tale elemento non ha valenza esclusivamente estetica, bensì una fondamentale importanza all'interno del microclima del piccolo sistema abitato, poichè «è attraverso il loggiato che tutta la casa respira e vive»<sup>40</sup>. Grazie al suo orientamento infatti, esso «con la sua ventilazione rende la casa una piccola oasi di fresco sotto la canicola estiva, così come, durante alcune rigide giornate invernali, mitiga le basse temperature mediante l'esposizione invariabile meridiana. Il loggiato è l'ambiente di soggiorno in cui gli uomini trascorrono le ore di riposo, le donne cuciono, i bambini giuocano»<sup>41</sup>. La “lolla” rappresenta dunque il filtro fra il soleggiato e aperto ambiente esterno e il fresco e intimo ambiente interno; le aperture sono spesso limitate alla sola porta di accesso all'abitazione e, quando presenti, hanno dimensioni minime «per impedire all'aria torrida e polverosa di ristagnare nell'interno della casa»<sup>42</sup>. L'illuminazione interna

40. O. BALDACCI, op. cit., p. 74.

41. Ivi, p. 75.

Fig. 22: Casa a corte con loggiato a Villa Sant'Antonio, alta Marmilla.



è quindi artificiale, enfatizzata dalla riflessione data dal colore chiaro delle pareti e dalla conformazione dei soffitti: «Quando dal loggiato si entra in una stanza, si piomba nell'oscurità assoluta. L'occhio cerca invano la generosità di uno spiraglio di luce attraverso le pareti, prive di finestre. In compenso però si riceve una piacevole sensazione di fresco–il loggiato è ventilato ma non fresco–, che invita ad intrattenersi (...). L'occhio si abitua presto alla penombra e l'ospite può notare di essere stato ricevuto in una stanza (...) tutta bianca di calce e provvista di soffitto a botte–“bovida”– pure candido di calce»<sup>43</sup>. Le condizioni climatiche del sito condizionano anche la disposizione degli ambienti: nel Campidano centro-meridionale la cucina occupa l'ala laterale occidentale, disponendosi sopravvento, in modo da proteggere gli altri vani dal vento predominante per frequenza e intensità, il Maestrale. Grazie a tale articolazione dei vani si consegue inoltre il vantaggio di «mantenere sempre ventilate almeno due pareti dell'ambiente più caldo, ché in queste zone il caldo è più fastidioso del freddo»<sup>44</sup>. Spostandosi verso le zone centrali dell'Isola l'effetto mitigatore del mare svanisce e altitudine e latitudine portano esta-

ti meno afose e inverni più freddi e piovosi. Le corti si riducono gradualmente, a testimoniare la mutata abitudini di svolgere le attività quotidiane all'esterno, sia a causa del clima che a causa delle differenti attività lavorative prevalenti<sup>45</sup>. Contestualmente le dimensioni planimetriche diminuiscono, mentre il numero delle aperture aumenta per far entrare luce e calore. Compare qualche raro balcone. Il loggiato subisce un processo di involuzione nel numero e nell'ampiezza delle arcate che lo reggono. Se nell'area campidanese era destinato perlopiù alla permanenza dell'uomo, nelle zone più interne viene dedicato alla sosta e riparo degli animali. Gli abitanti della casa pernottano nelle stanze poste ai piani superiori, dove l'umidità del suolo è meno sentita. La copertura è schermata da un sottotetto, realizzato con un tavolato ligneo e spesso fornito di piccole aperture nella muratura, per la ventilazione delle provviste di grano ivi depositate. «La ricerca del sole è evidente nella interruzione del tetto in corrispondenza della facciata, per dar modo al piano superiore di avere finestre esposte a mezzogiorno, verso cui è sistematicamente orientata la casa»<sup>46</sup>.

42. Ibidem.

43. Ivi, p.184.

44. Ivi, p.75.

45. Se nel meridione dell'Isola l'attività prevalente è l'agricoltura, man mano che ci si allontana dalla pianura del Campidano inizia a diffondersi gradualmente la pastorizia.

46. O. BALDACCI, op. cit., p. 184.



## 2.2 Considerazioni sull'attuale applicabilità delle tecniche bioclimatiche

L'edificio storico rappresenta un fondamentale modello progettuale, testimone della possibilità di interagire con il contesto climatico nel quale si trova.

La progressiva evoluzione delle tecniche costruttive e impiantistiche ci ha però portato a superare e dimenticare quelle conoscenze empiriche che consentivano il raggiungimento di adeguati livelli di salubrità delle abitazioni, semplicemente grazie all'attenzione verso il clima, l'acqua, il sole e il vento.

Di certo, sarebbe semplicistico pensare di potersi affidare, oggi, esclusivamente a tali saperi per raggiungere gli *standard* di comfort richiesti dall'odierno stile di vita; tuttavia una riproposizione "attualizzata" delle tecniche bioclimatiche preindustriali potrebbe consentire un miglioramento delle prestazioni dell'edificio e una conseguente riduzione delle tecnologie impiantistiche utilizzate

per la climatizzazione.

Tale approccio potrebbe scongiurare il proliferare di interventi di riadeguamento energetico eccessivamente invasivi per l'edificato storico, sia in termini estetici che di installazione e integrazione dei diversi macchinari, nonché una progettazione più consapevole, efficiente e sostenibile per quanto riguarda le nuove realizzazioni.



### 3 COMFORT E TECNOLOGIE IMPIANTISTICHE

A partire dalla Rivoluzione Industriale, il legame esistente fra edificio e ambiente è diventato sempre più marginale e le tecnologie impiantistiche hanno dovuto supplire alle “carenze” progettuali di tipo energetico (basti pensare ai cambiamenti subiti dall’involucro in epoca moderna: avvento del cemento armato e abbandono delle murature pesanti, utilizzo di ampie superfici vetrate, etc.).

L’evoluzione tecnologica, infatti, garantendo un elevato grado di benessere termoigrotermico indipendente dalle condizioni climatiche esterne, ha cambiato radicalmente le aspettative di comfort abitativo degli utenti, in stretta dipendenza con il loro livello sociale, culturale ed economico.

La condizione psico-fisica nella quale un individuo esprime soddisfazione nei confronti dell’ambiente (moderato) che lo circonda definisce il raggiungimento dello stato di comfort termico<sup>1</sup>. Condizione necessaria, ma non sufficiente, affinché ciò si verifichi è che la produzione di energia interna all’organismo (dovuta ai pro-

cessi metabolici) e le perdite di calore siano in equilibrio fra loro, consentendo alla temperatura corporea di assestarsi intorno ai 37°C.

Tuttavia, esistono molteplici fattori in grado di favorire o ostacolare il raggiungimento del benessere termico, quali le caratteristiche percettive, fisiche, biologiche ed emotive del singolo individuo (variabili soggettive), per la valutazione delle quali si ricorre a metodi statistici.

Sono invece misurabili sperimentalmente i parametri ambientali oggettivi relativi ad un ambiente confinato, grazie ai quali è possibile determinare una previsione statistica della sensazione di comfort degli occupanti. Questi sono:

- la temperatura dell’aria (°C) ad un’altezza di 0,6 metri dal pavimento<sup>2</sup>;
- la temperatura media radiante (°C) ottenuta considerando la temperatura media delle superfici che racchiudono l’ambiente considerato e la posizione dell’occupante (fattore di vista)<sup>3</sup>;
- la velocità dell’aria<sup>4</sup> (m/s);

1. Norma ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers.

Gli ambienti nei quali è possibile raggiungere una condizione di comfort termoigrometrico vengono definiti “moderati”, in contrapposizione agli ambienti detti “severi”, caratterizzati da condizioni ambientali tali da non rendere possibile il raggiungimento del benessere termico. È il caso di particolari ambienti lavorativi in cui l’individuo viene esposto a condizioni di microclimatiche estreme (industria metallurgica, industria del vetro, etc.).

2. In considerazione del fatto che un individuo trascorre la maggior parte della sua permanenza all’interno di un ambiente confinato stando seduto.

3. La temperatura media radiante è definita come la temperatura di un ambiente fittizio, caratterizzato da pareti aventi tutte la stessa temperatura superficiale, nel quale un individuo scambierebbe lo stesso flusso radiativo che scambia nell’ambiente reale (nel quale ogni parete ha una propria temperatura):

$$T_{mr}^4 = \sum_i F_{p-i} T_i^4$$

con  $T_i$  = temperatura della generica superficie isoterma di solido (parete, suppellettile, altra persona, ecc.) che vede il soggetto, misurata in °C;

$F_{p-i}$  = fattore di vista tra il soggetto e la generica superficie isoterma di solido.

4. L’aria lambisce il corpo umano sottraendogli calore e generando, quindi, una sensazione gradevole durante i mesi caldi ma sgradita durante l’inverno.

5. L’effetto dell’umidità relativa cresce in funzione dell’attività svolta dall’individuo, aumentando la sensazione di calore a parità di temperatura.

6. UNI EN ISO 7730 "Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico", settembre 1997.

7. M. GROSSO, *Il raffrescamento passivo degli edifici in clima temperato*, Maggioli editore, Santarcangelo di Romagna 2011, p. 114.

8. L'equazione del bilancio termico formulata da Fanger è:  $f(M, L, I_{cl}, \theta_a, v_a, U_r, \theta_{mr}, \theta_s, E_{sw}) = 0$ , con  $M$  = livello di attività (met),  $L$  = calore sensibile ceduto tramite respirazione (W),  $I_{cl}$  = resistenza termica dell'abbigliamento (clo),  $\theta_a$  = temperatura dell'aria (°C),  $v_a$  = velocità dell'aria (m/s),  $U_r$  = umidità relativa (%),  $\theta_{mr}$  = temperatura media radiante (°C),  $\theta_s$  = temperatura media della pelle (°C) e  $E_{sw}$  = perdita di calore dalla pelle per traspirazione (W/m<sup>2</sup>).

9. L'Appendice A della ISO-7730 fornisce una serie di esempi di requisiti di benessere termico in relazione a diverse categorie di ambienti; da tali tabelle emerge come i soggetti che maggiormente avvertono una sensazione di disagio locale sono quelli con attività leggera e sedentaria, mentre tale percezione diminuisce notevolmente al crescere d'intensità dell'attività.

10. Il rischio da corrente d'aria, o *Draft Risk*, può essere calcolato tramite la relazione sperimentale

$$DR = (34 - t_a)(v_a - 0,05)^{0,62}(0,37v_a T_u + 3,14)$$

dove  $T_u$  rappresenta, in percentuale, il rapporto fra la deviazione standard e il valore medio della velocità dell'aria.

11. Nel caso di elevato gradiente termico all'interno di un ambiente confinato, è da sottolineare come una temperatura maggiore al livello della testa rispetto a quella riscontrabile all'altezza delle caviglie crea disagio nell'individuo, mentre il caso contrario non comporta una situazione di discomfort.

12. F. R. D'AMBROSIO ALFANO, *Il progetto e la misura del comfort termico*, atti del convegno *Oltre la certificazione energetica: progettazione e gestione del sistema edificio-impianto per ottimizzare il comfort e i consumi energetici reali*, AICARR, Bologna 2012.

13. M. GROSSO, op. cit., p. 120.

- l'umidità relativa<sup>5</sup>;

- l'abbigliamento (clo: 1 clo = 0.155 m<sup>2</sup>K/W);

- l'attività fisica (met: 1 met = 58.1W/m<sup>2</sup>).

L'effetto congiunto di tali variabili influenza il sistema di controllo termico degli individui che, tramite un'opportuna regolazione del calore ceduto dal corpo attraverso la pelle e la respirazione, tende a mantenere la condizione di equilibrio termico, descritta dall'equazione:

$$S = M - W - E_{res} - C_{res} - C - R - E - K$$

dove:

-  $S$  rappresenta l'accumulo di calore, o variazione di energia interna del corpo umano, nell'unità di tempo (W);

-  $M$  è il metabolismo energetico (W);

-  $W$  è la potenza meccanica che il corpo umano cede all'ambiente circostante (W);

-  $E_{res}$  rappresenta la potenza termica ceduta durante la respirazione sottoforma di calore latente (W);

-  $C_{res}$  è la potenza termica ceduta durante la respirazione sottoforma di calore sensibile (W);

-  $C$  è la potenza termica scambiata per convezione dalla superficie esterna del corpo (W);

-  $R$  rappresenta la potenza termica scambiata dalla superficie del corpo per irraggiamento (W);

-  $E$  è la potenza termica dispersa per evaporazione della pelle (W);

-  $K$  è la potenza termica dispersa per conduzione (W).

La ricerca di un metodo di valutazione oggettiva del livello di comfort ha spinto diversi studiosi ad elaborare specifici indici utili a fornire un giudizio sulle condizioni di benessere interne ad un ambiente confinato.

La norma ISO-7730<sup>6</sup>, standardizzando tali valutazioni, introduce il concetto di Voto Medio Previsto (PMV), sulla scorta di quanto sperimentato da Ole Fanger negli anni Settanta. Egli, sottoponendo una serie di soggetti a condizioni climatiche controllate e stazionarie all'interno di un ambiente confinato, ha stilato una "scala psico-fisica"<sup>7</sup> (tab. 1) che attribuisce un indice alla sensazione di comfort percepita in quella determinata condizione termica.

La ISO-7730 indica la stessa scala come valida esclusivamente all'interno del range di voti che va da -3 a +3 e nel caso in cui i sei parametri<sup>8</sup> valutati da Fanger rientrino negli intervalli riportati nella tab. 2.

L'indice PMV può essere usato per verificare la rispondenza di un certo

ambiente termico ai criteri di benessere previsti dalla normativa, così come riportati nell'Appendice A della ISO-7730<sup>9</sup>, e per stabilire i requisiti corrispondenti ai diversi livelli di accettabilità.

Un altro indice introdotto dallo studioso è la Percentuale Prevista di Insoddisfatti (PPD), legato al PMV tramite la relazione:

$$PPD = 100 - 95 \exp [- 0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2]$$

utile a prevedere in maniera statistica quante persone, all'interno di un gruppo di individui sottoposti alle stesse condizioni ambientali, non ritengono di avvertire una situazione di benessere termico.

L'insoddisfazione termica percepita da un individuo può però presentarsi anche nel caso in cui i parametri precedentemente citati, considerati nel loro complesso, concorrano a fornire un risultato complessivo soddisfacente: essa può infatti essere causata da un disagio locale, dovuto ad un indesiderato riscaldamento o raffreddamento di una particolare parte del corpo che, pur non incidendo nella valutazione globale, crea nel soggetto abitante una situazione di discomfort localizzato.

Tale sensazione è imputabile a determinati fattori quali:

- l'eventuale presenza di correnti d'aria dipendenti dal valore medio della velocità della stessa ( $v_a$ ), dalla sua temperatura ( $t_a$ ) e dall'intensità della turbolenza ( $T_u$ )<sup>10</sup>;
- la presenza di un'elevata differenza verticale (fra l'altezza delle caviglie e quella del capo) nella temperatura dell'aria, caratteristica degli ambienti con grandi altezze e gradiente verticale di temperatura pronunciato<sup>11</sup>;
- un pavimento troppo caldo o troppo freddo che, da un lato, incide sulla temperatura media radiante e, dall'altro, può provocare discomfort localizzato alle estremità inferiori del corpo;
- la presenza di un'eccessiva asimmetria della temperatura media radiante, definita come la «differenza tra le temperature piane radianti misurate su due facce opposte di un elemento piano»<sup>12</sup>.

Tale situazione può essere dovuta a un soffitto e/o una parete caldi o freddi.

Il modello di valutazione del comfort portato avanti da Fanger fu messo in discussione da diversi studiosi che, oltre a confutarne la reale applicabilità in climi caldi<sup>13</sup>, misero in evidenza la stretta interconnessione esistente

Tab. 1: Scala di Fanger per la valutazione del comfort.

Indice	Sensazione
3	molto caldo
2	caldo
1	leggermente caldo
0	benessere termico
-1	leggermente freddo
-2	freddo
-3	molto freddo

Tab. 2: Intervalli di validità della scala di Fanger, EN ISO-7730.

Variabili	Valori
M	0,8 - 4 met
$I_{cl}$	0 - 2 clo
$\theta_a$	10 - 30 C°
$P_a$	0 - 2700 Pa
$\theta_{mr}$	10 - 40 C°
$V_a$	0 - 1 m/s

fra la percezione della sensazione di benessere termico e una molteplicità di aspetti socio-culturali e psicologici caratteristici dell'individuo. Secondo tale prospettiva, per valutare il comfort si ha necessità di prendere in considerazione anche il sesso, l'età e lo stato di salute dei soggetti interessati.

Nel 1978, M. A. Humphreys, basandosi su una serie di dati raccolti in diverse parti del mondo, ha dimostrato come la temperatura di comfort sia funzione diretta della temperatura media esterna<sup>14</sup> e dipenda quindi dalla zona geografica di riferimento, secondo l'equazione:

$$T_n = 11.9 + 0,534 T_{o,av}^{15}$$

(con  $T_{o,av}$  uguale alla temperatura media esterna del mese, per intervalli di  $10 \leq \theta_m \leq 34$  °C).

Dalle sue valutazioni è inoltre emerso come un individuo libero di agire autonomamente sui sistemi di controllo climatico dell'ambiente in cui si trova, raggiungerà più facilmente e velocemente una sensazione di benessere<sup>16</sup>.

Diversi anni più tardi, nel 1997, gli studiosi G. S. Brager e R. J. De Dear portano avanti uno studio basato sul monitoraggio di 160 edifici, situati in quattro diversi continenti, in zone cli-

matiche che vanno dal clima mediterraneo a quello continentale.

Ne derivano 21000 dati grezzi, relativi sia ad edifici climatizzati meccanicamente sia ad edifici con ventilazione naturale, per la stagione estiva e quella invernale, ottenuti tramite accurate indagini oggettive fatte sul campo, corredate dalla somministrazione di questionari agli utenti<sup>17</sup>.

Il risultato di tale studio è stata la correzione dell'equazione della temperatura di comfort espressa da Humphreys, diventata:

$$T_n = 17.8 + 0,31 T_{o,av}^{18}$$

nonché la scoperta che gli utenti di edifici ventilati naturalmente accettano un intervallo di temperature significativamente più ampio rispetto agli utenti di edifici in cui il microclima interno è totalmente influenzato dal condizionamento artificiale.

14. S. V. SZOKOLAY, *Introduzione alla progettazione sostenibile*, Hoepli, Milano 2004, p. 24.

15. M. GROSSO, op. cit., p. 120.

16. M. GROSSO, op. cit., p. 121.

17. R. DE DEAR, G. BRAGER, D. COOPER, *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*, ASHRAE RP- 884, marzo 1997, p. 17.

18. S. V. SZOKOLAY, op. cit., p. 24.

### 3.1 Il comportamento termico degli edifici storici

Conoscere le prestazioni e il comportamento energetico di una fabbrica diventa fondamentale nella realizzazione degli interventi di riqualificazione, in modo che essi siano efficacemente dimensionati e abbiano totale compatibilità fisico-chimica con il supporto materico.

Le prestazioni energetiche di un edificio sono determinate da diversi fattori quali il contesto climatico, i materiali e le tecniche costruttive utilizzate per realizzarlo che, in sinergia, ne influenzano il bilancio termico globale, ovvero la differenza fra apporti e dispersioni di energia.

La norma UNI EN ISO 13790:2008, nel calcolo del bilancio di energia termica per raffrescamento e riscaldamento, prende in considerazione diversi fattori:

«-scambio termico per trasmissione tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente esterno, retto dalla differenza tra la temperatura della zona climatizzata e la temperatura esterna;  
-scambio termico per ventilazione (mediante ventilazione naturale op-

pure mediante un impianto di ventilazione meccanica), retto dalla differenza tra la temperatura della zona climatizzata e la temperatura dell'aria immessa;

-scambio termico per trasmissione e ventilazione tra zone adiacenti, retto dalla differenza tra la temperatura della zona climatizzata e la temperatura interna all'ambiente adiacente;

-apporti termici interni (inclusi gli apporti negativi dai pozzi termici), per esempio dalle persone, dalle apparecchiature, dall'illuminazione e dal calore dissipato o assorbito dagli impianti di riscaldamento, raffrescamento, acqua calda o ventilazione;

-apporti termici solari (che possono essere diretti, per esempio, attraverso le finestre, o indiretti, per esempio, tramite l'assorbimento negli elementi edilizi opachi);

-accumulo di calore nella massa dell'edificio, o rilascio del calore accumulato dalla massa;

-fabbisogno di energia termica per il riscaldamento: se la zona è riscaldata, un impianto di riscaldamento

fornisce calore al fine di elevare la temperatura interna al livello minimo richiesto (il valore di regolazione per il riscaldamento);

-fabbisogno di energia termica per il raffrescamento: se la zona è raffrescata, un impianto di raffrescamento sottrae calore al fine di abbassare la temperatura interna al livello massimo richiesto (il valore di regolazione per il raffrescamento)»<sup>19</sup>.

Tali parametri non forniscono tuttavia una descrizione realistica del comportamento termo-fisico di una fabbrica storica sia perché presuppongono la presenza di impianti di riscaldamento e raffrescamento spesso non presenti in un edificio datato, sia perché non tengono nella giusta considerazione i fattori igrometrici che, dovuti alle peculiarità del costruito storico, incidono in maniera sostanziale sui consumi energetici e sul comfort degli abitanti/utenti.

L'assenza di un sistema impiantistico capace di compensare le perdite e gli apporti di calore dall'esterno, fa gravare esclusivamente sull'involucro il compito di mantenere delle condizioni termiche interne accettabili. Questo elemento, come visto nel paragrafo 1.2, è stato storicamente investito di numerose funzioni quali quella di proteggere gli abitanti

dell'edificio dalle temperature eccessivamente basse d'inverno o troppo elevate d'estate o quella di consentire la ventilazione naturale, necessaria alla salubrità degli ambienti interni.

In funzione della geometria dell'edificio, e quindi del rapporto fra la superficie esterna e il volume racchiuso (rapporto S/V), l'involucro disperde calore per trasmissione e ventilazione. In particolare, la trasmissione dipende, oltre che dalla dimensione della superficie di scambio, anche dalle proprietà termiche dei materiali costituenti l'involucro e dalla differenza di temperatura fra l'ambiente interno e quello esterno.

Nella maggior parte dei casi risulta difficoltoso stabilire con quale quota le dispersioni incidano sul bilancio termico di un edificio storico, non già per quanto riguarda il calcolo della superficie disperdente<sup>20</sup> o il reperimento dei dati relativi alle temperature, quanto per la definizione delle caratteristiche termiche dei materiali costituenti i diversi elementi (mura, solai, coperture, infissi, etc.).

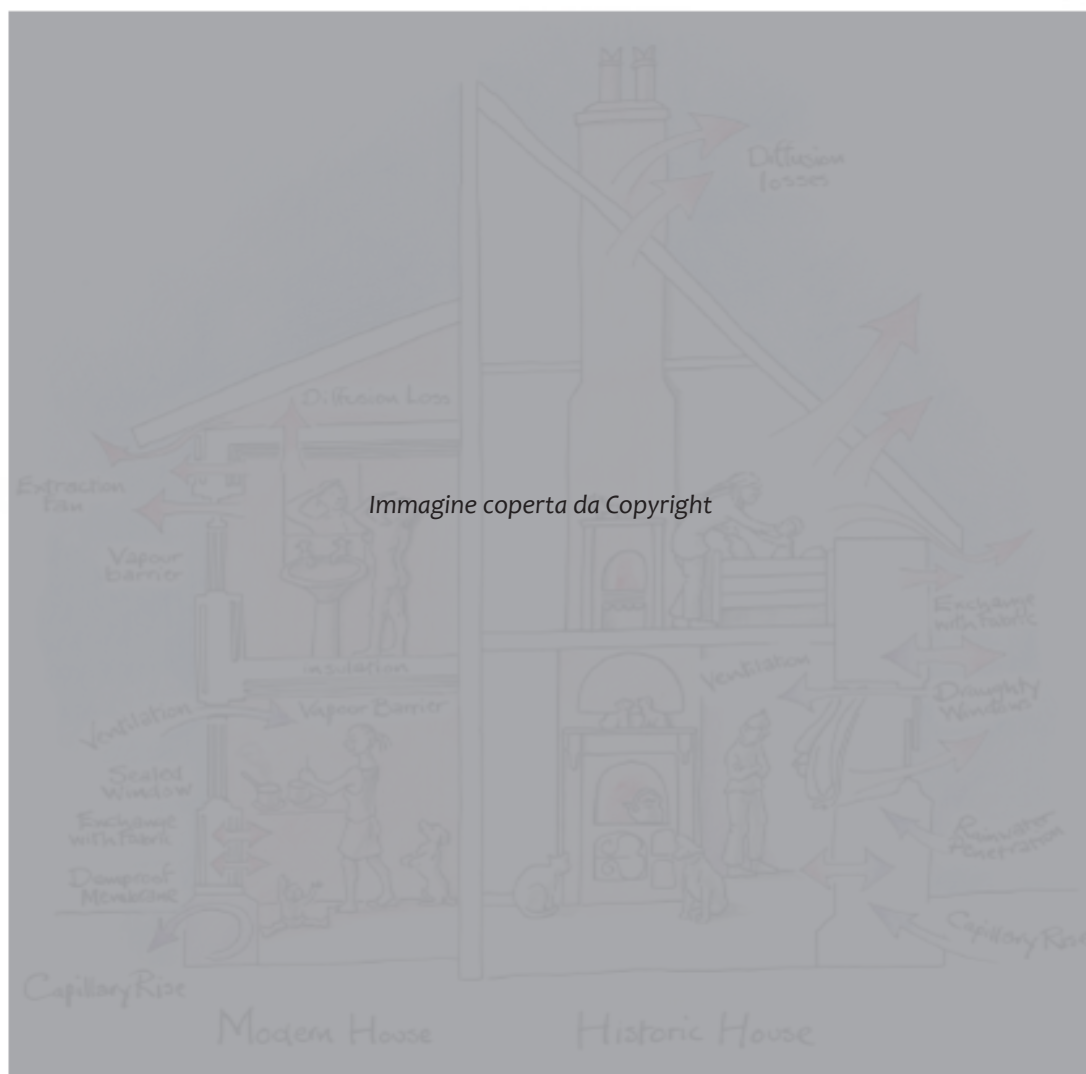
Il parametro principale per quantificare la trasmissione di calore attraverso un componente edilizio, in regime stazionario, è la trasmittanza (U), definita come la quantità di

19. UNI EN ISO 13790:2008, 5.1.2. "Descrizione dei procedimenti di calcolo", p. 14.

20. Il patrimonio edilizio storico è caratterizzato, nella generalità dei casi, da volumi semplici e poco articolati, con un rapporto S/V facilmente ricavabile da un veloce rilievo.



Fig. 23: Confronto grafico fra il funzionamento termico di un edificio contemporaneo e il funzionamento termico di un edificio storico.



energia termica che attraversa, per un'unità di superficie e di tempo, una parete che separa due ambiente a diversa temperatura.

I materiali da costruzione utilizzati nelle murature tradizionali (prevalentemente pietra, laterizio, ciottoli, etc.) presentano alti valori di trasmittanza che, rendendo l'involucro "permeabile" al passaggio di calore dall'ambiente a temperatura maggiore verso quello a temperatura minore, favorisco il fenomeno delle cosiddette "pareti fredde", causa di discomfort dovuto all'abbassamento della temperatura globale dell'aria e, in maniera più sensibile, all'asimmetria radiante. Quest'ultimo fenomeno risulta particolarmente accentuato nel caso di sorgenti puntiformi di riscaldamento ad alta temperatura, quali possono essere i sistemi a camino o stufa caratteristici dell'edilizia storica, in presenza dei quali è frequente avvertire, allo stesso momento, una sensazione di caldo nella parte del corpo posta in posizione frontale alla sorgente e di freddo nella zona del corpo esposta verso la parete fredda. Parallelamente, la presenza di pavimenti non coibentati può favorire il fenomeno della differenza verticale di temperatura che, per via della stratificazione dell'aria

all'interno di un ambiente confinato, fa avvertire una sensazione di freddo alle estremità inferiori e una temperatura maggiore all'altezza della testa.

Generalmente, il valore della trasmittanza risulta particolarmente elevato nel caso di elementi realizzati con un paramento continuo di blocchi lapidei. Le murature tradizionali, tuttavia, difficilmente presentano un unico paramento: la presenza di intercapedini riempite con materiale di risulta e fango (fig. 24), spesso realizzate per economizzare sul materiale da costruzione, hanno l'effetto di ostacolare, seppure parzialmente, il flusso termico attraverso la muratura, migliorando, quindi, le prestazioni energetiche finali degli elementi.

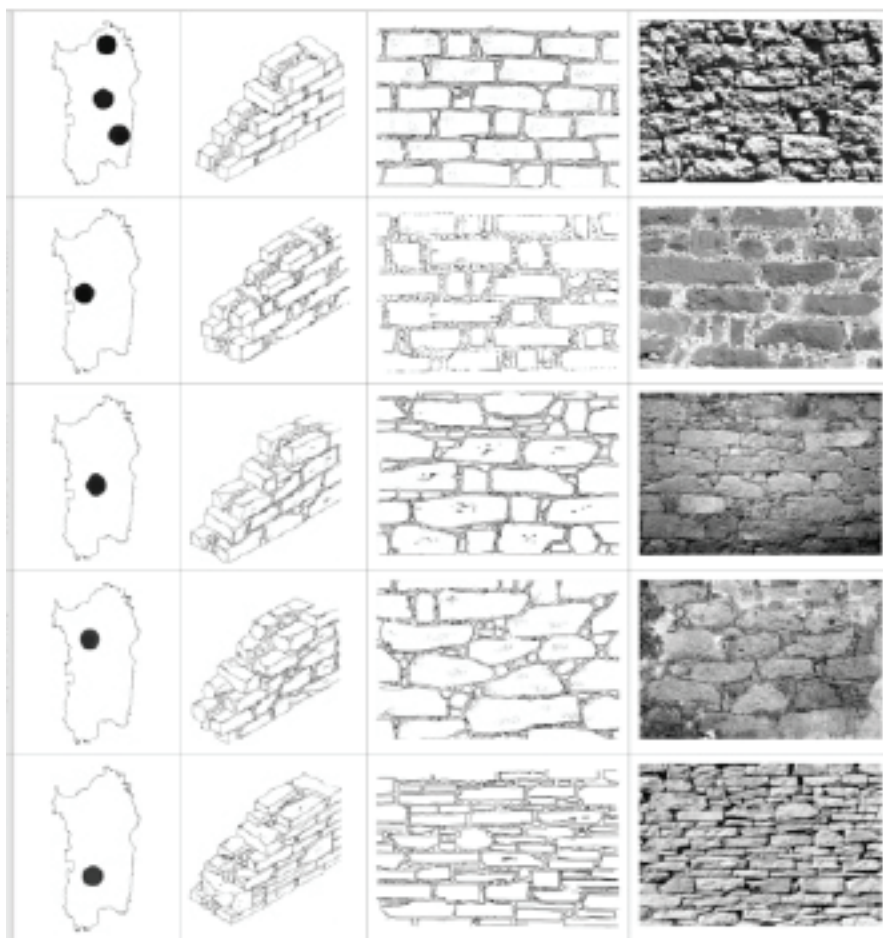
L'efficienza termica dell'involucro di un edificio storico è però ulteriormente indebolita dalla presenza di elementi con caratteristiche termiche differenti rispetto a quelle degli elementi attigui (ponti termici)<sup>21</sup>.

Generalmente tali zone, particolarmente frequenti nell'edilizia storica (murature con presenza di elementi materici vari, rinfianchi di laterizio o materiale litico più resistente, tamponamenti, etc.), presentano trasmittanze più elevate, risultando maggiormente disperdenti rispetto

21. I ponti termici si distinguono in:

- ponti termici di forma, dovuti a cambiamenti nella geometria della struttura (spigoli, sbalzi, nicchie, etc.); - ponti termici di materia, dovuti a discontinuità materiche (travi, soglie, etc.).

Fig. 24: Quadro sinottico delle murature lapidee ricorrenti sul territorio regionale sardo.



alla superficie adiacente, e causando, quindi, fenomeni di discomfort e degrado localizzati.

Ma le criticità termiche dell'involucro non sono dovute esclusivamente alle caratteristiche proprie delle murature: un ulteriore nodo particolarmente problematico è rappresentato dagli infissi storici.

Questi, sovente realizzati con telaio in legno e vetro singolo, oltre a presentare alti valori di trasmittanza responsabili di fenomeni di discomfort assimilabili a quelli dovuti alle pareti fredde, spesso presentano fessure che, consentendo il passaggio dell'aria, contribuiscono sia a favorire il fenomeno dell'asimmetria radiante sia, in misura minore, a generare fastidiose correnti d'aria. D'altro canto, favorire un ingresso controllato di aria esterna (nel caso questa non sia inquinata) diventa indispensabile al mantenimento di un adeguato grado di salubrità degli ambienti interni, scongiurando la formazione di condensa e muffe.

Queste, spesso presenti nei vecchi edifici, sono infatti sintomo di parametri igrometrici non ottimali, dannosi per la salute degli abitanti e per la conservazione della fabbrica stessa.

Dal punto di vista energetico, il per-

manere dell'acqua all'interno delle murature, o sulla loro superficie, aumenta la conducibilità dei diversi materiali interessati diminuendone, di conseguenza, le prestazioni termiche. Tali fenomeni sono generalmente dovuti alla presenza di infiltrazioni, alla risalita capillare o a problemi di condensazione superficiale (figg. 25 e 26).

Mentre la soluzione al problema delle infiltrazioni è immediata, di qualunque natura esse siano (coperture dissestate, impianti idrici obsoleti, infissi non più efficienti, etc.), l'eliminazione dell'umidità di risalita richiede degli interventi ponderati caso per caso.

Generalmente, qualora non possa esserne eliminata la causa (impossibilità di realizzare un vespaio aerato per via della presenza di pavimentazioni di pregio, presenza di una falda in prossimità delle fondazioni, etc.), essa costituisce una severa controindicazione all'applicazione di pannelli isolanti, siano essi interni o esterni: isolando la superficie della muratura, infatti, e bloccandone completamente l'evaporazione verso l'esterno, il pannello favorirebbe l'altezza di risalita dell'acqua già presente nella muratura; in questi casi la soluzione migliore risulta essere la realizzazione

di una contro-parete interna, capace di consentire la ventilazione dei paramenti e garantire la loro permeabilità al vapore.

La formazione di condensa sulle superfici è però la tipologia di umidità di più difficile rimedio: una volta eliminati i ponti termici sulla cui estensione è più probabile riscontrare fenomeni di condensazione, diventa indispensabile agire sul tasso di umidità presente all'interno degli ambienti, ricorrendo ad un frequente ricambio d'aria, all'utilizzo di specifici apparecchi deumidificatori e all'installazione di un idoneo impianto di riscaldamento.

Quest'ultimo dovrà essere progettato in modo da non essere motivo di repentini cambi di temperatura o improvvisi spostamenti di masse d'aria, possibili cause di degrado di superfici decorate o arredi lignei.

Fig. 25: Colonizzazione biologica su muratura interessata da umidità da risalita capillare.



Fig. 26: Distacco dell'intonaco su muratura interessata da umidità da risalita capillare.



### 3.2 Storia dell'uso dell'energia e degli impianti storici

Fino al Medioevo inoltrato la casa era vista esclusivamente come "ricovero"<sup>22</sup>, il cui unico scopo era quello di proteggere i suoi abitanti dalle intemperie e dal freddo notturno.

La vita si svolgeva prevalentemente all'aperto, dove l'aria era salubre e scaldata dalla fonte d'energia che risultava essere la più efficiente: il sole. Tuttavia l'energia solare è sempre stata necessaria ma non sufficiente per la vita dell'uomo: fin dalla Preistoria diventò fondamentale trovare un modo per far luce durante la notte, cucinare il cibo, tenere lontane le fiere.

La scoperta del fuoco rese possibile tutto ciò grazie alla combustione di scarti animali, oli, resine, pece o sterpaglie all'interno di un focolare, posto generalmente al centro della caverna.

Col tempo, a questo si affiancarono le fiaccole, che consentivano di spostare a piacimento il corpo illuminante. Inizialmente ottenute dall'intreccio di canapa o giunco impregnati di materiale combustibile, si servirono

in seguito di veri e propri contenitori nei quali il lucignolo, di cotone o stoppa, veniva impregnato da una sostanza infiammabile, sviluppando fiamme particolarmente luminose.

Tali semplici dispositivi furono caratterizzati da una lunga persistenza nel corso dei secoli, che tuttavia portò loro minime innovazioni tecnologiche, come l'articolazione di più luci in lampadari sospesi, a partire dal Medioevo, o l'introduzione dell'alimentazione a petrolio, a metà Ottocento<sup>23</sup>.

Ma «fu l'uso del gas a determinare, nel corso dell'ultimo ventennio dell'Ottocento, la vera rivoluzione impiantistica, attraverso la quale si verificò il graduale passaggio dall'illuminazione tramite il singolo apparecchio al vero e proprio "impianto", inteso come sistema integrato d'alimentazione e dislocazione dei corpi illuminanti»<sup>24</sup>.

Sebbene la produzione di gas derivanti dalla distillazione di legna e carbone risalgia al XVI secolo, la sperimentazione continuò fino a rendere

22. Tuttora una delle definizioni della parola *abitazione* è "Luogo che l'uomo costruisce, oppure sceglie o adatta fra quelli che a lui si offrono nell'ambiente naturale, come ricovero, stabile o temporaneo, per sé e per il suo gruppo familiare". Da Treccani.it, Vocabolario on line, voce: "*abitazione*".

23. D. FIORANI, *Quadro storico degli impianti antichi*, in *Restauro architettonico e impianti*, vol. 1, (diretto da G. CARBONARA), UTET, Torino 2001, p. 247 e ssg.

24. Ivi, p. 252.

25. Ibidem.

26. Nel XVII secolo l'illuminazione pubblica era, per questioni di sicurezza, obbligatoria nelle città più popolose e affidata a lampade ad olio sospese nelle strade più trafficate. Le prime città Europee ad essere illuminate furono Vienna, Amsterdam, Parigi, Copenhagen, Berlino e Londra. (Ivi, p. 258).

27. Ivi, p. 254.

il processo di produzione di tale combustibile più efficiente e sicura solo nei primi anni dell'Ottocento. Risale infatti al 1801 la realizzazione della prima "termolampada", utile sia a illuminare che a riscaldare, ad opera di Phillip Lebon<sup>25</sup>.

Appena pochi decenni più tardi le strade principali di molte città europee godevano di un impianto di illuminazione<sup>26</sup> che prevedeva lo stoccaggio del gas purificato all'interno di grossi serbatoi, detti gassometri, e la sua distribuzione attraverso un reticolo di condotti sotterranei ai diversi lampioni in ghisa, ormai prodotti in serie.

L'irregolarità nell'intensità della luce e l'eccessivo surriscaldamento dei corpi, portarono ad un ulteriore miglioramento della tecnologia utilizzata, grazie all'introduzione della reticella incandescente, inventata nel 1885 da C. Auer Von Welsbach<sup>27</sup>.

Nel corso del XIX secolo l'utilizzo del gas si limitò, tuttavia, ai grossi impianti pubblici, mentre per l'illuminazione domestica si continuò a preferire l'impiego dei combustibili a base oleosa.

Carla Benocci racconta come nel centro di Roma, nei primi anni del Novecento, coesistessero impianti alimentati a petrolio, olio, gas ed energia

Fig. 27: Isolatori in porcellana sospesi a mensole infisse in facciata.



28. C. BENOCCI, *L'illuminazione a Roma nell'800*, supplemento a *Storia dell'urbanistica*, Edizioni Kappa, Roma 7(1986).

29. Allontanando lentamente i due elettrodi di un circuito chiuso ottenuto con una pila di Volta, si notò che una luce bianca e intensa si generava fra essi, mantenendosi accesa a intensità costante fino a che non veniva superata una determinata distanza fra le due estremità. Il nome dato a tale fenomeno (arco voltaico) deriva dal ponte luminoso arcuato verso l'alto che si ottiene quando gli elettrodi vengono posizionati in orizzontale, per via dell'aria calda prodotta dalla scarica elettrica.

30. D. FIORANI, *op. cit.*, p. 254 e ssg.

31. F. M. BUTERA, *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, Milano 2007, p. 73.

32. D. FIORANI, *op. cit.*, p. 256.

33. F. M. BUTERA, *op. cit.*, pp. 87 - 88.

34. D. FIORANI, *op. cit.*, p. 220.

35. Secondo D. FIORANI, il caminetto nasce dalla necessità di realizzare delle opere murarie per l'alloggiamento del combustibile e per il condotto di tiraggio di un focolare addossato alla parete. (Ibidem).

36. Secondo G. Bigatti, l'esemplare più antico risale al 1185 ed era stato realizzato in Inghilterra. (F. M. BUTERA, *op. cit.*, p. 35).

37. Il camino era costituito da una camera di combustione che alloggiava il focolare, aperta verso l'ambiente da riscaldare, i cui fumi venivano raccolti in un condotto inclinato per poi venire incanalati nella canna fumaria.

38. D. FIORANI, *op. cit.*, pp. 220-226.

39. Ivi, p. 222.

40. F. M. BUTERA, *op. cit.*, p. 37.

elettrica<sup>28</sup>. In effetti, in quel periodo, agli ormai tradizionali sistemi di illuminazione si andava ad affiancare il prodotto di una sperimentazione durata un secolo, nata dall'osservazione dell'effetto luminoso prodotto da una scarica fra due elettrodi di carbonio<sup>29</sup>. Le cosiddette lampade "ad arco" presentavano però numerosi inconvenienti, come la diversa velocità con cui i due elettrodi si consumavano e un'eccessiva intensità luminosa, che le rendevano inadatte all'uso domestico.

L'evento risolutivo è rappresentato dall'invenzione della lampadina ad incandescenza, avvenuta nel 1879 ad opera di Thomas Edison.

Il filamento delle prime lampadine era dato da un sottile cartoncino sottoposto a carbonizzazione, successivamente sostituito da fili realizzati con ossidi di diversi metalli, capaci di funzionare per diverse centinaia di ore con un effetto illuminante notevolmente superiore a quelli raggiunti fino a quel momento<sup>30</sup>.

Tuttavia il merito principale di Edison non fu tanto l'invenzione della lampadina, quanto il fatto che egli «concepì e realizzò, in tutti i dettagli, un sistema completo che andava dalla centrale elettrica alla lampadina»<sup>31</sup>.

Il passo dall'impiego di manufatti ad

alimentazione autonoma fino alla creazione di reti strutturate e servite da un'unica fonte generatrice fu infatti breve.

I fili conduttori dell'impianto, in rame o altro metallo rivestito da materiale isolante, portavano l'energia elettrica nelle abitazioni poggiandosi su appositi pali o mensole di legno, cui erano collegati isolatori in ceramica o vetro (fig. 27). L'ingresso nei diversi edifici avveniva quindi con aggancio diretto o tramite l'utilizzo di tubi in ottone o acciaio rivestiti, collegati in apposite cassette di raccordo<sup>32</sup>. Si arrivava infine ai corpi illuminanti appesi al soffitto, o montati a parete, all'interno delle diverse stanze.

L'impianto domestico era completo di interruttori, deviatori, valvole e di tutto ciò che poteva servire per la sua gestione e sicurezza.

Come sottolinea Federico Butera, emerge dalla storia dell'uso dell'energia come il bisogno di illuminare l'abitazione sia stato predominante, rispetto a quello di riscaldarla: «se nelle caverne abitate dai nostri antenati del Paleolitico non ci si curava del riscaldamento (...) nelle capanne primitive mancava un focolare ma non un lucignolo; nel *cubiculum* romano non c'era un fuoco per scaldarsi, ma c'era il *lucubrum*. Quella di vincere le



tenebre fu la prima applicazione del gas, che solo in seguito fu anche adoperato come fonte di calore e per cucinare. E' stata l'illuminazione e non il riscaldamento la prima applicazione del petrolio. Né ebbe destino diverso l'elettricità, che prima di tutto si affermò nell'uso domestico attraverso la straordinaria capacità che offriva: con un semplice gesto si poteva emulare in qualsiasi momento ciò che fino ad allora era stato possibile solo nella Genesi»<sup>33</sup>.

Il focolare posto al centro della grotta era infatti in grado di assolvere a diverse funzioni, fra le quali quella di mitigare la temperatura interna dell'ambiente risultava, con tutta probabilità, secondaria: il combustibile utilizzato, costituito da sterco e ossa di animali, consentiva di produrre solamente un lieve innalzamento della temperatura, peraltro vanificato dalle correnti d'aria interne alla caverna. Gli abitanti erano dunque costretti a coprirsi con pesanti pelli anche durante la loro permanenza nell'abitazione.

La successiva evoluzione in brace, pur aumentando l'efficienza nella produzione di calore del 20% circa<sup>34</sup>, non risolveva il problema dello smaltimento dei fumi di combustione che, immancabilmente, rendevano

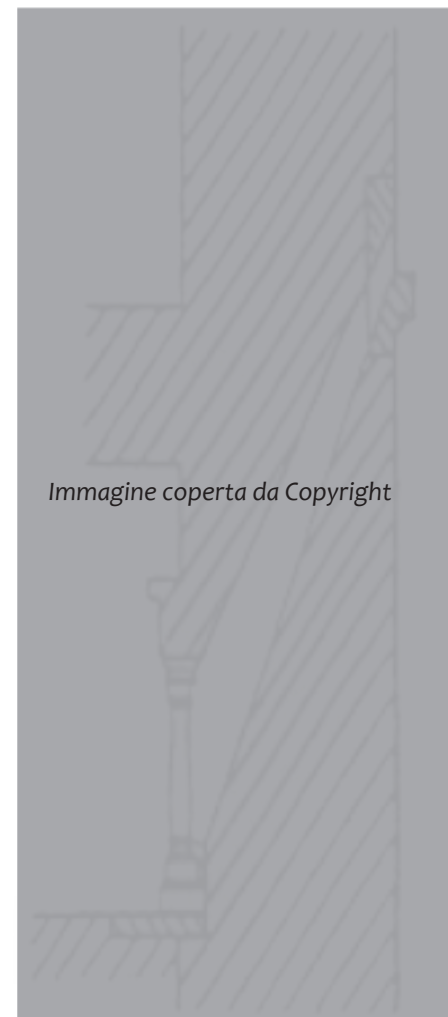
l'aria poco salubre.

Solamente l'invenzione del camino, naturale evoluzione del focolare<sup>35</sup>, migliorerà le condizioni di comfort termico degli ambienti domestici. La datazione è ancora piuttosto incerta<sup>36</sup>, ma esemplari simili al caminetto odierno<sup>37</sup> erano presenti nell'Europa centro-settentrionale già a partire dal XII secolo. Nel Trecento erano diffuse diverse tipologie, caratterizzate da una cappa aspirante che poteva essere più o meno sporgente o incassata nel muro<sup>38</sup>.

Nonostante l'utilizzo della legna come combustibile fosse ormai comune, il rendimento rimaneva comunque basso, considerando che il calore prodotto veniva disperso per l'80% circa<sup>39</sup>. Non vi era infatti modo di trattenere il tepore all'interno dell'abitazione per via delle aperture prive di vetri. Le bucatore venivano generalmente schermate con scuri di legno, ma solamente la notte, quando si dormiva, mentre le dispersioni attraverso le pareti venivano arginate da pesanti teli e arazzi; paglia e ramoscelli venivano sparsi sul pavimento<sup>40</sup>.

Nel corso dei secoli immediatamente successivi il camino subisce modifiche di tipo prettamente decorativo, mentre le migliorie tecnologiche riman-

Fig.28: Schema di un condotto obliquo per l'espulsione dei fumi di combustione.



gono limitate alla canna fumaria: dai primi condotti obliqui, ricavati all'interno della muratura e terminanti in facciata (fig. 28), si passa al condotto verticale, capace di ottimizzare il tiraggio e l'aspirazione dei fumi.

Questo era generalmente costituito da un cavedio a sezione rettangolare (raramente circolare) ricavato nello spessore delle murature perimetrali; non mancavano tuttavia casi di condotti esterni, come era d'uso in Inghilterra. A Venezia venivano invece utilizzati i cosiddetti "canoni", ovvero degli elementi in terracotta di forma tronco-conica (impiegati anche per gli scarichi), impilati e collocati all'interno della muratura<sup>41</sup>.

Il tiraggio della canna fumaria veniva favorito dall'elemento terminale, il comignolo, alto da 1 a 3 metri, posto alla sua estremità superiore. Per via della sua collocazione all'esterno dell'edificio, in copertura, esso assume una forte connotazione simbolica, essendo l'unico elemento tecnologico visibile al di fuori dell'abitazione. La sua progettazione e le diverse soluzioni formali adottabili vengono ampiamente illustrate nella trattatistica rinascimentale da autori quali Vignola e Palladio, a testimonianza di come il riscaldamento a caminetto «sia stato nel tempo l'unico tipo di

impianto assunto a vera dignità architettonica»<sup>42</sup>. Esso rappresentava, d'altronde, l'elemento centrale della casa, attorno al quale si svolgevano le attività domestiche e si trascorrevano il poco tempo che si passava all'interno dell'abitazione.

Dal Settecento in poi il camino è soggetto a diverse migliorie, quali l'aumento della superficie radiante e l'introduzione di una presa d'aria esterna capace di eliminare le correnti d'aria che si creavano nell'ambiente per via del forte tiraggio. Tali innovazioni ebbero come protagonisti Benjamin Thompson e Benjamin Franklin, che si adoperarono per migliorare la resa del camino, riducendo, allo stesso tempo, il consumo di legna.

Un esempio di camino particolarmente interessante è dato dal sistema Lhomond, diffuso in Francia a fine Ottocento<sup>43</sup>; pur essendo molto semplice, introduce degli accorgimenti che rimarranno d'uso comune per diverso tempo, come l'inserimento di un rivestimento refrattario (in piastrelle o lastre di ghisa) sul piano del focolare e sulla parete di fondo, o l'utilizzo di un contenitore dotato di griglia e sportello per la raccolta della cenere<sup>44</sup>. Tuttavia, per migliorare ulteriormente l'efficienza del camino<sup>45</sup>

41. Ibidem.

42. D. FIORANI, op. cit., p. 224.

43. G. DEBESSON, *Le chauffage des habitations. Étude theorique et pratique des procedes et apparil empyes pour le chauffage des edifices, des maison, des appartements*, Dound, Parigi 1908, Vol. I, p. 116.

44. P. A. CETICA, *L'architettura dei muri intelligenti. Esperienze di climatizzazione sostenibile nell'Ottocento*, Angelo Pontecorboli Editore, Firenze 2004, p. 50 e ssg.

45. Fino al XIX secolo il camino utilizzava esclusivamente l'energia radiante proveniente dalla combustione della legna, con una resa di attestava attorno al 5-10% (Ivi, p. 51).

46. Ivi, p. 53.

47. D. FIORANI, op. cit., p. 234.

48. Ivi, p. 236.

si pensò di sfruttare i fumi di combustione che, prima di allora, venivano dispersi nell'atmosfera, ancora caldi. Si decise di incanalarli all'interno di un tubo metallico, collocato in un cavedio posto alle spalle del camino. Il tubo, aperto in basso verso l'esterno e comunicante con l'ambiente interno tramite la sua estremità superiore, emetteva nell'abitazione un flusso d'aria calda generato dai moti convettivi interni ad esso, provocati dalla differenza di temperatura fra la fredda aria esterna e i fumi caldi.

Il sistema Fondet (fig. 29) prevedeva invece l'inserimento di un insieme di tubi di ghisa a sezione quadrata direttamente all'interno del caminetto. Anche in questo caso venivano sfruttati i moti convettivi generati attraverso i tubi, pur non incanalando i fumi di combustione ma sfruttando semplicemente il surriscaldamento dell'apparecchio dovuto al contatto diretto con la fiamma<sup>46</sup>.

Permettendo la diffusione di un flusso d'aria calda in ambienti anche relativamente lontani da quello fornito di caminetto, questi apparati rappresentano un primo sistema di riscaldamento centralizzato ad aria, sostanzialmente nato da una rivisitazione dell'ipocausto romano<sup>47</sup>: un reticolo di canali interni alla muratura distri-

buisce nei diversi ambienti l'aria calda derivante da un singolo generatore di calore.

Generalmente tali condotti non superavano i 40 metri di lunghezza, avevano un andamento verticale quando correvano all'interno delle pareti e orizzontale, con una leggera pendenza, nei tratti a pavimento. Il tiraggio era favorito dal collegamento alla canna fumaria.

Spesso le bocchette di emissione venivano schermate da particolari serrende, utili alla regolazione del flusso d'aria, e da tessuti necessari a trattenere la polvere.

Tuttavia tali impianti presentavano un'alta probabilità che si innescasse un incendio nei condotti, per via degli inevitabili depositi di fuliggine presenti al loro interno; risultavano inoltre poco efficienti nel caso di abitazioni basse ed estese in larghezza<sup>48</sup>. Questi inconvenienti vennero meno con l'utilizzo del riscaldamento centralizzato a vapore, sperimentato nel XVIII secolo da James Watt, William Cook e John Hoyle.

Il sistema sfruttava il calore ceduto durante la condensazione, all'interno di un reticolo di tubi, del vapore generato da un bollitore. Il generarsi di una crescente pressione all'interno dei condotti, con la conseguente

Fig. 29: Sistema di riscaldamento Fondet.



*Immagine coperta da Copyright*

Fig. 30: Schema di un termosifone con condotto di aerazione.



*Immagine coperta da Copyright*

espansione delle tubature, e il loro rapido raffreddamento, rendeva però necessaria la presenza costante di personale specializzato. Tali difficoltà nella gestione di questi impianti portarono all'utilizzo dell'acqua calda come vettore, a partire dalla metà dell'Ottocento.

Questi sistemi sfruttavano il calore ceduto dal fluido che scorre nei tubi, riscaldato da bollitori posti generalmente nei piani interrati mentre nel sottotetto era presente la cisterna di raccolta dell'acqua. Gli elementi radianti, addossati alla parete degli ambienti da riscaldare, erano talvolta celati da grate decorate ma spesso lasciati a vista; dapprima costituiti dagli stessi tubi di circolazione del fluido, vennero successivamente sostituiti da veri e propri elementi terminali, i radiatori, inizialmente in ghisa, poi in ferro e materiali meno pesanti. Il calore prodotto dal surriscaldamento dei radiatori veniva diffuso nella stanza grazie ai moti convettivi generati dai cambiamenti di pressione dovuti alla differenza di temperatura fra le masse d'aria presenti. Spesso tali moti erano favoriti dall'ingresso d'aria fresca generato dalla presenza di bocchette comunicanti con l'esterno e poste sotto il radiatore (fig. 30). Tuttavia i sistemi

basati sullo sfruttamento dei moti convettivi non erano in grado di assicurare un riscaldamento omogeneo dell'ambiente.

Un impianto centralizzato ad acqua calda più efficiente era senza dubbio il *tempering* che, mantenendo i tubi all'interno della parete, riscaldava l'ambiente per irraggiamento e quindi in maniera più uniforme, senza peraltro interferire sul grado di umidità dell'aria<sup>49</sup>.

Un generatore di calore alternativo al caminetto è quello che prevede l'utilizzo di una camera di combustione chiusa: la stufa. Tale accorgimento consentiva di raggiungere un'efficienza del 70/80%<sup>50</sup>, senza bisogno di grossi volumi d'aria per l'alimentazione del focolare.

Nata con tutta probabilità nel XV secolo<sup>51</sup>, la stufa trova larga diffusione nell'Italia settentrionale, in Germania, Austria, Svizzera<sup>52</sup>, Russia e Cina<sup>53</sup>.

I primi esemplari erano realizzati in muratura rivestita da intonaco, spesso ricoperta da elementi in terracotta (vasi, piatti e scodelle) utili ad aumentarne la superficie radiante, progressivamente sostituite da vere e proprie piastrelle e maioliche decorate.

La forma era generalmente conica

49. E. LONGO, G. SCHIPPA, *Sperimentazioni nel presente e lezioni del passato: la sfida del miglioramento energetico nell'edificato storico*, Tesi di laurea magistrale, relatrice V. PRACCHI, Facoltà di Architettura e Società, Politecnico di Milano, a. a. 2008/2009, p. 204.

50. Ivi, p. 226.

51. Ibidem.

52. Ibidem.

53. F. M. BUTERA, op. cit., p. 40.

o cubica e presentava una camera d'aria al di sotto della cella di combustione, efficace nell'incrementare i moti convettivi dell'aria calda prodotta. Parallelamente a quanto successo al caminetto, anche la stufa subì, nei secoli successivi, attenzioni di tipo quasi esclusivamente estetico, mostrando una persistenza costruttiva sostanzialmente invariata fino al XVIII secolo, periodo nel quale si cercò di migliorarne il tiraggio e il rendimento.

La stufa trovava spazio in un angolo della stanza generalmente attiguo alla cucina (o ad un altro ambiente di servizio) da cui si effettuava la ricarica di combustibile tramite l'apertura di un apposito sportello; veniva inserita una griglia per l'accensione della legna, all'interno della camera di combustione, mentre la cenere si deposita ad un livello più basso, consentendo una facile raccolta. Si iniziava a preferire la stufa in ghisa a quella in muratura, prodotta in serie grazie alla facile assemblabilità dei diversi elementi; il nuovo materiale entrava a regime velocemente, ma presentava lo svantaggio di mantenere il calore meno a lungo rispetto al cotto, inconveniente che si cercò di ovviare con l'inserimento di mattoni refrattari all'interno della cella.

Fig. 31: Stufa che alimenta un sistema centralizzato ad aria.



Fig. 32: Sistema di ventilazione per convezione.



Come il camino, anche la stufa è storicamente servita ad alimentare i sistemi di riscaldamento centralizzato ad aria (fig. 31), così come i sistemi di “riscaldamento e ventilazione”<sup>54</sup> o “termoventilazione”<sup>55</sup>.

L’evoluzione di tali tecniche di “protoclimatizzazione”<sup>56</sup> prevedeva la canalizzazione dei prodotti della combustione attraverso una tubazione realizzata in un cavedio intramurario. Il moto convettivo derivante dal riscaldamento delle pareti provocava l’aspirazione dell’aria interna agli ambienti tramite aperture poste immediatamente sotto il soffitto e collegate al cavedio centrale. Attraverso tale canalizzazione venivano dunque espulsi alla sommità dell’edificio sia i fumi di combustione, sia l’aria viziata generalmente accumulata nella parte alta dei diversi ambienti. Ulteriori condotte poste sotto i pavimenti, collegate con l’esterno, permettevano l’ingresso di aria fresca, richiamata dalla depressione dovuta all’aspirazione. L’impiego dei fumi derivanti dalle cucine permetteva il funzionamento del sistema in ogni stagione: nei mesi più freddi, che rendevano necessaria l’accensione della stufa, la canna fumaria contribuiva alla creazione di moti convettivi interni all’ambiente riscaldato, determi-

nando l’aspirazione dell’aria interna tramite la bocchetta posta in basso. In questo modo il calore prodotto dal generatore poteva distribuirsi in modo pressoché omogeneo nella stanza, anziché stazionare nella parte alta. Durante il periodo di inattività della stufa, il moto convettivo veniva attivato da una piccola sorgente di calore posta alla base del cavedio, in modo tale che l’aria viziata interna venisse aspirata al suo interno per poi venire eliminata all’esterno dalla canna fumaria<sup>57</sup>.

Tale tecnica, che potremmo chiamare del “muro intelligente”<sup>58</sup> (fig. 32), ha permesso per secoli, soprattutto in Francia, il riscaldamento e la ventilazione di edifici complessi quali ospedali e teatri, tramite un sistema integrato nella struttura già dalle prime fasi costruttive: «Il muro e il solaio non erano supporti ai quali agganciare o nei quali nascondere in qualche modo più o meno sofisticato gli elementi dell’impianto: il muro e il solaio erano loro stessi “anche” l’impianto»<sup>59</sup>.

Tuttavia, alle soglie del Novecento, l’assottigliarsi delle murature, l’avvento dell’acciaio e del gas di città hanno fatto sì che tale sistema venisse dimenticato.

Risalgono all’Ottocento anche gli in-

54. P. A. CETICA, op. cit., p. 7.

55. D. FIORANI, op. cit., p. 246.

56. Si intende per sistemi di protoclimatizzazione qualsiasi tecnologia, perfettamente integrata nel sistema strutturale dell’edificio, capace di incrementare il rendimento dei sistemi di climatizzazione, grazie allo sfruttamento della ventilazione per moto convettivo, innescata dalle stesse apparecchiature.

57. P. A. CETICA, op. cit., p. 15.

58. Ivi, p. 18.

59. E. BOSC, *Traité complet, historique et pratique, du chauffage et de ventilation des habitations particulières et des edifices publiques*, Morel, Parigi 1875, p. 375.

60. P. A. CETICA, op. cit., pp. 26-28.

61. D. FIORANI, op. cit., p. 246.

62. F. M. BUTERA, op. cit., p. 99 e ssg.

gegnosi lampadari a gas (fig. 33) che, sfruttando i moti convettivi attivati dal calore della combustione, consentivano una seppur minima ventilazione degli ambienti, anche con camini e stufe spenti.

In questi apparecchi, lo stretto spazio lasciato fra calotta e starter esterno consentiva l'aspirazione dell'aria messa in movimento per convezione, fatta in seguito fuoriuscire attraverso apposite canalizzazioni ricavate nel solaio.

Anche il plafone d'attacco al solaio funzionava da estrattore grazie ai fori presenti nel suo telaio, comunicanti anch'essi con l'intercapedine sovrastante<sup>60</sup>.

Questi accorgimenti ci fanno notare quanta importanza venisse data alla ventilazione, considerata necessaria per il mantenimento della salubrità dell'aria interna all'abitazione. Quando la ventilazione naturale e quella attivata da sorgenti di calore non risultavano sufficienti, si ricorreva a ventilatori meccanici, attivati inizialmente grazie alla forza animale, poi idrica ed elettrica<sup>61</sup>.

Tuttavia la movimentazione dell'aria non sempre era sufficiente ad assicurare un adeguato livello di benessere nel caso di ambienti particolarmente caldi e umidi: spesso si rendeva ne-

cessario diminuire il livello del vapore presente nell'aria tramite un abbassamento della temperatura.

Nel 1902, l'ingegnere Willis Carrier progettò il primo impianto di condizionamento: egli realizzò una macchina che, emettendo un flusso d'aria contenente acqua nebulizzata all'interno di un ambiente, riusciva a mantenere il livello di umidità desiderato durante la stagione invernale; d'estate, al contrario, lo stesso macchinario permetteva una riduzione dell'umidità presente nella stanza grazie alla condensazione dell'acqua contenuta nell'aria, tramite il suo passaggio fra le alette di una serie di tubi percorsi da acqua fredda di falda e, successivamente, su una batteria raffreddata ad ammoniacca, qualora il primo passaggio non fosse stato sufficiente.

Le prime applicazioni di questo nuovo sistema riguardarono prevalentemente gli ambienti di lavoro e gli edifici pubblici; condizionare un'abitazione risultava troppo costoso.

Tuttavia, negli anni Trenta si diffusero dei *fan-coil* funzionanti con acqua raffreddata tramite il ghiaccio, molto più economici e vantaggiosi per i piccoli utenti.

Si dovrà aspettare il secondo dopoguerra per veder comparire il condizionare da finestra<sup>62</sup>.

Fig.33: Apparecchi di illuminazione a soffitto con sistema di ventilazione integrata.



*Immagine coperta da Copyright*

### 3.3 Le attuali tecnologie impiantistiche

Diventa a questo punto opportuno, ai fini del presente lavoro, illustrare le diverse tipologie d'impianto necessarie alla fruizione contemporanea di una fabbrica storica, nonché affrontare una sintetica disamina delle principali tecnologie impiantistiche oggi sul mercato.

#### **L'impianto di riscaldamento, di raffrescamento e di climatizzazione**

In base al fluido termovettore impiegato, possiamo suddividere gli odierni sistemi di riscaldamento, raffrescamento e climatizzazione in:

- impianti a sola acqua,
- impianti a tutt'aria,
- impianti misti aria/acqua,
- impianti con sistema ad espansione diretta<sup>63</sup>.

La prima tipologia consente esclusivamente il controllo della temperatura e prevede l'utilizzo dell'acqua come fluido termovettore: una volta riscaldata all'interno del generatore

di calore, l'acqua viene distribuita, attraverso apposite tubazioni, agli elementi terminali.

L'innovazione tecnologica ha consentito un notevole miglioramento nelle prestazioni degli storici radiatori e ha introdotto nuove efficienti alternative.

Tali elementi (figg. 34-36), chiamati anche termosifoni o caloriferi, vengono oggi prodotti prevalentemente in acciaio e sono disponibili sul mercato in varie tipologie, forme e dimensioni. Com'è noto, oltre agli elementi da porre sotto davanzale, vi sono differenti modelli che vanno incontro alle diverse esigenze di installazione, con dimensioni che vanno dai 200 mm di altezza fino ai 2,5 m per i modelli pavimento-soffitto. I radiatori in alluminio hanno dimensioni più compatte, pesi contenuti e bassa inerzia termica, con altezze che variano da 290 a 2000 mm<sup>64</sup>.

Un'altra sostanziale innovazione riguarda la possibilità di regolare la resa mediante una valvola di taratura termostattizzata, così da rendere

63. L. STEFANUTTI, *Manuale degli impianti di climatizzazione*, Tecniche Nuove, Milano 2007, p. 15-5 e ssg.

64. Ivi, p. 26-21.



Fig. 34: Radiatori in alluminio, di diverse dimensioni.



Fig. 35: Scaldasalviette.



Fig. 36: Radiatori in ghisa, di diverse dimensioni.



Fig. 37: Schema di una striscia radiante.



Fig. 38: Schema di un impianto a tutt'aria.



automatica la chiusura e l'apertura della valvola in funzione della temperatura rilevata in ambiente tramite sonda.

I radiatori rappresentano una buona soluzione per il riscaldamento di ambienti residenziali, di servizi igienici (scaldasalviette) e di vani scala.

Nella versione ad altezza ridotta sono utilizzati anche come barriere termiche lungo le pareti finestrate, allo scopo di eliminare le correnti fredde. Presentano tuttavia elevati costi di trasporto e installazione.

Le termostrisce radianti (fig. 37) sono invece apparecchi da sospendere al soffitto, ideati per riscaldare ambienti di grande volumetria mediante irraggiamento. Nella versione standard sono alimentate con acqua ad alta temperatura ( $>70^{\circ}\text{C}$ ) ma sono disponibili anche nelle versioni ad acqua surriscaldata (fino a  $140^{\circ}\text{C}$ ) e a vapore. Sono costituite da un pannello d'acciaio nel quale sono ricavati alloggiamenti semicircolari, con interasse di 100 o 150 mm, in cui vanno ad inserirsi le tubazioni del fluido termovettore, anch'esse in acciaio.

La larghezza delle piastre è di 300 mm, con una lunghezza di 4 o 6 metri<sup>65</sup>. L'ancoraggio è effettuato mediante traverse di sospensione saldate al pannello<sup>66</sup>. Tale sistema

permette di realizzare impianti di notevole estensione con una temperatura uniforme, grazie al funzionamento per irraggiamento, senza movimenti d'aria e con consumi energetici contenuti. Inoltre, dal momento in cui vengono riscaldate direttamente le persone e le superfici, ma non l'aria, riduce al minimo i fenomeni di stratificazione.

Rappresenta una soluzione interessante per il riscaldamento di capannoni industriali, commerciali, magazzini e edifici sportivi, risultando però di difficile applicazione in presenza di edifici tutelati, per evidenti ragioni di conservazione dei solai tradizionali, spesso lignei, e per l'eventuale presenza di superfici di pregio.

Tutti i sistemi a sola acqua presentano, inoltre, lo svantaggio di consentire esclusivamente il controllo del carico termico sensibile invernale; al contrario, gli impianti a tutt'aria o misti sono capaci di regolare anche il grado di umidità interno ad un ambiente, immettendo una portata d'aria opportunamente trattata.

La configurazione dell'impianto a tutt'aria varia in base al numero di zone servite e alla modalità di immissione del fluido.

L'impianto più semplice (fig.38), per il trattamento di una sola zona, è

65. Se assemblate in fabbrica, le termostrisce radianti possono raggiungere la larghezza massima di 1500 mm, con lunghezze multiple di 2000 mm.

66. L. STEFANUTTI, op. cit., pp. 26-26/26-28.

67. L. STEFANUTTI, op. cit., p. 15-6 e ssg.

costituito da un generatore di calore, un gruppo frigorifero, un'unità di trattamento dell'aria, da canali di distribuzione e da terminali di immissione e ripresa d'aria. La configurazione dell'unità di trattamento varia in base alla tipologia dei carichi termici e delle condizioni termoigrometriche dell'ambiente; può prevedere l'utilizzo di aria esterna miscelata ad aria di ricircolo oppure funzionare esclusivamente ad aria esterna, con o senza recupero di calore da quella espulsa.

L'impianto multizona (fig. 39) può immettere in più ambienti una portata d'aria costante ma con temperatura variabile a seconda dei diversi carichi termici. La temperatura scelta viene ottenuta tramite il post-riscaldamento locale dell'aria (attraverso un singolo canale) o attraverso il miscelamento di due portate d'aria (una calda e una fredda, mediante un doppio canale).

Il limite d'impiego di questo sistema è relativo alla dimensione dei plenum di miscela dell'aria e dei relativi canali, eccessivamente ingombranti per il condizionamento di un numero maggiore di 10-15 zone<sup>67</sup> e, quindi, decisamente troppo invasivi per una fabbrica storica.

I problemi del condizionamento, do-

Fig. 39: Schema di un impianto a tutt'aria.



Fig. 40: Schema di un impianto a portata variabile.



Fig. 41: Schema di un ventilconvettore.



vuti alla variabilità dei carichi termici nelle aree perimetrali degli ambienti, vengono risolti con l'installazione di impianti VAV (*Variable Air Volume*) (fig. 40) con cassette di regolazione dotate di batterie di post-riscaldamento. In tale maniera, l'impianto in regime di raffreddamento lavorerà con una portata variabile, mentre in regime di riscaldamento lavorerà a portata costante.

Una valida alternativa è rappresentata dalla disposizione, nelle aree perimetrali, di impianti a tutt'aria a doppio condotto oppure di tipo misto con ventilconvettori o convettori incassati a pavimento. I vantaggi derivanti dall'utilizzo di macchine VAV sono relativi sia alla possibilità di raffreddare il fluido termovettore sfruttando l'aria dell'ambiente, senza necessità di ausili meccanici (*free cooling*), sia agli ingombri minimi e ai consumi energetici limitati. Per contro, presentano difficoltà di funzionamento per carichi ridotti, con una conseguente difficoltà nel controllo dell'umidità e della qualità dell'aria<sup>68</sup>. Per via degli ingombri dei condotti per il passaggio dell'aria, i sistemi a tutt'aria trovano difficilmente applicazione nell'edilizia abitativa o in edifici di pregio storico-architettonico, risultando al contrario molto diffusi

in contesti industriali, nel settore terziario e negli edifici adibiti ad ufficio, dove, peraltro, si riscontra la necessità di un efficace controllo dei parametri termoigrometrici e di qualità dell'aria interna.

Gli impianti misti aria-acqua risolvono il problema degli spazi, particolarmente sentito nell'ambito dell'edilizia storica: le dimensioni dei canali e delle centrali di trattamento dell'aria primaria sono infatti inferiori rispetto a quelle degli impianti a tutt'aria<sup>69</sup>. Gli impianti misti trattano i due fluidi in apposite centrali, per poi distribuirli, mediante una rete di canali, ai terminali installati in ambiente; all'aria primaria viene affidato il compito della ventilazione mentre il controllo della temperatura è a carico di apparecchi periferici alimentati ad acqua calda o fredda. Gli impianti a ventilconvettori (fig. 41), detti anche *fan-coil*, effettuano il controllo della temperatura ambiente mediante terminali dotati di una o due batterie di scambio termico, alimentate ad acqua calda e fredda. Queste, attraversate da un flusso d'aria di ricircolo mossa da un ventilatore, provvedono al riscaldamento o raffreddamento dell'ambiente. La regolazione della temperatura avviene tramite sonde che, me-

68. Ivi, pp. 15-19/15-31.

69. Ivi, pp. 15-31/15-53.

70. Ivi, pp. 15-40/15-45.

71. Ivi, pp. 15-45/15-48.

72. Per evitare la formazione di condensa sulla superficie dei pannelli, la temperatura dell'acqua di alimentazione deve essere di 2°C superiore rispetto alla temperatura di rugiada.

diante un regolatore, modulano la portata dell'acqua nella batteria o la velocità del ventilatore. La distribuzione dell'aria all'interno della stanza avviene mediante canalizzazione orizzontale a controsoffitto o attraverso gli stessi ventilconvettori posati a pavimento (a vista o ad incasso); quest'ultima è sicuramente la soluzione preferibile per un edificio storico. Il sistema a travi fredde (fig. 42), installabile a soffitto, consente il controllo dell'umidità e l'immissione di aria primaria alla temperatura desiderata, grazie alla presenza di una o due batterie di scambio termico e di un *plenum* di distribuzione dell'aria. Le travi funzionano secondo il principio dell'induzione: vengono alimentate con un flusso d'aria a bassa pressione che fuoriesce dal *plenum* attraverso una serie di spiragli o ugelli, i quali creano un effetto di depressione tale da provocare l'aspirazione dell'aria ambiente attraverso una griglia inferiore. L'aria di ricircolo attraversa la batteria di scambio e si miscela con quella primaria, per poi essere immessa in ambiente. Oltre ai modelli di tipo attivo, sono in commercio anche apparecchi a convezione naturale, costituiti da una semplice batteria alettata, contenuta

all'interno di un *carter* metallico; questi sistemi passivi sfruttano la circolazione dell'aria ambiente che, durante l'estate, tende a salire verso il soffitto dove si raffredda a contatto con la superficie fredda della batteria, per poi ricadere verso il basso.

Gli apparecchi possono essere installati direttamente in ambiente, sospesi a vista, oppure nascosti all'interno di controsoffitti che permettono la circolazione dell'aria. Le rese frigorifere di queste travi sono sensibilmente inferiori rispetto a quelle delle travi attive<sup>70</sup>.

Sono installati a soffitto anche alcuni sistemi a pannelli radianti<sup>71</sup> che combinano l'impianto d'aria primaria con pannelli dotati di tubazioni alimentate ad acqua calda e fredda, per il controllo della temperatura e della qualità dell'aria. Il riscaldamento avviene sfruttando il potere radiante dei pannelli alimentati ad acqua con temperatura superiore ai 45°C, mentre il raffreddamento avviene attraverso il moto convettivo che scaturisce dalla differenza di temperatura tra soffitto e ambiente<sup>72</sup>.

L'immissione dell'aria primaria all'interno dell'edificio avviene tramite diffusori posti a soffitto, a parete o a pavimento, mentre il calore si diffonde prevalentemente per irraggiamento;

Fig. 42: Schema di un impianto a travi fredde.



in fase di raffrescamento, i pannelli a soffitto garantiscono ottime prestazioni e condizioni di comfort, eliminando il rischio di correnti d'aria, per via dell'utilizzo di acqua fredda ad alta temperatura (15°C).

Del tutto simili ai pannelli a soffitto, sono gli impianti di tipo misto a pavimento radiante, costituiti da una serpentina alimentata ad acqua per la regolazione della temperatura, mentre all'aria primaria spetta il controllo igienico e igrometrico.

In fase di riscaldamento, la temperatura superficiale non può superare i 29-35°C<sup>73</sup>, mentre per il raffreddamento i pannelli devono essere alimentati con acqua ad una temperatura di 2°C maggiore rispetto a quella di rugiada.

Analogamente ai soffitti radianti, anche gli impianti a pavimento (fig. 43) - e la loro variante a parete e a battiscopa - costituiscono un sistema statico che garantisce ottime condizioni di comfort, bassi consumi energetici e ottime prestazioni dal punto di vista della manutenzione, trovando un sempre più largo impiego sia in ambito residenziale che in ambienti con grandi volumetrie, quali stabilimenti industriali, spazi espositivi e musei<sup>74</sup>. Gli impianti misti ad espansione diretta sono divisi in:

- impianti a portata di refrigerante variabile;

- impianti ad anello d'acqua con unità a pompa di calore.

Entrambe le tipologie d'impianto prevedono l'installazione di unità a espansione diretta col compito di neutralizzare il solo carico sensibile, mentre il trattamento del grado igrometrico e della qualità dell'aria è affidato all'impianto di distribuzione d'aria primaria.

Il fluido frigorifero attualmente utilizzato è l'R410A.

Il sistema a portata variabile, comunemente noto come VRF (*Variable Refrigerant Flow*), è costituito da una o più unità motocondensanti, collegate, tramite tubazioni in rame di piccolo diametro, ad apparecchi terminali ad espansione diretta, funzionanti sia in regime di raffrescamento che di riscaldamento, grazie ad un sistema a pompa di calore.

Le relative unità terminali possono essere installate a pavimento (a vista o a incasso), a soffitto, a parete o a controsoffitto canalizzabile. Fra i vantaggi di questo sistema vi è la possibilità di regolare in modo ottimale la temperatura interna di ciascun ambiente climatizzato, nonché la possibilità di installare le unità interne a distanze anche elevate

73. La norma UNI EN 1264-2 stabilisce la temperatura massima raggiungibile dalla superficie del pavimento radiante, in relazione ai diversi ambienti: 29°C per il soggiorno, 33°C per i bagni, 35°C per le zone periferiche dell'abitazione.

74. L. STEFANUTTI, op. cit., pp. 15-48/15-53.

75. Ivi, pp. 15-61.

rispetto a quelle esterne (fino a 165 m); ciò consente una maggiore libertà di collocazione di queste ultime, favorendone la “mimetizzazione” nel caso di edifici tutelati.

Le tipologie di impianti VRF commercializzabili sono le seguenti:

- a recupero di calore per raffreddamento e riscaldamento simultanei;
- a pompa di calore e a recupero di calore con condensazione.

Il primo sistema permette il controllo di più zone con carichi termici di segno opposto. I più recenti modelli immessi sul mercato sono dotati di tre linee frigorifere, una per il gas a bassa pressione, una per il liquido refrigerante e una per il gas caldo ad alta pressione, tutte provenienti dall'unità esterna e collegate ad un gruppo intermedio, posto a monte di ciascuna unità. Il collegamento tra unità e gruppo intermedio avviene mediante due sole linee, consentendo di avere, contemporaneamente, il gas caldo di mandata dal compressore (per il riscaldamento) e il refrigerante liquido (per il raffrescamento). In base alle richieste delle varie unità interne, la macchina esterna effettua l'inversione delle batterie, in modo da consentire il funzionamento come condensatore o come evaporatore.

Il sistema VRF con condensazione ad

acqua permette di collegare fino a 32 terminali ad un'unica unità esterna<sup>75</sup>.

Questo tipo di sistema presenta un'elevata facilità di installazione delle unità motocondensanti, anche in piccoli locali tecnici posti in prossimità degli ambienti serviti, grazie alle dimensioni particolarmente contenute. È inoltre possibile l'utilizzo dell'acqua quale sorgente calda o fredda, come nel caso dell'impianto con pompe di calore ad anello d'acqua. Tale sistema consiste in una serie di pompe di calore acqua-aria, ciascuna installata in una specifica zona dell'edificio, collegate tra loro da un circuito d'acqua chiuso dal quale ricevono o cedono calore.

Le unità terminali a espansione diretta sono in grado di fornire freddo o caldo all'ambiente attraverso un ciclo frigorifero. Il sistema consente il totale recupero di calore: nei casi in cui si presenta un'uguaglianza tra carichi di raffreddamento e riscaldamento, il calore sottratto dagli ambienti refrigerati viene convogliato, attraverso l'anello d'acqua, negli ambienti da riscaldare. Se, al contrario, non vi è al momento necessità di un apporto di calore, questo può essere accumulato in appositi serbatoi.

Qualora il sistema ad anello d'acqua, il quale lavora a temperature com-

Fig. 43: Pannello radiante a pavimento.



prese tra 16 e 35°C, non sia sufficiente al soddisfacimento del fabbisogno richiesto, diventa necessario il supporto di una caldaia o quello delle torri di raffreddamento.

L'impianto ad anello d'acqua<sup>76</sup>, integrato dall'impianto di distribuzione d'aria primaria, consente una regolazione ottimale della temperatura in ogni stagione, con prestazioni che molto si avvicinano a quelle di un impianto *fan-coil*, ma con una discreta riduzione dei costi della rete idronica grazie all'impiego di tubi non coibentati, per via della temperatura dell'acqua.

Nonostante i costi d'investimento risultino più elevati rispetto a quelli necessari per un impianto tradizionale, il ridotto ingombro e la libertà nella dislocazione di più terminali afferenti ad una sola unità esterna, rendono il sistema ad anello particolarmente adatto nel caso di ristrutturazioni o per la climatizzazione di alberghi, negozi e centri commerciali.

Si stanno diffondendo sempre più i sistemi a pompa di calore con circuito interrato<sup>77</sup>, che sfruttano la capacità di accumulo termico del terreno. La fonte di calore è rappresentata da un anello chiuso interrato in cui viene fatto circolare un fluido incongelabile. L'anello è collegato agli

scambiatori ad acqua della pompa di calore. Durante il periodo invernale la pompa di calore, alimentata elettricamente, estrae dal terreno il calore necessario a riscaldare l'ambiente, mentre durante la stagione calda il terreno riceve il calore sottratto dagli ambienti.

Il sistema ha una buona efficienza, dovuta al fatto che la temperatura del terreno è costante durante tutto l'arco dell'anno (circa 10°C a profondità superiori ai 10 m). In base alla superficie disponibile, l'installazione dei circuiti può avvenire in verticale (generalmente si arriva ad una profondità di 120 m) o in orizzontale, con sonde posizionate ad una profondità di 4-5 m ed estese su una superficie pari ad una o due volte quella dell'edificio da riscaldare (fig. 44). Oltre alla pompa di calore, o in ausilio ad essa, per generare il calore spesso si ricorre all'utilizzo di caldaie<sup>78</sup>, variamente alimentate. Le caldaie sono apparecchi nei quali la produzione di calore avviene attraverso la fiamma generata da un bruciatore, situato nella camera di combustione; la successiva cessione di calore operata dai fumi di combustione nei confronti dei tubi percorsi dal fluido termovettore consente il riscaldamento di quest'ultimo. I fumi vengono poi espulsi all'e-

76. Ivi, pp. 15-62, 15-64.

77. S. BASTA, F. MINCHIO, *Geotermia e pompe di calore. Guida pratica agli impianti geotermici di climatizzazione*, Associazione Geotermia, Verona 2008.

78. L. STEFANUTTI, op. cit., pp. 23-6, 23-75.

79. I fumi di combustione vengono sottoposti ad una notevole riduzione di temperatura e ad una deumidificazione spinta.



sterno attraverso una canna fumaria. La temperatura massima di esercizio deve essere necessariamente inferiore al punto di ebollizione dell'acqua e aggirarsi, quindi, attorno ai 90°C. I combustibili più utilizzati sono il gas metano di rete (che garantisce temperature medie d'impianto più elevate, una migliore combustione e una riduzione dei prodotti inquinanti) e il gasolio per il riscaldamento. Il gas GPL è utilizzato negli edifici non serviti dalla diffusione di rete (località montane, piccoli centri abitati) e stoccato in appositi serbatoi collocati accanto all'edificio.

Solitamente, per piccole utenze di tipo domestico ci si orienta su caldaie murali a metano o GPL, con scambiatori in rame o acciaio e parti in acciaio inossidabile o ghisa. Per impianti medio-piccoli, la scelta verte invece su caldaie in acciaio o ghisa (fig. 45), abbinata a bruciatori di combustibili liquidi o gassosi. È sempre più diffuso l'utilizzo delle caldaie a condensazione in abbinamento sia ad impianti a bassa temperatura, come i pannelli radianti, sia ad impianti tradizionali, a ventilconvettori e radiatori.

A differenza delle altre, tali macchine sfruttano, oltre al potere calorifico della combustione, anche il calore di condensazione del vapore acqueo<sup>79</sup>.

Questo fa in modo che esse presentino rendimenti superiori al 100%.

Le caldaie a combustibile solido (a legna o *pellets*), a carica manuale o automatica, trovano applicazione prevalentemente in contesto extraurbano e/o montano.

Nel 90% delle case rurali la caldaia a legna sostituisce il generatore a gas e riscalda l'acqua calda necessaria ai radiatori.

Generalmente, il locale caldaia (o centrale termica) è ubicato al piano cantinato, all'ultimo piano dell'edificio (piano di copertura) o in locali esterni all'edificio stesso e deve essere scelto nel rispetto delle specifiche norme derivanti dalla legge del 13 luglio 1966 n. 615, detta Legge Antismog ("Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico") e dal successivo regolamento di esecuzione, D.P.R. del 24 ottobre 1967 n. 1288, riferito ad impianti di potenza superiore a 30.000 kcal/h (34,8 kW). La posizione è vincolata, in parte, dalla presenza "ingombrante" delle canne fumarie verticali, interne o esterne alla fabbrica, oltre che dalla necessità di avere una posizione quanto più possibile baricentrica rispetto all'edificio, allo scopo di ridurre i tratti orizzontali delle tubazioni che collegano la centrale stessa alle varie utenze.

Fig. 44: Impianto con pompa di calore a sonda geotermica orizzontale.



Fig. 45: Schema di una caldaia in acciaio.



80. Secondo la norma UNI EN 13053 per unità di trattamento dell'aria (UTA) si intende un alloggiamento costruito in fabbrica, costituito da sezioni che contengono uno o più ventilatori e tutte le apparecchiature necessarie per le seguenti funzioni: circolazione, filtrazione, riscaldamento, raffreddamento, recupero di calore, umidificazione, deumidificazione e miscelazione dell'aria.

81. La centrale frigorifera è il locale tecnico nel quale sono installati tutti i componenti utilizzati per la produzione di acqua refrigerata e acqua calda, per gli impianti di climatizzazione (riscaldamento invernale attraverso le pompe di calore, post-riscaldamento estivo, raffrescamento estivo) e acqua calda sanitaria (versione a recupero di calore).

82. L. STEFANUTTI, op. cit., pp. 24-1, 24-61.

83. M. FIORI, F. R. CECCONI, *Impianti idrico-sanitari per edifici residenziali: progettazione, esecuzione, collaudo, manutenzione*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna 2005, p. 256.

84. Nei serbatoi di accumulo l'acqua viene tenuta ad una temperatura di circa 15±20°C superiore rispetto alla temperatura normale d'utilizzo. L'accumulo serve a far fronte ai periodi di massima richiesta, senza dover impegnare potenze termiche eccessive.

Dal punto di vista funzionale, dalla centrale si diramano le tubazioni (mandata e ritorno dell'acqua calda) che collegano le varie utenze; è quindi conveniente la collocazione che la vede prossima agli spazi previsti per il passaggio delle tubazioni stesse (cavedi, cunicoli, ecc.).

La localizzazione della centrale termica, infine, deve tenere conto del tipo di combustibile utilizzato e del sistema di alimentazione. Anche l'ubicazione delle centrali di condizionamento (i locali tecnici in cui sono collocate le unità di termoventilazione o quelle di trattamento dell'aria<sup>80</sup> degli impianti di climatizzazione) è vincolata all'ubicazione dell'utenza e alla posizione dei cavedi tecnici entro i quali verranno installate le canalizzazioni. Possono essere collocate indifferentemente nel piano cantinato, nel sottotetto, nella copertura dell'edificio oppure in un piano intermedio. Le caratteristiche del locale dove va collocata l'UTA devono essere fissate preventivamente nel progetto, in funzione della portata d'aria immessa in ambiente, dei trattamenti che deve subire l'aria (e che definiscono la conformazione della macchina) e della necessità di disporre griglie di presa d'aria esterna e di espulsione a una sufficiente distanza fra loro (lon-

tano da fonti d'inquinamento, zone polverose, piani di calpestio, zone di produzione fumi, ecc.).

L'impianto deve essere progettato e installato in modo da garantire che attorno alle unità siano consentite le operazioni di pulizia, manutenzione e riparazione; gli accessi a tali locali devono essere agevoli consentendo anche il trasporto di parti di ricambio senza dover entrare nei locali occupati.

In base alla tipologia di macchine utilizzate, le centrali frigorifere<sup>81</sup> possono essere ubicate all'interno dell'edificio, in genere nei piani interrati, oppure all'esterno.

La classica localizzazione è quella che vede la centrale frigorifera posta al piano cantinato (qualora non preveda il raffreddamento ad aria) o comunque al piano più basso dell'edificio; soluzione suggerita dal fatto che i gruppi frigoriferi sono apparecchiature molto pesanti e un'ubicazione diversa potrebbe comportare problemi di carattere strutturale.

La collocazione delle apparecchiature in un locale completamente separato dall'edificio è la soluzione più frequentemente adottata nel caso siano a servizio di grossi impianti (ospedali, centri commerciali, centri per lo sport, ecc.).

Le apparecchiature facenti parte delle centrali frigorifere sono<sup>82</sup>:

- gruppi frigo a compressione;
- collettori di distribuzione;
- pompe di circolazione circuito evaporatore;
- pompe di circolazione circuito condensatore (torri di raffreddamento *dry-coolers*);
- sistemi di accumulo di energia frigorifera;
- sistemi di regolazione e controllo;
- quadro elettrico.

La posizione della centrale frigorifera dovrebbe essere il più possibile baricentrica rispetto alla fabbrica, allo scopo di ridurre i tratti orizzontali delle tubazioni che collegano la centrale stessa alle varie utenze e quelle che collegano le macchine alle torri evaporative.

### **L'impianto idrico-sanitario**

L'impianto idrico-sanitario ha inizio nel punto di allaccio alla rete pubblica e termina con l'apparecchio sanitario che eroga l'acqua; è costituito da un sistema di approvvigionamento, da un sistema di produzione dell'acqua calda, da una rete di distribuzione, da

un insieme di dispositivi sanitari e da una rete di scarico delle acque nere e bianche<sup>83</sup>.

Una volta prelevata dal punto di presa (l'allaccio alla rete pubblica dell'acquedotto), l'acqua entra nell'edificio tramite colonne montanti verticali e una rete di tubazioni orizzontali di distribuzione (fig. 46).

Viene riscaldata tramite impianti autonomi o centralizzati; solitamente si tratta degli stessi macchinari impiegati per il riscaldamento, ovvero caldaie che utilizzano combustibili gassosi (GPL o metano) o liquidi e stufe (a legna o a *pellets*), oppure scaldacqua ad energia elettrica, spesso affiancati da sistemi che sfruttano l'energia solare o quella derivante da altre fonti alternative.

Nel caso di edifici pubblici o di grandi dimensioni, tali macchinari sono spesso ubicati all'interno di appositi locali tecnici, detti centrali idriche, dove trovano spazio accanto alle apparecchiature necessarie per garantire all'acqua, proveniente dall'acquedotto, la pressione sufficiente all'alimentazione delle varie utenze, più gli eventuali serbatoi di accumulo, nei quali viene immagazzinata l'acqua calda<sup>84</sup>.

La centrale idrica ha, solitamente, dimensioni contenute ma la sua ubica-

zione deve tenere in considerazione il punto di allaccio alla rete pubblica e garantire la funzionalità degli impianti e la loro manutenzione, assicurando uno spazio di almeno 0,6 m intorno agli apparecchi.

Le singole utenze sono raggiunte e alimentate dalla tubatura dell'acqua fredda, da quella dell'acqua calda e dall'eventuale ricircolo<sup>85</sup>; i materiali utilizzati sono generalmente l'acciaio zincato, il rame, il polietilene e il multistrato, con diametri dipendenti dalle utenze (tab. 3) a cui va sommato lo spessore della coibentazione, obbligatorio per legge<sup>86</sup> per quanto riguarda le tubazioni di acqua calda e ricircolo ma consigliabile, per evitare fenomeni di condensa superficiale, anche per le tubazioni dell'acqua fredda. Le colonne montanti e i relativi cavedi sono solitamente posti in prossimità dei servizi da alimentare; gli stessi condotti sono predisposti, in genere, per ospitare anche le colonne di scarico. La norma UNI CIG 7129/92 prescrive che le tubazioni sottotraccia possono essere installate nelle strutture in muratura, nei pavimenti, nelle pareti perimetrali, nei tramezzi, nel soffitto, purché vengano posate diritte e in squadra. Devono essere collocate a una distanza non maggiore di 200 mm dagli spigoli

paralleli alla tubazione, a eccezione dei tratti terminali per l'allacciamento alle apparecchiature, i quali debbono avere il minore percorso possibile. L'intera tubazione va annegata in uno strato di malta di cemento con spessore non inferiore a 20 mm.

La formazione della traccia può essere evitata solo per le tubazioni a pavimento, sempre che queste poggino direttamente sulla caldana del solaio e siano ricoperte con almeno 20 mm di malta di cemento.

È inoltre consigliato disporre i bagni vicini, in modo da utilizzare la stessa colonna montante verticale; il vaso WC andrebbe montato in prossimità della colonna di scarico, in modo che la tubazione orizzontale sia contenuta nello spessore della soletta.

Gli scarichi sono costituiti da una rete di tubi all'interno dei quali fluiscono le acque di rifiuto.

Si distinguono in:

- scarichi interni agli edifici per acque grigie e acque nere;
- scarichi esterni (fogne), per acque grigie e acque nere, cui si possono sommare le acque bianche (meteoriche).

La loro funzione è quella di consentire la rapida e completa evacuazione delle acque di rifiuto, di modo che non si vengano a creare depositi

85. La tubatura di ricircolo rappresenta un circuito chiuso entro cui l'acqua calda viene mantenuta in costante circolazione, consentendone un'immediata erogazione anche in utenze lontane dalla sua centrale di produzione.

86. Legge del 9 gennaio 1991, n. 10, "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso nazionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia".

87. Le sovrappressioni sono la causa di rigurgiti dai sifoni, mentre le depressioni sono quei fenomeni che fanno mancare il tappo idraulico, determinando l'esalazione di sostanze mefitiche.

maleodoranti. Per ottenere tale prestazione, le condotte di scarico devono impedire il passaggio di aria e microbi dalle tubazioni agli ambienti abitati e devono essere installate in modo che i movimenti causati da dilatazioni, contrazioni o assestamenti del fabbricato non diano luogo a perdite. I materiali utilizzati per la realizzazione delle reti di scarico sono il polietilene, il polipropilene, il PVC, la ghisa, il calcestruzzo e il grès e il loro dimensionamento dipende dalla tipologia e dal numero di utenze collegate ad uno stesso canale.

La posa dei tubi, quando orizzontale, deve avvenire con una pendenza compresa tra l'1 e il 5% (la pendenza ottimale consigliata è del 2%), in modo da agevolare lo scorrimento dei reflui; se sospese a parete o a soffitto, le tubature sono invece sostenute da canaletti in lamiera zincata, ancorati al soffitto mediante braccialetti poggiati su mensole di sostegno, mentre, qualora vengano installate in posizione verticale, sono sostenute da appositi collarini fissi o scorrevoli.

Le reti di scarico devono essere ventilate, collegate con l'esterno, di modo che non si creino sovrappressioni o depressioni in rete, tali da compromettere il normale funzionamento<sup>87</sup>.

Fig. 46: Impianto con pompa di calore a sonda geotermica orizzontale.



Tab. 3: Diametro delle tubazioni in funzione degli appartamenti serviti.

Appartamenti serviti N.	Diametro esterno tubazioni acqua calda o fredda	
	non coibentate (mm)	coibentate (mm)
1 - 5	25	75
5 - 10	50	100
10 - 20	60	110
20 - 50	80	130

## L'impianto elettrico

La struttura di un tipico impianto elettrico a bassa tensione è composta principalmente da tre componenti:

- i quadri elettrici che materializzano i nodi (punti in cui convergono più circuiti terminali o intermedi) di smistamento dell'energia, in cui sono alloggiati i dispositivi di protezione e controllo dell'impianto;
- le condutture elettriche che connettono tra loro diversi quadri, o che collegano al quadro gli apparecchi utilizzatori;
- gli apparecchi utilizzatori terminali, collegati in modo fisso o mobile mediante connessione di tipo presa-spina<sup>88</sup>.

L'impianto è generalmente connesso alla rete di alimentazione pubblica tramite un contatore fornito dall'azienda erogatrice, in bassa oppure in media tensione, attraverso una cabina di trasformazione. In alternativa, l'impianto può essere fornito di energia prodotta in maniera autonoma o mista.

Ne fanno parte tutti gli apparecchi fissi alimentati con presa elettrica, compreso l'impianto di messa a terra. Al contrario non si considerano

facenti parte dell'impianto elettrico gli apparecchi utilizzatori connessi tramite presa e spina.

Nella generalità dei casi, i cavi elettrici (conduttori) vengono annegati nella muratura, all'interno di tubazioni di plastica flessibile, con una disposizione perfettamente orizzontale o verticale, mai obliqua.

Gli apparecchi di comando (interruttori, deviatori, prese, ecc.) sono montati in apposite scatole a parete, cui fanno capo i conduttori. Gli impianti realizzati in questa maniera vengono definiti "sotto traccia", con tubi che corrono sotto pavimento, nella parete e nel soffitto. Per l'esecuzione degli impianti sotto pavimento, sia quelli elettrici che gli ausiliari e telefonici, si ritengono sufficienti 5 cm di sottofondo; tenendo in considerazione la presenza degli altri impianti (idrico-sanitario e di riscaldamento), si richiedono quindi in totale, almeno, circa 7-8 cm di sottofondo.

Tuttavia, gli impianti elettrici possono essere posati anche a vista, utilizzando apposite "canaline" (profilati), applicati principalmente alla base delle pareti (fig. 47), con funzione estetica e pratica (battiscopa), o al-

88. G. FIGINI, U. TORELLI, *Impianti elettrici civili: Manuale di applicazione delle Norme CEI*, Hoepli, Trento 2004, p. 128.

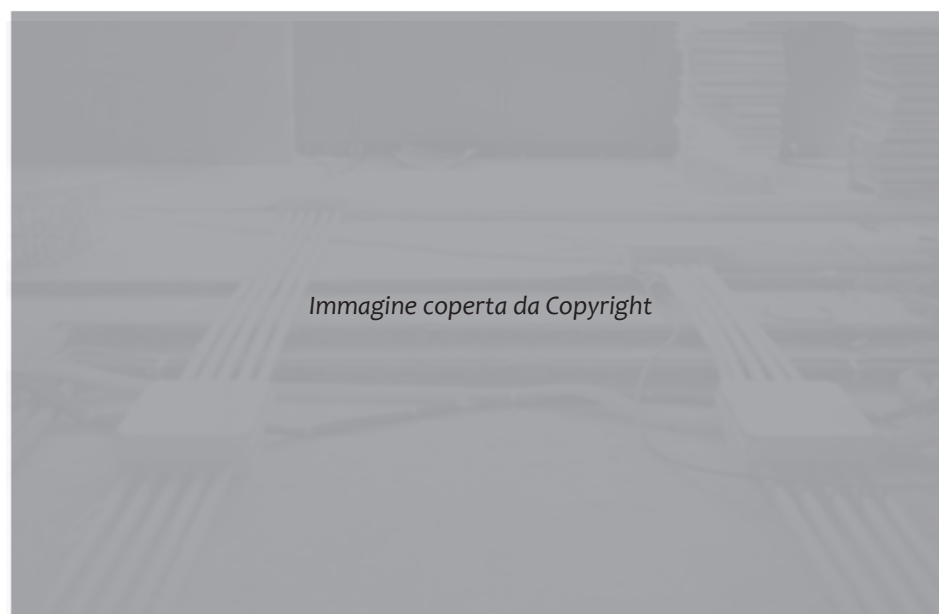
loggati in controsoffitti o pavimenti galleggianti.

Un'altra modalità di posa, diffusa per lo più in uffici e scuole, prevede il passaggio degli impianti elettrici sottopavimento (fig. 48), con le prese per l'energia e il telefono che affiorano dal piano di calpestio, tramite torrette. Questo tipo d'impianto consente di installare le prese anche lontano dalle pareti, garantendo una maggiore libertà di disposizione interna.

Fig. 47: Canalina a battiscopa per il passaggio dei cavi elettrici.



Fig. 48: Impianti elettrici a pavimento.



### 3.4 Considerazioni su comfort e riadeguamento impiantistico

Per attuare un intervento di riqualificazione efficace e rispettoso delle caratteristiche storico-culturali di un bene architettonico, lo studio e la comprensione profonda del suo comportamento termico e delle sue interazioni con l'ambiente circostante diventano un presupposto fondamentale.

Le particolarità esaminate a inizio capitolo mettono in evidenza la necessità di approcciarsi al costruito storico in maniera critica, partendo dalla consapevolezza che tali edifici sono stati realizzati in un periodo nel quale le esigenze dell'utente erano molto diverse da quelle odierne. Il concetto stesso di comfort risale alla fine del secolo scorso, quando il raggiungimento di un sufficiente grado di innovazione tecnologica ha permesso all'uomo di controllare il microclima interno agli ambienti confinati, demandando completamente alle macchine il compito di fornire le giuste condizioni di benessere termoisometrico. Ma se in una nuova

costruzione la progettazione degli elementi impiantistici va di pari passo con quella architettonica, nel caso di riadeguamento di un vecchio edificio diventa spesso difficoltoso inserire nuovi elementi tecnologici, del tutto estranei alla fabbrica.

Allo stesso tempo, risulta ingenuo pensare di raggiungere ottimali condizioni di benessere col solo riutilizzo di quei primi sistemi di riscaldamento e raffrescamento che hanno caratterizzato il periodo preindustriale e che tuttora si incontrano in alcuni edifici storici.

Tuttavia essi rappresentano un importante esempio di cultura materiale, entrando a far parte, di diritto, della categoria dei beni culturali da tutelare e conservare.

Il professionista che realizza un intervento di riqualificazione impiantistica in un edificio storico dovrà quindi agire su diversi fronti, il primo dei quali dovrà essere l'involucro.

Dopo aver analizzato le criticità di quest'ultimo, sotto il profilo termo-



igrometrico, risulta infatti evidente come agire su di esso, coibentandolo e eliminando l'eventuale umidità presente nelle murature, possa migliorare le condizioni microclimatiche interne e avere come conseguenza un ridimensionamento della potenza degli impianti di riscaldamento e raffrescamento.

In secondo luogo, diventa indispensabile cercare di recuperare l'originaria funzione degli impianti preesistenti e, qualora questi non fossero pienamente efficienti, prevedere l'affiancamento di nuove tecnologie, compatibili e integrabili con quelle storiche.

Nel caso in cui riattivare la funzionalità dei vecchi impianti non fosse possibile (o non fosse economicamente vantaggioso) si ritiene però comunque sconsigliato dismetterli o sostituirli; piuttosto, considerato il loro valore di testimonianza storica utile alla comprensione dell'evoluzione tecnologica e sociale nel corso dei secoli, diventa indispensabile restaurarli e lasciarli *in situ*.

Infine, per quanto concerne le indispensabili aggiunte impiantistiche, il progettista dovrà operare in maniera tale da integrarle nella fabbrica, nel pieno rispetto delle sue caratteristiche estetiche e formali.



## 4 REALIZZAZIONE E INTEGRAZIONE DEGLI IMPIANTI NELL'ARCHITETTRA STORICA

### 4.1 Il riadeguamento impiantistico nella moderna teoria del restauro

Secondo il Vocabolario degli Accademici della Crusca, l'impianto (dal latino *implanto*, -are) è "il primo assetto e il primo fornimento necessario" ad una qualsivoglia attività, indispensabile, quando riferito ad una costruzione, "per poterla decentemente abitare"<sup>2</sup>.

Ma oltre all'*utilitas* vitruviana, gli impianti recano in sé una propria istanza storica ed estetica che comporta, inevitabilmente, un'analisi che dovrà andare ben oltre la compatibilità fra patrimonio storico-culturale, impianti e comfort<sup>3</sup>.

Appare quindi la complessità di operare un restauro corretto che permetta la fruizione del bene (rendendone possibile il godimento da parte dell'utente) e al contempo ne conservi e trasmetta al futuro la testimonianza storica.

L'intervento di restauro ha, in effetti, mutato nel tempo le sue finalità, focalizzandosi non più sulla mera conservazione del bene abitativo, ma cercando, in primo luogo, di assicurare all'utente un adeguato livello

di comfort, accessibilità e sicurezza, coadiuvato dalle moderne tecnologie impiantistiche.

Capita spesso, tuttavia, che la ricerca del soddisfacimento dei requisiti prestazionali e il rispetto dei vincoli normativi portino in secondo piano la tutela di quei requisiti storico-conservativi fondamentali in ogni atto di restauro, affinché questo possa definirsi tale, scongiurando l'eventualità di ridursi ad intervento di generico riuso di un edificio preesistente.

Per ottenere un completo recupero del bene storico, e quindi della sua funzionalità, diventa indispensabile procedere, preventivamente, con un'analisi conoscitiva capace di indirizzare il progettista verso la destinazione d'uso più consona.

A partire dalle dovute indagini storico-archivistiche e bibliografiche, nonché da un accurato rilievo delle diverse componenti, sia materiche che tecniche e strutturali, si potrà procedere ad una "lettura" del manufatto che porterà all'individuazione «delle qualità artistiche del monumento,

1. Voce "impianto" in Vocabolario degli Accademici della Crusca, vol.VIII, Le Monnier, Firenze 1894, pp. 230-231.

2. Voce "impianto" in N. TOMMASEO, B. BELLINI, uovo Dizionario della Lingua Italiana, vol. II, parte II, UTET, Torino-Napoli 1869.

3. F. SCOPPOLA, *I requisiti richiesti e le diverse tipologie impiantistiche*, in G. CARBONARA (diretto da), op. cit., p. 352.

della spazialità che esprime, della poetica che l'ha promosso, dei caratteri linguistici originali, ed, in sostanza, dell'effettivo "valore" intrinseco dell'opera, sostenuto da un meditato giudizio critico»<sup>4</sup>. La consapevolezza di tale valore aiuterà il progettista nell'individuazione della strada da seguire per l'adeguamento del bene alle attuali condizioni di benessere o nell'identificazione di quella che è la "vocazione" dell'oggetto da restaurare, una nuova funzione rispettosa della sua storicità e dei suoi valori figurativi.

«Il restauro di un edificio non può quindi limitarsi alle sole operazioni di consolidamento e protezione, al puro mantenimento dello stato materiale, ma deve andare ben oltre, garantendo la vita del manufatto per mezzo di un compatibile utilizzo»<sup>5</sup>.

L'eventuale nuova destinazione d'uso dovrà quindi essere frutto di un'attenta osservazione e comprensione del bene e non, come spesso succede, imposta a priori dal committente; in quest'ottica, il rilievo degli spazi, dei materiali e degli impianti segnerà la via da percorrere per «la restituzione dell'opera alla funzione»<sup>6</sup>.

Si potranno, a questo punto, avanzare le proposte di riadeguamento tecnologico necessarie alla fruizione

dell'edificio, in relazione alla sua modificabilità: la conoscenza delle peculiarità e dei caratteri della fabbrica consentirà di rapportare fra loro requisiti e prestazioni attese. In questa fase sarà bene, comunque, tener presente che un edificio storico, per sua natura, difficilmente riuscirà a raggiungere prestazioni pari a uno contemporaneo, realizzato con tecniche e materiali naturalmente più performanti.

Bisognerà quindi accettare risultati modesti, che non mirano tanto ad allinearsi con gli standard imposti dalla normativa, quanto ad un ragionevole miglioramento prestazionale.

Il rispetto delle murature storiche e dei prospetti, lo spessore dei solai e gli ambienti ridotti rendono inoltre difficile l'innervamento impiantistico in questa tipologia di edifici che, tuttavia, risultano caratterizzati da precarie condizioni di comfort e igiene, tipiche del periodo preindustriale, proprio a causa del basso tasso impiantistico.

L'adeguamento normativo e igienico-sanitario prevede l'inserimento di nuove installazioni ove assenti, o in sostituzione di quelle obsolete e mal funzionanti, mettendo a rischio, per i mutati carichi, la statica dell'intera fabbrica, qualora non si attuasse

4. R. M. DAL MAS, *Progettazione ed esecuzione*, in *Restauro architettonico e impianti* vol 3.1, (diretto da) G. CARBONARA, UTET, Torino 2001, p. 21.

5. C. CAMPANELLA, *Scelte, stime e costi a confronto*, in G. CARBONARA (diretto da), op. cit., p. 259.

6. *Ibidem*.

7. C. BRANDI, *Teoria del restauro*, Einaudi, Torino 1977, p. 4.

8. Carta del Restauro, 1972, Allegato d: "Istruzioni per la tutela dei centri storici".

un'attenta progettazione.

Altri danni collaterali sono da ascrivere alla scelta e gestione degli impianti che, se non oculate, potrebbero andare a discapito delle caratteristiche termo-igrometriche dei materiali costruttivi originari, nonché degli eventuali elementi decorativi di pregio (è il caso dei depositi di polvere causati da alcuni sistemi radianti o dei problemi dovuti ai movimenti d'aria e cambiamenti repentini di temperatura tipici dei sistemi *split*) annullando, di fatto, gli effetti benefici che potrebbe avere nella conservazione degli stessi.

Il maggiore impatto rimane, tuttavia, quello visivo, nonostante negli ultimi anni l'industria si stia operando nella realizzazione di macchinari di dimensioni ridotte e terminali esteticamente integrabili in un contesto storico.

La complessità di questa tipologia di intervento e la rapida evoluzione delle soluzioni tecnologiche immesse sul mercato rende necessario rifarsi al principio, già da tempo affermato nel campo del restauro, del "caso per caso".

In generale, il riadeguamento impiantistico è accettato dalla moderna teoria del restauro, qualora sia indispensabile a ripristinare l'efficienza di una fabbrica. Secondo Brandi «il

ristabilimento della funzionalità, seppure rientra nell'intervento di restauro, non ne rappresenta in definitiva che un lato o secondario o concomitante, mai quello primario e fondamentale che ha riguardo all'opera d'arte in quanto opera d'arte»<sup>7</sup>.

Ancora, nella Carta del Restauro del 1972 viene approfondita la distinzione fra risanamento di un'emergenza monumentale e risanamento dell'edilizia storica minore: mentre nel primo caso l'esigenza principale è quella di conservare qualsiasi testimonianza storica caratterizzante l'edificio (conservazione integrale), in presenza di "generiche preesistenze"<sup>8</sup> si dovrà cercare di agevolare le esigenze abitative contemporanee, pur limitando le sostituzioni, anche solo parziali, degli elementi ormai obsoleti e non più utilizzabili.

Disporre di un sistema impiantistico funzionale ed efficiente diventa quindi un' "esigenza abitativa" della società moderna, da perseguire, sempre e comunque nel rispetto dei caratteri storico-culturali dell'edificio.

In linea di principio, Carbonara suddivide i possibili interventi di riadeguamento impiantistico in due categorie, in base alla loro invasività, fornendo per ognuna di esse delle indicazioni

operative:

«a) se l'adeguamento funzionale non richiede sacrifici particolari a danno delle preesistenze, piccoli adattamenti consentiranno la trasformazione indolore sul piano dei caratteri della fabbrica, quasi un "completamento" incanalato nell'alveo del processo formativo dell'architettura;

b) se l'adeguamento funzionale e impiantistico comporta grandi incisioni e mutilazioni nel corpo stesso della costruzione, bisognerà valutare ed, eventualmente, ridimensionare le prestazioni richieste, in ogni caso sarà necessario riferirsi alle tecniche e modalità proprie del restauro monumentale, non trascurando il dovere di promuovere la qualità architettonica delle aggiunte indispensabili. Il criterio che deve essere assunto è di recuperare l'efficienza degli impianti elevandoli da problema tecnico a componenti formali, trasferendoli dal livello sintattico al livello semantico dell'architettura, scegliendo di volta in volta se occultare, esporre o inalveolare i singoli elementi tecnologici»<sup>9</sup>.

Da quanto suggerito dallo studioso, risulta evidente la necessità di procedere al doveroso riadeguamento impiantistico tramite un'oculata integrazione delle nuove aggiunte tec-

nologiche con le preesistenze, così da non snaturarle e sminuirne la storicità. I criteri da osservare per perseguire tale scopo sono quelli propri del restauro, nella sua accezione più generale.

Il "minimo intervento" suggerisce di attenersi allo stretto necessario, ribadendo come un bene storico non possa e non debba, come già anticipato, assicurare le medesime prestazioni garantite da una nuova realizzazione, supplendo a questa "mancanza" con il suo valore culturale e testimoniale.

Il principio della "reversibilità" degli interventi, rifiutando l'esecuzione di qualsiasi tipo di demolizione delle murature o dei pavimenti, promuove l'utilizzo di cavedi e condotti già presenti nella fabbrica o, in assenza di essi e in accordo col principio della "distinguibilità", la realizzazione di impianti a vista.

Infine, trattandosi di un atto di cultura, il restauro impiantistico dovrà essere mosso dalla ricerca della minima "invasività" e del rispetto storico, con la consapevolezza di poter operare entro margini di libertà relativamente limitati<sup>10</sup>.

9. G. PALMERIO, *Premesse teoriche e di metodo*, in G. CARBONARA (diretto da), op. cit., p. 66.

10. Ivi, pp. 66-79.

11. C. CAMPANELLA, op. cit., pp. 261-266.

12. C. CAMPANELLA, *Nuovi impianti antichi edifici. Approccio al progetto impiantistico nell'esistente*, in *Recupero e Conservazione* n. 103 e 104 (2013), Edizioni Delettera, pp. 52-59.

## 4.2 La progettazione degli impianti di un edificio storico

Le caratteristiche generali degli impianti scelti per dar compimento a una fabbrica storica vanno delineate, per quanto riguarda caratteristiche tecniche e posizionamento dei macchinari, già in fase di progettazione esecutiva: il tecnico abilitato ha il compito di produrre la necessaria documentazione (relazione tecnica, capitolato, computo metrico estimativo, ecc.) e i relativi elaborati grafici, anche di dettaglio. In particolare, la relazione tecnica serve a specificare, oltre alle caratteristiche tecniche dei componenti impiantistici, anche l'ubicazione delle centrali tecnologiche nonché le dimensioni dei locali tecnici, il percorso delle varie tubature e cavidotti, le quote dei pavimenti, la presenza di canne fumarie e cavedi eventualmente utilizzabili, la presenza di impianti preesistenti, la disponibilità di controsoffitti.

Christian Campanella propone la redazione di un elaborato grafico capace di consentire una lettura immediata di quelli che egli definisce “punti di movimento” e punti di “vincolo”,

identificabili all'interno del manufatto<sup>11</sup>. I “punti di movimento” sono rappresentati da tutti i possibili spazi, orizzontali e verticali, facilmente utilizzabili per l'inserimento impiantistico; al contrario, i “punti di vincolo” sono identificabili con le zone più critiche e rigide dell'edificio, da trattare con particolare sensibilità o da escludere del tutto dal progetto di riadeguamento tecnologico<sup>12</sup>. Una delle principali carenze dell'edilizia storica è rappresentata dalla presenza di sistemi di riscaldamento non idonei e insufficienti per il soddisfacimento delle esigenze attuali. I vecchi sistemi a camino o stufa, eventualmente con canalizzazioni per il riscaldamento di più ambienti, richiedono un'alimentazione (e quindi una presenza) continua che mal si adatta all'odierno stile di vita. Tuttavia, la prassi ormai consolidata di installare impianti di riscaldamento centralizzato può risultare dannosa per gli edifici storici. Contrariamente a quanto succedeva con i tradizionali metodi di riscaldamento, al moderno impianto viene richiesto

il mantenimento di una temperatura costante che, generalmente, supera i 20°C e che, nel lungo periodo, può causare un degrado fisico-chimico nei materiali in opera, specialmente in quelli lignei, costituenti capriate, travature dei solai, infissi. Per arginare tale fenomeno sarebbe quindi opportuno, negli edifici in muratura con orizzontamenti tradizionali in legno, regolare il livello di calore a non più di 16-18°C, che, in relazione all'abbigliamento dell'utente e all'attività svolta, possono risultare interni ai valori di comfort stabiliti dalla norma UNI EN ISO 7730. Durante la realizzazione di un nuovo impianto centralizzato, si incorre immancabilmente nel problema del passaggio dei tubi e della collocazione dei corpi radianti. Un'opzione possibile è quella del riutilizzo dei componenti esistenti, che però richiede alcune precauzioni:

- la verifica dell'effettiva resistenza agli sforzi d'esercizio che le tubature possono sopportare, da effettuare con una prova a pressione;
- stabilire se può risultare produttive (e ammissibile secondo la normativa) mantenere l'apparecchiatura di alimentazione nel luogo originario, o cambiarne l'ubicazione;
- programmare la sostituzione delle tubazioni ammalorate, sostituendole

con tubi di rame esterni e con giunzioni a valvola;

- cercare, per quanto possibile, di preservare l'originale percorso delle condotte e, nel caso di modifiche, evitare la demolizione o la realizzazione di tracce su muri, solai, pavimenti.

Nel caso di realizzazioni *ex novo*, diventa opportuno cercare di rendere il sistema di distribuzione meno invasivo possibile, progettando canali ad anello (a circuito chiuso) in rame<sup>13</sup>, rigorosamente entro apposite canalette a vista, e limitando al massimo le grappe di ancoraggio ai muri; gli attraversamenti nei solai e nelle murature dovranno essere studiati con particolare attenzione e, se possibile, evitati canalizzando preferibilmente i collegamenti verticali entro cavedi e canne fumarie in disuso, quelli orizzontali in corrispondenza di zoccoli, battiscopa, soglie e imbotti di porte e finestre.

Nel caso di impianti centralizzati ad acqua, è consigliato evitare di posizionare i radiatori in pareti decorate da affreschi o stucchi: il moto convettivo generato dal loro funzionamento potrebbe favorire il deposito di polveri sulla parete.

In generale, in questa eventualità o in presenza di oggetti di pregio, è op-

13. «I tubi di rame sembrano un prodotto assai utile nelle ristrutturazioni, specie degli edifici storici: consentono sezioni più piccole, mancando il rischio della corrosione; hanno minor peso; sono forniti in rotoli e non sono rigidi, quindi possono essere introdotti e lavorati agevolmente anche in spazi angusti; sono facilmente adattabili, anche a situazioni impreviste, per la loro deformabilità a freddo; possono essere applicati quasi come normali cavi elettrici; sono alloggiabili in semplici battiscopa forniti di carter; consentono impianti di riscaldamento a bassa temperatura con un alto livello di comfort; assorbono bene i colpi d'ariete» G. CARBONARA, *Restauro, architettura e impianti: introduzione al tema*, in G. CARBONARA (diretto da), op. cit., p. 11.



portuno fare riferimento alla norma UNI 10829 “Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione” utile alla definizione dei parametri termoigrometrici da raggiungere e mantenere per la conservazione dei manufatti e degli elementi di pregio.

In questi casi diventa quindi opportuno optare, preferibilmente, per la collocazione sotto la finestra, quando possibile, o in un'altra parete considera idonea, sempre e comunque ad un'altezza di almeno 20 cm dal pavimento, per consentire il flusso dell'aria e per la pulizia.

I terminali devono inoltre essere poggiati al pavimento tramite idonei e stabili supporti, mai appesi a staffe infisse nel muro che, a causa del peso sostenuto, potrebbero lesionare la struttura. Solamente nel caso di rimozione della pavimentazione, i tubi dell'impianto termico possono trovare alloggiamento nella caldaia, qualora lo spessore lo consenta; al contrario, con spessori insufficienti, si può procedere all'installazione di un sistema a pannelli radianti a bassa temperatura. Le soluzioni di articolazione dell'impianto sono ormai numerose e variegata: si può ricorrere, in base alla convenienza, ad un unico metodo (termoidraulico, ad aria, di

condizionamento, ecc.) oppure abbinare più sistemi, specialmente nel caso di edifici articolati o con particolari destinazioni d'uso, capaci di lavorare ciascuno in maniera autonoma e circoscritta, in modo da rendere possibile un uso diversificato degli stessi, a seconda delle esigenze.

In questo caso, si potrebbe utilizzare un'unica centrale, in grado di servire i singoli macchinari con sottosezioni di regolazione.

Il posizionamento della centrale termica non sempre risulta semplice all'interno di un contesto tutelato, essendo soggetta anche alle norme sulla sicurezza. Nel caso di alimentazione a gas metano, per esempio, è preferibile che stia su un terrazzo non in vista o in un sottotetto ben aerato. È comunque consigliabile collocarla fuori dall'edificio e lontano da esso, qualora se ne presenti la possibilità. Questa soluzione è la più adatta anche in caso di utilizzo di pompe di calore. Tuttavia la realizzazione di un impianto centralizzato in un edificio di pregio storico-artistico può, talvolta, presentare difficoltà tali da risultare incompatibile con la fabbrica, rendendo necessario l'utilizzo di elementi isolati quali i radiatori e stufe elettriche o a gas. I primi sono pratici per la facilità di posa in opera, ma

particolarmente onerosi per i costi di esercizio, producendo calore tramite l'energia elettrica.

Al contrario, i termosifoni a gas risultano vantaggiosi dal punto di vista dei consumi, con un rendimento pari all'80%, ma sconvenienti dovendosi raccordare all'esterno tramite fori nella muratura o nel solaio, per consentire il tiraggio.

Lo stesso inconveniente rende difficile l'installazione di stufe a legna o *pellets*, nel caso non siano presenti canne fumarie in disuso.

L'impianto di climatizzazione risulta, a tutt'oggi, il sistema più efficiente per il controllo della temperatura negli edifici storici, consentendo la regolazione automatizzata anche di altri fondamentali parametri quali l'umidità relativa e la purezza dell'aria, necessaria al raggiungimento di un adeguato livello di comfort ambientale e fisiologico.

Particolarmente valida nel caso di edifici ad alta percentuale di utenti (quali musei, teatri, uffici, biblioteche, ecc.), la climatizzazione favorisce la conservazione di affreschi, dipinti, arredi, pavimentazioni e strutture lignee.

Come gli altri impianti centralizzati, anche quello di climatizzazione presenta la necessità di ampi spazi ca-

paci di contenere e, in qualche modo rendere meno visibili, le apparecchiature per la produzione del calore e del raffrescamento, nonché per il passaggio delle condotte coibentate. Il problema del miglioramento delle condizioni termoigrometriche non è però l'unico da affrontare nel caso di riadeguamento di una vecchia fabbrica: sovente si incontra la necessità di operare un completo rifacimento dell'impianto idrico-sanitario, non solo per via di un adeguamento alle odierne esigenze di benessere, ma soprattutto per porre rimedio alla precarietà dei collegamenti dei sanitari alla rete e ai fenomeni di corrosione e scarsa tenuta di giunture in piombo, di sifoni e valvole, dovuti all'usura.

Se, come precedentemente affermato, è doveroso rilevare i vecchi impianti per ricostruire la storia dell'edificio, nel caso degli apparati idrici e di scarico diventa assolutamente necessario individuare la disposizione degli antichi elementi di distribuzione in modo da poter procedere alla sostituzione delle vecchie condutture senza procurare ulteriori lacerazioni.

Spesso, inoltre, ci si trova dinanzi all'esigenza di inserire nuovi apparecchi sanitari in vecchie fabbriche

14. Legge n. 46 del 5 marzo 1990, "Norme per la sicurezza degli impianti".

di pregio. In questo caso le soluzioni vanno studiate in base alle esigenze dell'utenza (privata o pubblica) e in base agli spazi a disposizione.

Risulta meno complicato adattare le architetture più complesse, quali gli edifici pubblici o le residenze nobiliari, piuttosto che la modesta edilizia minore.

La disponibilità di ambienti, spesso inutilizzati, riscontrabile all'interno di un edificio più ampio consente infatti di scegliere la migliore ubicazione dei nuovi servizi, preferibilmente in prossimità dei disimpegni comuni (scale, ingressi, corridoi), che, avendo il pregio di essere sovrapposti fra loro, permettono la realizzazione di colonne di adduzione e scarichi verticali.

In presenza di tali condizioni è possibile ricorrere all'utilizzo di moduli prefabbricati, caratterizzati da un modesto ingombro e non ammorsati alla struttura della fabbrica, cui si collegano solamente tramite l'allaccio idrico e il condotto di scarico fognario. La nuova tubazione dell'adduzione, di dimensioni ridotte, potrà passare inosservata anche in facciata, qualora venga fatta passare lungo un idoneo percorso, preferibilmente nascosto. Più problematica è, senza dubbio, la collocazione del nuovo collettore di scarico.

Le Norme per la sicurezza degli impianti<sup>14</sup> ed il successivo Regolamento n. 447, del 6 dicembre 1991, rendono difficile il riadeguamento degli antichi collettori fognari eventualmente presenti nell'edificio. I condotti, tradizionalmente in terracotta o, in tempi più recenti, in piombo, convogliavano i liquami verso un pozzo nero, svuotato periodicamente.

La colonna era priva di ventilazione e mancavano i pozzetti a sifone.

Pur in presenza di tali carenze tecnologiche, in base ai già citati principi del restauro, si rende necessario sfruttare questi impianti, prima di procedere all'eventuale realizzazione di nuove condotte. Per fare ciò è necessario tenere presente come, per via dell'inserimento dei servizi igienici in epoca successiva alla realizzazione di molte fabbriche storiche, spesso si riscontra la presenza di condotti ricavati all'interno delle murature e non perfettamente verticali; condizione, questa, che rendeva necessaria la realizzazione di giunture sigillate con malta o piombo fuso.

La lacerazione veniva poi colmata con scaglie di pietra o mattoni in foglio. Nonostante la traccia venisse poi intonacata e tinteggiata, un accurato rilievo può consentire l'individuazione dell'antico canale, la sua ri-

apertura e la successiva sostituzione dell'apparato con una nuova tubatura coibentata.

Qualora non fosse possibile agire sui condotti preesistenti, sarà necessario realizzare un nuovo condotto da far passare all'interno dell'edificio, attraverso vani di servizio e studiando con particolare accortezza il passaggio attraverso i solai, o, preferibilmente, all'esterno del fabbricato, su una facciata secondaria. Per quanto riguarda gli impianti elettrici, la loro aggiunta successiva alla costruzione è spesso testimoniata dalla presenza di fili a treccia, protetti da un involucro in canapa, esterni alla parete e fissati ad essa tramite isolatori di porcellana (figg. 49-53).

Tale conformazione impiantistica non presenta un adeguato grado di sicurezza contro incendi e infortuni, né tantomeno risulta in grado di supportare gli utilizzi energetici oggi necessari; tuttavia, se si dovesse realizzare un impianto capace di reggere la grande potenza elettrica richiesta dalle nuove esigenze di sicurezza (installazione salvavita), tecnologiche (installazione contatori, valvole magnetotermiche, deviatori, scatole di derivazione, linee protette per sistemi dall'arme, ecc.) e di comfort (apparecchiature di climatizzazione,

elettrodomestici, ecc.), la dimensione dei cavidotti renderebbe necessaria la realizzazione di ampie tracce sottomurarie, anche in presenza di decorazioni, andando ad indebolire irrimediabilmente la struttura della fabbrica.

Come per l'adeguamento degli altri impianti, anche per quello elettrico diventa necessario sfruttare i passaggi verticali già presenti e, ove possibile, realizzare controsoffitti o far passare i cavidotti sotto pavimento, per facilitare le operazioni di manutenzione o eventuale sostituzione. In quest'ultimo caso si potrà optare per la realizzazione di torrette a pavimento, dotate di prese, per evitare ulteriori interventi sulle pareti.

Per limitare i varchi murari è consigliabile far passare le tubazioni contenenti i cavi, per quanto possibile, attraverso gli imbotti di porte e finestre, sotto le soglie e i davanzali, lungo eventuali cornici o negli spigoli fra solaio e muratura.

Nel caso tali accorgimenti non siano realizzabili, si devono realizzare fori e varchi limitati, esclusivamente con l'impiego di un trapano a rotazione, capace di circoscrivere la lacerazione. Si deve, inoltre, agire con particolare sensibilità e cautela in presenza di superfici decorate da affreschi,

15. S. DELLA TORRE, V. PRACCHI, *Le chiese come beni culturali. Suggestioni per la conservazione*, Mondadori, Electa, Milano 2003, p. 83.

stucchi o altre presenze storiche.

La norma CEI 64-15, “Impianti elettrici negli edifici pregevoli per rilevanza storica e/o artistica”, suggerisce il ricorso a linee completamente esterne alla muratura, protette da apposite canalette in PVC, necessarie ad assicurare all’impianto un adeguato grado di sicurezza.

La resa estetica rimane il punto debole di questo sistema.

In questo caso, forse più che in altri, il progettista deve allontanarsi dalle regole prescrittive e dalle proposte commerciali, «a favore di una disposizione continua ed aperta alla ricerca della soluzione più congruente al caso specifico»<sup>15</sup>, anche tramite la progettazione di nuove protezioni elettricamente isolate, più gradevoli esteticamente e maggiormente integrabili nel contesto storico-architettonico.

Il progetto dell’impianto elettrico va curato nei particolari: i percorsi seguiti dai cavidotti devono essere indicati sia in pianta che in sezione, così come le derivazioni, i quadri di settore, gli impianti di emergenza, gli interruttori e le prese; ogni passaggio attraverso muri o solai deve essere preventivamente ben ponderato e indicato negli elaborati di progetto.

Anche l’inserimento di un ascensore

Fig. 49: Isolatore fissato in parete con attacco a vite.

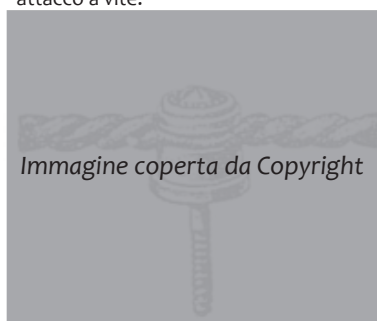


Fig. 50: Isolatori a carrucola su supporto in ferro.



Fig. 51: Cavo elettrico binato a cordoncino.



Fig. 52: Interruttore



Fig. 53: Sistema di sostegno dei cavi elettrici.



all'interno di una fabbrica storica, benché spesso risulti necessario, è sempre problematico.

Secondo le regole imposte dal D. M. n. 587 del 9 dicembre 1987, "Adeguamento degli ascensori elettrici alla normativa europea", gli impianti di risalita devono essere automatici, con struttura realizzata in tralicci d'acciaio o calcestruzzo armato, dotati di un vano di contenimento del sistema di sollevamento abbastanza ampio da permettere l'alloggiamento di porte di scorrimento doppie e per consentire un agevole accesso alle persone diversamente abili.

È inoltre opportuno evitare la demolizione di volte e solai, cercando di sfruttare la disponibilità di locali di servizio sovrapposti.

Anche il collocamento della cabina motori potrebbe risultare arduo.

La migliore soluzione potrebbe essere la realizzazione di un ascensore esterno alla fabbrica o, in alternativa, l'utilizzo di un sistema elevatore oleodinamico che, al contrario di quello tradizionale a motore elettrico (che sfrutta il trascinarsi dei contrappesi), elimina attriti e vibrazioni; gli ascensori di questo tipo, sia con l'azione diretta del pistone che solleva l'abitacolo, che con quella indiretta della seggiola che scorre su guide

lateralmente, permettono di limitare le altezze degli extracorsi e di disporre la cabina motore anche lontano dal dispositivo.

Su qualsiasi tipologia di apparecchio ricada la scelta, in ogni caso la struttura portante deve essere indipendente dall'orditura strutturale della fabbrica, con i macchinari montati su perni isolatori, per limitare la propagazione delle vibrazioni.

Le fondazioni non devono essere a contatto con quelle dell'edificio, ma a loro connesse tramite appositi giunti.

Dovendo assolvere, in primo luogo, alla conservazione e alla tutela dell'edificio, è infine consigliato, nel caso non sia consentito avere una continuità nel collegamento verticale fra i piani, fermare la corsa dell'ascensore fin dove possibile per poi proseguire il tragitto su un altro ascensore dislocato in posizione consona.

16. F. SIMONETTI, *Palazzo Spinola di Pellicceria a Genova: da dimora del Seicento a Museo del 2000. Impianti storici e moderni per l'abitabilità, la conservazione, la sicurezza*, in *Edifici storici e destinazione museale. Conservazione degli edifici e delle opere d'arte. Progetti per il restauro e l'integrazione di impianti esistenti*, D. DEL CURTO, M. FRATELLI (a cura di), Milano 2010, pp. 37-40.

17. Nel corso del primo inverno si è creato "un tappo di calore" nella superficie di separazione fra le due zone.

### 4.3 Esempi positivi di interventi di riadeguamento

Tra i diversi interventi di riadeguamento impiantistico analizzati, si è scelto di riportare tre esempi, significativi per la diversità di approccio, conseguente alle particolari esigenze degli ambiti nei quali si è operato. Il primo caso è rappresentativo di un delicato contesto in cui le tecnologie impiantistiche risultano, all'interno di uno stesso edificio, fondamentali per la conservazione ed esposizione di determinati manufatti e dannose per la salvaguardia di altri.

Il secondo esempio riporta un efficace intervento di sfruttamento di fonti di energia rinnovabile all'interno di un imponente complesso monumentale, caratterizzato da un cambio di destinazione d'uso.

Il progetto di riadeguamento impiantistico dei Nuovi Uffici si presenta, invece, come un interessante esempio di progettazione impiantistica perfettamente integrata all'interno degli elementi costruttivi della fabbrica, nonché differenziata in base alle esigenze dei diversi ambienti, espositivi e di servizio.

#### Palazzo Spinola a Genova

Le scelte progettuali del professionista devono essere il risultato di una valutazione attenta del contesto in cui opera. Nel campo del restauro e della conservazione risulta, ancor più importante, conoscere le esigenze e le necessità dei beni da conservare anche a costo di far passare in secondo piano il comfort degli utenti. È questo il caso del progetto di conservazione e ristrutturazione dell'edificio risalente al XVII secolo destinato ad accogliere la Galleria Nazionale di Genova<sup>16</sup>. Palazzo Spinola di Pellicceria presentava, all'epoca della donazione da parte dei proprietari avvenuta nel 1959, una perfetta conservazione dei due piani nobili, contrapposta alla condizione di rudere nella quale versavano i due piani superiori, danneggiati durante i bombardamenti della Seconda Guerra mondiale.

Questa opposta condizione suggerì fin da subito di agire sulla fabbrica in maniera differenziata: secondo le regole dettate dalla "pura conservazio-

ne” per quanto riguardava i piani storici (fig. 54), e senza vincoli di tutela per quanto concerneva la parte danneggiata (fig. 55). Nel 1992 iniziarono i lavori, sotto la guida degli architetti Mario Semino e Guido Rosato. La parte ben conservata presentava pareti totalmente affrescate, pavimenti antichi e soffitti decorati a fresco e con stucchi; per preservare il suo aspetto di dimora seicentesca, si pensò di non agire sul controllo del clima, introducendo esclusivamente l’impianto antincendio e antintrusione. Al contrario, nei piani superiori, si scelse di adeguare completamente gli ambienti alla loro nuova funzione e quindi alle attuali esigenze di fruizione e conservazione delle opere d’arte esposte.

Il controllo microclimatico è stato garantito da un sistema che prevede l’impiego di diversi *chiller* per l’alimentazione dei ventilconvettori, affiancato all’utilizzo di più UTA (Unità di Trattamento dell’Aria). Nonostante gli iniziali scompensi dovuti al diverso trattamento delle due parti<sup>17</sup>, il costante controllo dello stato conservativo delle opere esposte nella parte storica ha evidenziato come queste godano di ottima salute, malgrado la totale assenza di controllo termo-igrometrico: ciò può essere

spiegato con il loro permanere in quelle condizioni per secoli; la scelta di non intervenire sul microclima dei piani nobili, evitando di alterare lo stato di equilibrio creatosi nel tempo, si è dunque rivelata la migliore per la conservazione delle opere.

Tuttavia, limitarsi alla lettura storica dell’esistente escludendo l’adeguamento tecnologico, pur garantendo l’integrità della conservazione, ha limitato la vivibilità degli stessi ambienti. Risulta interessante, in proposito, la riflessione di Farida Simonetti, direttrice della Galleria Nazionale di Palazzo Spinola, la quale afferma: «Una dimora storica che vuol essere museo moderno, vivibile nel comfort secondo gli standard contemporanei, dovrebbe rendere vivibile secondo le esigenze dell’oggi ciò che ha per missione il documentare le abitudini di un diverso quotidiano.

Non per questo le dimore storiche devono essere condannate ad essere inospitali gelidi ambienti, ma certo è necessaria una profonda riflessione sul limite: fin dove essere un documento di perfetta conservazione storica, fin dove accettare la contaminazione per renderlo accogliente e vivibile oggi?»<sup>18</sup>. Lo studio della fabbrica condotto preliminarmente ai lavori di restauro, ha fatto emer-

18. F. SIMONETTI, op. cit., pp. 37-40.

19. P. P. RUBENS, *I Palazzi di Genova*, Anversa 1623.

20. F. SIMONETTI, op. cit., p. 40.



gere numerose informazioni circa il sistema di riscaldamento, l'impianto idrico e i servizi igienici originari, risalenti all'edificazione del palazzo a fine Cinquecento.

È quindi risultata la presenza, nei sotterranei, di una cisterna per la raccolta delle acque piovane, nei pressi della quale una canna fumaria testimonia l'esistenza di un camino, confermata dall'individuazione di due vani di servizio destinati al deposito di legna e carbone, conformemente a quanto emerge dalla pianta del piano interrato del «palazzo I», pubblicata nel 1622 da Rubens<sup>19</sup> nella raccolta di incisioni dedicata ai «Palazzi di Genova».

Un sistema di bocchette d'aria è invece stato rinvenuto nel corso dei lavori sulla pavimentazione, consentendo di ipotizzare la presenza di un sistema di riscaldamento ad aria calda canalizzata, alimentato dal camino situato nella zona interrata dell'edificio. Qualora si fosse scelto di agire anche sulle condizioni termoigrometriche dei piani nobili, non sarebbe quindi stato difficile sfruttare le canalizzazioni già presenti, limitando al massimo l'impatto sulla fabbrica. Certamente però, se l'intento fosse stato quello di adeguare una dimora seicentesca agli standard di comfort

moderni, all'inserimento impiantistico iniziale sarebbero dovuti seguire periodici aggiornamenti tecnologici «nel tentativo di adattare al nostro standard abitativo ambienti creati per una diversa abitudine dell'abitare»<sup>20</sup>.

Nel caso in oggetto si è scelto di documentare la storia della dimora, per quanto riguarda i piani nobili, nella sua totalità, mantenendo l'ubicazione originaria delle opere d'arte presenti. Le ragioni della tutela di queste ultime hanno quindi prevalso sulla ricerca del comfort ambientale che, al contrario, sarebbe stata imprescindibile nel caso in cui l'edificio avesse mantenuto la funzione abitativa.

Fig. 54: Genova, Palazzo Spinola. Ambiente situato al piano nobile.



Fig. 55: Genova, Palazzo Spinola. Ambiente situato al piano adibito a sala espositiva.



## Il Convento dei Crociferi a Venezia

Nel 2006 viene inaugurata la nuova residenza studentesca ottenuta dalla ristrutturazione del Convento dei Crociferi<sup>21</sup>, a Venezia (fig. 56).

Il complesso, di grande valore storico e architettonico, fu fondato nel 1150 ma varie vicissitudini ne cambiarono, nel corso dei secoli, l'originaria destinazione d'uso: convento e ospedale all'epoca della fondazione, scuola nel Settecento, caserma nel secolo successivo e nuovamente convento nell'ala Nord, dal 1884.

Il progetto ha interessato la parte meridionale, prevedendo la creazione di 177 appartamenti per studenti (con due posti letto ciascuno, bagno autonomo, cucina e sala studio), 32 unità residenziali per i professori in visita e i relativi servizi di lavanderia, aule e sale riunioni.

Sono stati realizzati e aperti al pubblico anche un bar, un ristorante con 100 coperti, una palestra e una biblioteca.

L'intervento è stato particolarmente complesso sia per la vastità e varietà dei lavori, sia per via del contesto tutelato.

La vicinanza al Rio dei Gesuiti ha suggerito la realizzazione di un impianto di climatizzazione a pompa di calore,

alimentato ad acqua.

Questa viene prelevata in un punto prossimo all'uscita in laguna aperta, mentre il punto di restituzione si trova a 50 metri circa di distanza, più internamente.

Le centrali termiche trovano posto in una torre realizzata in uno spazio compreso fra due cortili, sul lato destro del complesso, e in vani sotterranei appositamente realizzati sotto gli stessi.

L'acqua, portata ad una temperatura di 40-45°C, va ad alimentare i ventilconvettori mascherati nell'arredo (fig. 57) e situati nelle diverse unità residenziali, dove un sistema di ventilazione centralizzato permette il recupero dell'aria espulsa per preriscaldare l'aria di rinnovo.

In assenza di persone all'interno delle stanze gli *inverter* agiscono sui motori dei ventilatori, bloccandoli.

I servizi al piano terra sono invece climatizzati grazie a ventilconvettori alimentati da un sistema indipendente, servito da più centrali poste nel sottotetto.

La difficoltà di inserimento dei terminali in presenza di pareti affrescate è stata compensata dalla possibilità di installare pannelli radianti, in assenza di tutela dei pavimenti presenti.

La produzione dell'acqua calda sani-

21. L. SCHIBUOLA, C. TAMBANI, *Pompa di calore per un complesso monumentale*, in RCI Riscaldamento Climatizzazione Idronica n.1(2013), rivista digitale, Tecniche Nuove, p. 30.

taria non dipende dalle pompe di calore, bensì da un sistema autonomo di cogenerazione, a recupero termico.

Lo studio dell'efficienza delle tecniche utilizzate nel riadeguamento dell'intero complesso ha evidenziato come lo sfruttamento dell'acqua di laguna abbia permesso di raggiungere efficienze stagionali molto interessanti, con un risparmio energetico del 20% rispetto agli impianti tradizionali (nettamente superiore a quello ottenibile con una pompa di calore ad aria).

I risultati ottenuti hanno dimostrato come, sfruttando in maniera opportuna le caratteristiche del sito, sia possibile utilizzare le fonti rinnovabili di energia anche all'interno di contesti tutelati.

Nel caso in oggetto la progettazione, complicata dalle dimensioni del complesso e dal cambiamento di destinazione d'uso, oltre che dai vincoli imposti dalla Soprintendenza, si è articolata in maniera tale da essere differenziata in base alle necessità dei diversi ambienti, risultando sensibile alla conservazione del valore storico-culturale della fabbrica ma allo stesso tempo capace di adeguarsi agli standard di comfort e alle esigenze della vita contemporanea.

Fig. 56: Venezia, Convento dei Crociferi.



Fig. 57: Venezia, Convento dei Crociferi. Ventilconvettori integrati negli arredi all'interno delle camere.



## I Nuovi Uffici a Firenze

Un altro esempio di progettazione “differenziata” e modulata in base alle esigenze conservative e, allo stesso tempo, di riadeguamento tecnologico della fabbrica è dato dai recenti lavori di restauro architettonico e strutturale che hanno interessato il polo museale degli Uffizi, a Firenze (fig. 59). La complessa attività progettuale, conclusasi nel 2009, ha previsto un adeguamento funzionale dell'intero complesso, con la realizzazione di nuovi impianti meccanici ed elettrici<sup>22</sup>.

I lavori ha interessato circa 27000 m<sup>2</sup> di superficie calpestabile, con un ampliamento di 12000 m<sup>2</sup> dell'area espositiva, per l'accoglimento di 7000 visitatori al giorno e un aumento delle opere esposte da 1200 a circa 2000. L'intervento ha portato, oltre che alla ridefinizione degli spazi, anche alla ridistribuzione delle funzioni esistenti e all'inserimento di nuove aree funzionali all'interno del polo: la realizzazione di due nuovi collegamenti verticali, la riallocazione degli accessi e dei servizi per il personale, la realizzazione di nuovi uffici e laboratori, di un *auditorium* e di un nuovo *bookshop*, di un bar e di un ristorante. La complessità di operare un ria-

deguaamento tecnologico all'interno di un tale contesto ha orientato le scelte verso la pratica del restauro conservativo, al fine di tutelare le innumerevoli testimonianze storiche derivanti, in primo luogo, dall'edificio stesso. Per questo motivo le scelte impiantistiche minimizzano il loro impatto, limitando la loro presenza al minimo indispensabile e ricercando, per quanto possibile, una giusta integrazione all'interno della fabbrica (fig. 58) o, talvolta, dichiarando apertamente la loro natura tecnologica. In fase di progettazione si è scelto di modulare l'inserimento impiantistico in base alle differenti caratteristiche e destinazioni d'uso degli ambienti, alla ricerca del raggiungimento di elevate prestazioni che però non compromettessero il valore del “supporto” architettonico (fig. 60).

La dotazione impiantistica, al momento dell'apertura del cantiere, risultava datata e non sufficiente, fatto salvo per le centrali termica e frigorifera<sup>23</sup>, di recente realizzazione e opportunamente dimensionate in previsione di futuri interventi.

La potenza termica e frigorifera risultava quindi già sufficiente a consentire il funzionamento dell'intero impianto, anche nelle condizioni di massimo carico contemporaneo pre-

22. AA. VV., *Problematiche di inserimento degli impianti in ambienti monumentali: i Nuovi Uffizi*, atti del convegno “Tecnologie impiantistiche e musei”, AICARR, Roma 2005, pp. 299-320.

23. In particolare, la centrale frigorifera sfrutta un sistema ad accumulo di ghiaccio durante le ore notturne, in regime di tariffa multioraria e costo dell'energia elettrica inferiore, per il suo successivo sfruttamento in regime diurno, quando il fabbisogno frigorifero è massimo.

24. Possono essere agenti di disturbo i carichi termici interni dovuti alle persone e all'illuminazione, nonché l'inquinamento atmosferico.

viste dal nuovo progetto.

La rete di distribuzione dei fluidi termovettori è stata invece del tutto riorganizzata sfruttando, prevalentemente, i percorsi delle tubazioni già disponibili, per alimentare sia gli impianti esistenti che quelli di nuova realizzazione.

All'interno del complesso si è operata una distinzione fra zone “non critiche” e zone “critiche”: nelle prime (uffici, punti ristoro, zone di passaggio, scale, ecc.) si è ritenuto sufficiente garantire il benessere di visitatori e addetti ai lavori tramite il controllo delle condizioni termo-igrometriche, mentre nelle zone critiche, dove è prevista la presenza di opere d'arte, si è principalmente tenuto conto della conservazione delle opere esposte, anche in relazione agli agenti di disturbo<sup>24</sup> causati dai visitatori, pur non trascurando il comfort di questi ultimi.

Dopo un'accurata indagine sia teorica che sperimentale, si è optato per i seguenti sistemi impiantistici:

- a. climatizzazione a tutt'aria, a condotto unico e portata variabile con postriscaldamento;
- b. climatizzazione a tutt'aria, condotto unico e portata d'aria costante;
- c. climatizzazione aria-acqua: pannelli radianti-aria primaria, ventilcon-

Fig. 58: Firenze, Galleria degli Uffizi. Schema distributivo degli impianti.



Fig. 60: Firenze, Galleria degli Uffizi. Schema distributivo a pavimento dell'aria climatizzata.



Fig. 59: Firenze, Galleria degli Uffizi. Angolo tra Via della Ninna e Piazzale degli Uffizi.



25. Nella progettazione degli impianti di condizionamento si è tenuto conto delle condizioni termoigrometriche necessarie alla conservazione dei differenti e numerosi materiali facenti parte della collezione, nonché degli scostamenti massimi ammissibili, come richiesto dall'Allegato A.D.M. 10 Maggio 2001 (Ministero per i Beni e le Attività Culturali, D.M. 10 Maggio 2001 "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei", Gazzetta Ufficiale 19 Ottobre 2001, n°244 suppl. ord. serie gen.) e nella Norma UNI-CTI E02.01.304 (Comitato Termotecnico Italiano, Progetto di norma italiana UNI-CTIE 02.01.304.0 "Analisi e valutazione delle condizioni ambientali, termiche, igrometriche e luminose, per la conservazione dei beni di interesse storico e artistico", Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, n°4 (1994), pp.475-486).

26. Gli ingombri relativi ad un impianto a doppio condotto, uno con effetto umidificante e l'altro deumidificante, hanno reso impossibile la sua installazione, nonostante questo sia un sistema certamente efficiente per il rapido controllo delle variazioni termoigrometriche.

27. All'interno del polo museale degli Uffici sono presenti laboratori dedicati al restauro del legno, delle tele e della carta.

vettori-aria primaria, induttori-aria primaria;

d. impianti di termoventilazione.

Per l'inserimento degli apparati impiantistici si è ricavato lo spazio per canalizzazioni e locali tecnici dalla conformazione della struttura.

Nello specifico, per il piano terra, servito da impianti aria-acqua, è risultato opportuno inserire le centrali di trattamento aria al piano interrato e realizzare un sistema di distribuzione dell'aria a pavimento, in modo da preservare le architetture delle volte e dei maschi murari presenti nei locali. Le centrali di trattamento relative al condizionamento del primo piano, anch'esso con distribuzione dell'aria a pavimento, sono state collocate nel piano mezzanino inferiore mentre per il piano secondo è stata prevista una distribuzione dall'alto, con i macchinari per il trattamento collocati nel sottotetto e i canali per la distribuzione dell'aria all'interno dei controsoffitti preesistenti. Il sistema di climatizzazione interno alle sale espositive è stato scelto in base alle condizioni ambientali da assicurare in ambito museale, secondo la normativa relativa alla tutela e conservazione delle opere d'arte<sup>25</sup>. Si è quindi optato per un sistema acqua-aria, vista la necessità di evitare

infiltrazioni di aria esterna all'interno dei locali espositivi, tramite la messa in sovrappressione, rispetto all'esterno, dell'intero edificio, ottenuta grazie all'immissione di aria esterna, opportunamente trattata.

Gli impianti aria-acqua sono invece stati utilizzati esclusivamente nei casi nei quali è stato considerato accettabile un intervento di ripristino delle condizioni ottimali anche non immediato, ovvero in presenza di opere non particolarmente degradate o per le quali è previsto un minore afflusso di visitatori. Per quanto riguarda il condizionamento a tutt'aria, sono stati installati impianti a condotto unico e volume d'aria costante e impianti a condotto unico<sup>26</sup> e volume variabile, con batterie di postriscaldamento ambiente.

Quest'ultimo sistema è stato impiegato nel caso di più ambienti serviti da una stessa UTA, come le sale del primo piano, nelle quali è stato realizzato un sistema di immissione e ripresa dell'aria a pavimento, reso possibile dall'alloggiamento dei condotti e delle apparecchiature di regolazione all'interno dello spazio disponibile nei rinfianchi delle volte sottostanti il pavimento (figg. 61 e 62). L'accessibilità ai macchinari è assicurata da apposite botole realizza-

te nella pavimentazione mentre l'aria viene distribuita da particolari griglie in ottone brunito, dal *design* studiato appositamente per accordarsi con la pavimentazione cinquecentesca in cotto fiorentino.

Le sale espositive poste al piano terra sono invece climatizzate con un impianto a pannelli radianti e aria primaria, sempre con mandata e ripresa dal basso, grazie alla possibilità di realizzare le canalizzazioni nella struttura del pavimento.

Nelle sale del secondo piano dedicate agli artisti fiamminghi si è invece utilizzato un impianto a ventilconvettori a quattro tubi, con aria primaria, filtro elettrostatico e umidificatore a vapore, vista l'impossibilità d'integrazione impiantistica all'interno della struttura.

Vengono considerate zone "critiche" anche quelle dedicate ai laboratori di restauro, dotate di sistemi capaci di ottenere condizioni termo-igrometriche differenti in base ai materiali trattati nei diversi locali<sup>27</sup>.

La progettazione di impianti che andassero incontro alle specifiche esigenze di quest'ala del museo, è risultata particolarmente difficile a causa degli ingombri dei macchinari necessari e l'impossibilità, per motivi archeologici, di realizzare scavi

Fig. 61: Firenze, Galleria degli Uffizi. Schema distributivo dell'aria climatizzata nel rinfiacco di una volta.



Fig. 62: Firenze, Galleria degli Uffizi. Schema distributivo dell'aria climatizzata, pianta.



di profondità sufficiente per il loro alloggiamento. Si è quindi cercato il giusto compromesso fra corretto funzionamento dell'impianto e risultato estetico consono alla fabbrica. La zona è servita da due centrali di trattamento aria collocate al piano interrato e al piano terra, che alimentano un sistema a tutt'aria a condotto unico e portata variabile, con batterie di postriscaldamento di zona, con una doppia sezione di umidificazione a vapore per i locali destinati alla lavorazione della carta e delle tele. Nei locali a piano interrato e in quelli a piano terra la distribuzione dell'aria avviene dall'alto (con ripresa che sfrutta il *plenum* ricavato nel controsoffitto nel primo caso, dal basso tramite griglie a parete nel secondo), mentre nei locali voltati è stato previsto un sistema di mandata dell'aria tramite canali diffusori circolari in acciaio inox a vista, volutamente contrastanti con il contesto. Per i depositi delle opere d'arte, soggetti alle stesse normative sopra citate per le sale espositive, ma meno vincolati poiché non soggetti ad affollamento, è stato installato un impianto a tutt'aria, con condotto unico e portata d'aria costante, così come per le zone ristoro, articolate attorno ad un salone di circa 200 m<sup>2</sup>, coperto da un

lucernario di pari superficie. In questo caso tuttavia, il carico termico per irraggiamento solare dovuto alla copertura trasparente e gli elevati carichi endogeni causati dalla presenza degli occupanti e dall'impianto di illuminazione, ha implicato la necessità di una notevole quantità d'aria per il condizionamento degli ambienti, con una conseguente elevata dimensione della centrale di trattamento dell'aria e delle canalizzazioni.

È stato quindi realizzato un apposito locale tecnico per l'alloggiamento dell'UTA mentre le canalizzazioni di mandata e ripresa si articolano all'interno di un'intercapedine realizzata tra piano interrato e piano terra.

Le bocchette di mandata e ripresa sono integrate negli infissi (figg. 63 e 64): il *plenum* di mandata fa fluire l'aria all'interno dell'intercapedine data dal doppio vetro della finestra, per venire successivamente immessa in ambiente tramite una bocchetta ricavata nella parte superiore della cornice dell'infisso.

La ripresa avviene invece tramite bocchette poste nella parte bassa dei sottofinestra, in comunicazione diretta con le griglie montate sui *plenum* di ripresa.

La cucina a servizio del ristorante è dotata di un impianto di estrazione



aria dalle cappe e di termoventilazione, con le canalizzazioni e il ventilatore di estrazione inseriti all'interno di controsoffitti; il bar è stato condizionato con un impianto a ventilconvettori.

I nuovi uffici sono serviti da un impianto a tutt'aria, con monocondotto a portata variabile e distribuzione a controsoffitto, mentre per le zone maggiormente affollate (*bookshop*, *passaggi*) è stato previsto un sistema a tutt'aria monocondotto a portata costante.

Per la Scala di Levante, di nuova realizzazione, è stato previsto un impianto a pannelli radianti così per come gli ingressi per il pubblico, integrati da ventilconvettori in prossimità delle postazioni del personale.

Le scelte operate per l'impianto d'illuminazione hanno mirato al miglioramento della percezione degli spazi architettonici, cercando di evitare sorgenti luminose visibili, privilegiando, quindi, apparecchi illuminanti di dimensioni ridotte e collocati in maniera tale da risultare nascosti allo sguardo dei visitatori, limitando al massimo gli abbagliamenti diretti (fig. 65).

Per gli ambienti espositivi è stato scelto un livello di illuminamento artificiale di circa 90 lux, ponderato in

Fig. 63: Firenze, Galleria degli Uffizi. Particolare del sistema di emissione dell'aria integrato agli infissi della sala del ristorante, sezione.



Fig.64: Firenze, Galleria degli Uffizi. Schema dell'impianto di condizionamento della sala ristorante, sezione.



Fig. 65: Firenze, Galleria degli Uffizi. Schema del sistema di illuminazione indiretta delle sale espositive.



base agli eventuali alti livelli di illuminazione diurna.

I cavi per l'alimentazione elettrica dei corpi illuminanti sono stati fatti passare attraverso una "barra portaquadri"<sup>28</sup>, estesa lungo tutto il perimetro delle sale, in modo da non risultare a vista, pur non intaccando la struttura muraria (fig. 66).

In prossimità degli accessi a ciascun locale sono state installate delle "colonne tecnologiche"<sup>29</sup> realizzate in ottone brunito, dove trovano posto gli impianti di telefonia e diffusione sonora, le apparecchiature dedicate al controllo microclimatico delle sale, quelle per il controllo della sicurezza e per la rilevazione di incendi, nonché una serie di prese e interruttori (figg. 67, 68 e 69).

La realizzazione di questo sistema compatto, capace di assolvere svariate funzioni, ha consentito migliori prestazioni a livello tecnologico ma soprattutto, raggruppando e mascherando diverse apparecchiature (e i relativi cavi di alimentazione), ne ha permesso una gradevole integrazione all'interno dello spazio espositivo.

La progettazione degli impianti all'interno della Galleria degli Uffizi ha tenuto conto sia delle esigenze di tutela e valorizzazione della fabbri-

ca, sia delle necessità prestazionali richieste dalle differenti zone e attività presenti nel polo museale, risultando complicata soprattutto per quanto riguarda l'inserimento e l'integrazione di macchinari e condotti.

Tuttavia, grazie al coinvolgimento di diverse professionalità, si è raggiunto l'obiettivo di assicurare al complesso la sua moderna funzione, capace di coniugare la conservazione delle opere esposte e il comfort di visitatori e addetti ai lavori.

Fig. 66: Firenze, Galleria degli Uffizi. Schema di un apparecchio illuminante utilizzato nelle sale espositive.



28. AA. VV., op. cit., p. 317.

29. Ibidem.

Fig. 67: Firenze, Galleria degli Uffizi. Immagine di una “colonnina tecnologica” all’interno di una sala espositiva.



Fig. 69: Firenze, Galleria degli Uffizi. Immagine di una “colonnina tecnologica” posta all’ingresso di una sala espositiva.



Fig. 68: Firenze, Galleria degli Uffizi. Schema delle due tipologie di “colonne tecnologiche”.





## 5 IL QUADRO NORMATIVO

Le esigenze di fruizione e riuso degli edifici devono necessariamente conformarsi a quanto imposto dalla normativa vigente per quanto riguarda la sicurezza, l'abbattimento delle barriere architettoniche e il risparmio energetico.

In presenza di beni storico-architettonici le scelte progettuali degli addetti ai lavori sono ulteriormente vincolate dalle norme di tutela, fondamentali a garantirne, appunto, la «protezione e conservazione per fini di pubblica fruizione», così come dichiarato all'articolo 3, comma 1, del Codice dei Beni Culturali. Tuttavia, l'attuale urgenza di riqualificare il patrimonio edilizio apre nuovi interrogativi in relazione all'effettiva applicabilità al costruito storico delle norme per il contenimento dei consumi energetici.

Per comprendere al meglio gli spazi di sovrapposizione fra i due distinti contesti normativi, individuandone limiti d'intervento e criticità, non si può prescindere dalla loro approfondita conoscenza.

### 5.1 La tutela dei beni culturali

#### Le carte del restauro

Prima di analizzare la specifica normativa relativa alla tutela dei beni architettonici risulta doveroso affrontare una disamina delle diverse carte del restauro che, pur non avendo valore legislativo, forniscono le indispensabili linee guida teoriche e metodologiche da seguire per la conservazione e il restauro dei beni culturali.

Ai fini del presente lavoro si ritengono fondamentali, nello specifico, le indicazioni relative al costruito e alla tutela dei centri storici che, seppure in forma ancora embrionale, iniziarono ad essere affrontate già a partire dal 1931, anno in cui venne redatta la Carta di Atene.

Il documento, oltre a promuovere l'utilizzo degli edifici monumentali in modo da assicurarne la “continuità vitale”<sup>1</sup> mediante un'adeguata destinazione d'uso, «raccomanda di rispettare, nelle costruzioni degli edifici, il carattere e la fisionomia della città, specialmente in prossimità dei monumenti antichi, per i quali l'ambien-

1. «La Conferenza raccomanda di mantenere, quando sia possibile, la occupazione dei monumenti che ne assicura la continuità vitale, purché tuttavia la moderna destinazione sia tale da rispettare in carattere storico ed artistico». Conferenza Internazionale di Atene, *Carta di Atene*, 1931, art. II.

te deve essere oggetto di particolari cure»<sup>2</sup>. La Carta Italiana del Restauro, emanata nell'anno successivo, oltre a ribadire l'importanza del rispetto nei confronti dell'ambiente circostante un'emergenza monumentale, tratta il tema delle integrazioni che, seppure riferito, nello specifico, alle opere di consolidamento o completamento della fabbrica, può essere letto in chiave contemporanea in riferimento alle aggiunte tecnologiche: l'articolo 7 afferma infatti che «nelle aggiunte che si dimostrassero necessarie (...) per la pratica utilizzazione del monumento, il criterio essenziale da eseguirsi debba essere, oltre quello di limitare tali elementi nuovi al minimo possibile, anche quello di dare ad essi un carattere di nuda semplicità»<sup>3</sup>. L'utilizzo del bene architettonico è caldamente consigliato anche dalla Carta di Venezia del 1964, purché questo non alteri la distribuzione spaziale e l'aspetto dell'edificio. Redatta a seguito delle nuove riflessioni rese necessarie dalla ricostruzione post-bellica, la carta risulta però fondamentale per la nuova definizione del concetto di "monumento", non più considerato come elemento isolato bensì correlato strettamente all'ambiente circostante, rappresentante, anch'esso,

testimonianza storica e culturale. Ma è con la Carta Italiana del Restauro del 1972 che i complessi di edifici d'interesse culturale e, in particolare, i centri storici assumono la dignità di opera d'arte<sup>4</sup>, al cui tema specifico viene dedicato l'Allegato d Istruzioni per la tutela dei "Centri Storici". In esso si afferma: «Il carattere storico va riferito all'interesse che detti insediamenti presentano quali testimonianze di civiltà del passato e quali documenti di cultura urbana, anche indipendentemente dall'intrinseco pregio artistico o formale o dal loro particolare aspetto ambientale, che ne possono arricchire o esaltare ulteriormente il valore, in quanto non solo l'architettura, ma anche la struttura urbanistica possiede, di per se stessa, significato e valore». Al restauro architettonico è invece dedicato l'Allegato b che, tuttavia, pur fornendo indicazioni pratiche sugli interventi di restauro, si riferisce esclusivamente agli edifici monumentali. Nonostante il valore dei centri storici, caratterizzati perlopiù da edilizia minore, sia ormai pienamente riconosciuto, si continuano tuttavia a fornire indicazioni puramente teoriche per la conservazione dell'insieme urbanistico mentre viene ancora tralasciato l'aspetto pratico della tu-

2. Ivi, art. VII.

3. CONSIGLIO SUPERIORE PER LE ANTICHITÀ E BELLE ARTI, *Carta Italiana del Restauro*, 1932, ART. 7.

4. «Art. 1: Tutte le opere d'arte di ogni epoca, nella accezione più vasta, che va dai monumenti architettonici a quelli di pittura e scultura (...) sono oggetto delle presenti istruzioni (...).

Art. 2: Oltre alle opere indicate nell'articolo precedente, vengono a queste assimilati, per assicurarne la salvaguardia e il restauro, i complessi di edifici di interesse monumentale, storico o ambientale, particolarmente i centri storici», MINISTERO DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE, *Carta Italiana del Restauro*, 1972.

5. CONSIGLIO D'EUROPA, *Carta europea del patrimonio architettonico*, Amsterdam 1975, art. 7.

6. *Carta di Machu Picchu*, 1978, punto 9) "La tecnologia".

tela e restauro di edifici che, per via della loro funzione abitativa, sono maggiormente soggetti a interventi di modifica e riadeguamento.

Pochi anni dopo, in occasione del congresso svoltosi ad Amsterdam nel 1975, viene proclamata la Carta Europea del patrimonio architettonico nella quale è introdotto, per la prima volta, il concetto di “conservazione integrata” definita come «il risultato dell’uso congiunto della tecnica del restauro e della ricerca di funzioni appropriate»<sup>5</sup>. La conservazione integrata non esclude la possibilità di inserire un linguaggio architettonico contemporaneo all’interno dei contesti storici, purché vengano rispettate le caratteristiche proprie dell’ambiente e i materiali utilizzati.

Le problematiche legate alla contemporaneità e al progresso tecnologico vengono affrontate con un maggiore dettaglio nella Carta di Machu Picchu, voluta da Bruno Zevi e redatta nel 1978. Tale documento, partendo da quanto affermato nella Carta di Atene, ne sottolinea la fondamentale importanza e validità nel corso dei decenni, per poi proporre un aggiornamento dovuto al sorgere di nuovi quesiti posti dalle nuove condizioni di vita, relativi a trasporti, inquinamento e tecnologia. In meri-

to a quest’ultimo tema, in particolare, viene affermato: «Oggi lo sviluppo scientifico e tecnologico e le comunicazioni tra i popoli consentono il miglioramento delle condizioni locali ed offrono maggiori possibilità di risolvere i problemi urbani e edilizi. Il cattivo uso di queste possibilità porta spesso ad adottare materiali, tecniche e forme dettati dalla moda o da un’intellettualistica inclinazione alla complessità. In questo senso, l’impatto dello sviluppo tecnico e meccanico ha fatto sì che assai spesso l’architettura sia divenuta un processo per realizzare ambienti condizionati artificialmente, concepiti in funzione di un clima e di un’illuminazione innaturali. Ciò può costituire una soluzione per certi problemi, ma l’architettura deve essere il processo di creare un ambiente pianificato in armonia con gli elementi della natura»<sup>6</sup>. Pur rappresentando un fondamentale passo avanti per quanto concerne il riadeguamento tecnologico degli edifici, la carta si limita ad introdurre il problema senza fornire indicazioni pratiche, se non quella del generico ricorso alla progettazione bioclimatica.

Secondo la Dichiarazione di Washington, del 1987, stilata dall’*International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS) «tutte le città del mondo,

risultanti sia da uno sviluppo più o meno spontaneo sia da un determinato progetto, sono le espressioni materiali della diversità della società attraverso la storia e sono, per questo tutte storiche»<sup>7</sup>. Le città, grandi o piccole, e i quartieri storici acquistano valore culturale anche in virtù delle peculiarità delle civiltà urbane tradizionali che li hanno fondati e che continuano ad abitarli. «Ora, questi sono minacciati dal degrado, dalla destrutturazione o meglio, distruzione, sotto l'effetto di un modo di urbanizzazione nato nell'era industriale e che concerne oggi, universalmente, tutte le società»<sup>8</sup>. Per porre rimedio a tale degrado, le azioni di salvaguardia devono essere parte integrante delle politiche di sviluppo economico e sociale, da attuare tramite il coinvolgimento della popolazione. Una grande importanza viene data alla manutenzione permanente del costruito. Nello stesso anno viene redatta la Carta C.N.R. (Conservazione e Restauro degli Oggetti d'Arte e di Cultura), con l'intento di «rinnovare, integrare e sostanzialmente sostituire la Carta Italiana del restauro del 1972»<sup>9</sup>. Il documento, pur fornendo una serie di indicazioni pratiche per quanto riguarda la tutela dei centri storici e la conservazione e restauro

delle opere di interesse architettonico, non affronta lo specifico tema del recupero tecnologico e delle integrazioni impiantistiche, parlando di generico «rinnovamento funzionale degli organismi interni, da permettere soltanto laddove si presenti indispensabile ai fini del mantenimento in uso dell'edificio»<sup>10</sup>. La medesima critica può essere mossa alle più recenti Carta di Cracovia (Principi per la conservazione e il restauro del patrimonio costruito) e Carta di Betlemme che, sebbene risalenti, rispettivamente, al 2000 e al 2008, periodo nel quale le problematiche relative ai consumi energetici del comparto edile risultavano già ben note, non trattano l'argomento della diminuzione degli stessi, né tantomeno quello del riadeguamento tecnologico, limitando la trattazione ad indicazioni di carattere generale in relazione a manutenzione, rinnovamento e ristrutturazione. Diventa quindi evidente l'urgenza di adeguare lo strumento delle carte del restauro alle nuove esigenze, sulla scia di quanto espresso nell'innovativa Carta di Machu Picchu che, nonostante risulti ormai datata, rappresenta a tutt'oggi l'unico documento cui fare riferimento per quanto concerne il riadeguamento impiantistico.

7. *Carta internazionale per la salvaguardia delle città storiche*, Washington 1987.

8. *Ibidem*.

9. *Carta C.N.R. (Conservazione e Restauro degli Oggetti d'Arte e di Cultura)*.

10. *Ivi*, *Allegato A - Istruzioni per la tutela dei centri storici*.

11. G. L. ZUCCHINI, *Educare all'ambiente*, La nuova Italia, Scandicci 1990, p.54.

12. La Convenzione dell'Aja, sottoscritta il 14 maggio 1954 da numerose nazioni di tutto il mondo, rappresentò un importante gesto di civiltà, stabilendo che in caso di guerra i beni culturali non fossero oggetto di furto, limitando il diritto di predazione alle sole armi.



## L'evoluzione legislativa nazionale nella tutela dei beni culturali

La cultura giuridica italiana ha sempre dato una rilevante importanza alla salvaguardia del patrimonio artistico e naturalistico, sebbene la corrente accezione di “bene culturale” sia relativamente recente.

Alla parola “bene”, quando riferita al paesaggio, all'architettura, all'arte e, in generale, alla cultura, si attribuisce oggi un significato che riporta alla mente qualcosa di positivo: una ricchezza, un patrimonio assoluto che appartiene all'intera comunità, essendone l'espressione<sup>11</sup>.

Tuttavia, derivando dalla nozione base di “cultura”, il concetto di “bene culturale” (così pure come l'equivalente “patrimonio culturale”) si offre a innumerevoli interpretazioni: esso è, per definizione, stratificato nel significato, variabile nello spazio e nel tempo, secondo gli ambiti culturali all'interno dei quali viene percepito. Inoltre, ogni entità ha, di fatto, un duplice valore culturale e le grandi biblioteche, i depositi di archivi, come pure i rifugi destinati a ricoverare, in caso di conflitto armato, i beni culturali mobili definiti al comma precedente;

- i centri comprendenti un numero

materiale, interpretabile attraverso molteplici chiavi di lettura di cui quella legislativa è forse la più esplicativa ai fini del presente lavoro.

In ambito internazionale è nel 1954, durante la Convenzione dell'Aja<sup>12</sup> sulla protezione dei beni culturali in caso di conflitto armato, che compare per la prima volta il termine “patrimonio culturale” che, affiancato a quello di “beni culturali”, abbraccia:

- «i beni, mobili o immobili, di grande importanza per il patrimonio culturale dei popoli, come i monumenti architettonici, di arte o di storia, religiosi o laici; i siti archeologici; i complessi di costruzioni che, nel loro insieme, offrono un interesse storico o artistico; le opere d'arte; i manoscritti, libri e altri oggetti d'interesse artistico, storico o archeologico; nonché le collezioni scientifiche e le collezioni importanti di libri o di archivi o di riproduzioni dei beni sopra definiti;

- gli edifici la cui destinazione principale ed effettiva è di conservare o di esporre i beni culturali mobili definiti al comma precedente, quali i musei, le grandi biblioteche, i depositi di archivi, come pure i rifugi destinati a ricoverare, in caso di conflitto armato, i

beni culturali mobili definiti al comma precedente;  
- i centri comprendenti un numero considerevole di beni culturali, definiti ai commi precedenti, detti centri monumentali»<sup>13</sup>.

Tuttavia, la sensibilità per la salvaguardia del bello e dell'antico ha, nel nostro Paese, radici ben più radicate nella storia: se la prima testimonianza di leggi relative alla tutela di beni artistici, varate nell'Antica Roma a partire dalla metà del IV secolo ebbe l'obbiettivo di frenare il fenomeno delle spoliazioni esclusivamente per motivi di "decoro urbano"<sup>14</sup>, già a partire dal Rinascimento, periodo in cui iniziava a definirsi meglio una qualche forma di italianità, la conservazione delle preesistenze, così come la relativa giurisprudenza, acquistò un posto di primaria importanza nel contesto culturale italiano. Basti pensare alla famosa "Horatoria a Cola di Rienzo" scritta nel 1347 da Francesco Petrarca a denuncia della situazione di abbandono in cui versavano le magnificenze di Roma, e non solo. Con forte spirito critico e con una visione illuminata il Petrarca si accorse del pericolo e della decadenza in cui giacevano le memorie artistiche; per questo richiamò l'attenzione del nuovo Governo di Cola di Rienzo,

spingendolo a porre attenzione verso ciò che di importante, all'epoca, la città possedeva<sup>15</sup>. La stessa figura del Soprintendente, la prima di età moderna, fu ricoperta da un addetto ai lavori qual era Raffaello Sanzio, nominato appunto Soprintendente alle antichità di Roma nel 1519, da Papa Leone X. Raffaello, oltre a denunciare l'operato indegno dei papi precedenti, minimamente preoccupati di salvaguardare le antichità che avevano contribuito a rendere celebre Roma, organizzò una mappatura della città in modo da monitorarla. L'artista riuscì inoltre nell'intento di interrompere la continua distruzione di monumenti antichi, sfruttati per ricavarne materiale da costruzione. Nel corso dei secoli, come appare evidente, la tutela dei beni artistici ha occupato un posto sempre più rilevante nella coscienza civile di popolazione e governanti. Ma se, in epoca preunitaria, i provvedimenti legislativi ebbero per lo più carattere d'urgenza, per porre rimedio a determinate situazioni contingenti o per tutelare le proprietà dei numerosi sovrani, nell'Ottocento iniziò a crescere una reale attenzione verso l'immenso patrimonio artistico e culturale della nazione, dovuto in parte al rinnovato interesse per i classici e

13. Convenzione: "Protezione dei beni culturali in caso di conflitto armato", Capitolo I, Disposizioni generali concernenti la protezione, art. 1.

14. G. CARBONARA, *Avvicinamento al restauro: teoria, storia, monumenti*, Liguori, Napoli 1997, p. 51.

15. Ivi, p. 53.

16. G. GARGALLO DI CASTEL LENTINI, *Evoluzione storica e giuridica della tutela dei beni culturali dall'unità d'Italia al codice Urbani. Cenni sulla tutela paesistica*, tratto dalla rivista on line "Diritto all'ambiente", art. 119 del 12/06/2006.

17. G. CARBONARA, *Avvicinamento...*, op. cit., p. 214.

l'archeologia del secolo precedente. Intorno alla metà del XVIII secolo, a prova che i tempi erano ormai maturi, l'allora ministro della Pubblica Istruzione del Regno di Sardegna, il marchese Casati, introdusse lo studio dei beni culturali nella sua riforma dell'istruzione, apportando una piccola rivoluzione<sup>16</sup>. Tale innovazione fu solo un'anticipazione di quello che sarebbe stato il fermento culturale di fine secolo, periodo nel quale vivissimo fu il dibattito relativo alla conservazione dei beni culturali e alle teorie sul restauro architettonico, ad opera di illustri esponenti della cultura quali Boito, Beltrami e Giovannoni. Il primo, in particolare, promosse la legge n. 1035 del 1891 con la quale venivano costituiti in luogo dei Commissariati Regi, giudicati poco autonomi poiché dipendenti dalle Prefetture, gli Uffici Regionali per la Conservazione dei Monumenti, che sarebbero divenuti le attuali Soprintendenze<sup>17</sup>. La prima disposizione organica dell'Italia unita, espressamente dedicata ai beni culturali (anche se nel titolo si faceva riferimento alla "Tutela del patrimonio monumentale") risale al 1902 (n. 185) ed è conosciuta come "Legge Nasi", dal nome del Ministro della pubblica Istruzione in carica al momento della sua approvazione.

Questa legge, tuttora di grande attualità, introdusse la cosiddetta "tutela indiretta", indispensabile per la salvaguardia delle aree immediatamente prospicienti i monumenti tutelati, consistente nel divieto di edificazione. Stabili, inoltre, un limite di 50 anni dalla produzione dell'oggetto affinché un bene artistico potesse essere posto giuridicamente sotto tutela. La Legge Nasi ebbe tuttavia scarsa incisività, probabilmente a causa del previsto catalogo nazionale dei monumenti, macchinoso e di difficile compilazione, che non venne mai realizzato. Memore di tali difficoltà, il successivo Ministro della Pubblica Istruzione, Bianchi, elaborò la L. n. 364 del 1909, detta Legge Rosadi, introducendo l'ufficializzazione, mediante notifica, del bene da porre sotto tutela non appena individuato. In questo modo veniva ad essere inutile la catalogazione di livello nazionale secondo le modalità previste dalla legge n. 185. Un fondamentale passo in avanti venne fatto dalla L. 364/1909 con l'estensione del concetto di soggetto da tutelare: si passò dal generico "monumenti" al più vasto insieme di "cose immobili e mobili che abbiano interesse storico, archeologico, paleontologico o artistico". Soggetto, il precedente, ulteriormente amplia-

to nel 1912 (Legge n. 688) con l'estensione della tutela a ville, parchi e giardini di interesse storico: si trattava del primo provvedimento di tutela dell'intero patrimonio storico-architettonico e paesaggistico nazionale. La crescente importanza attribuita negli anni ai beni artistici si manifestò ulteriormente nel 1930 quando, nell'articolo 733 del Codice Penale (R.D. 1938 del 19.1.1930), venne stabilita una sanzione per il danneggiamento del patrimonio archeologico, storico o artistico nazionale, nonché per il deturpamento delle bellezze naturali. Ma è senza dubbio nel 1939 che la tutela dei beni culturali e naturali subì una svolta determinante: nel mese di giugno furono emanate le leggi n. 1089 e n. 1497, fondamentali per una definizione precisa del campo d'azione della tutela in campo culturale e ambientale.

La L. 1089, promossa dall'allora Ministro all'Educazione Nazionale Giuseppe Bottai, volle ribadire l'importanza primaria che il Regime assegnava all'arte, quale strumento indispensabile di educazione della collettività.

Furono considerate nuove tipologie di manifestazioni artistiche, spaziando dagli oggetti di carattere storico-artistico a quelli appartenenti all'arte contemporanea, fino a comprendere

gli Archivi e la Discoteca di Stato, il diritto d'autore e il restauro, l'urbanistica e le relative organizzazioni amministrative. Fu affrontato inoltre, per la prima volta, il tema della fruizione, gestione e promozione del patrimonio. Le successive leggi in materia di tutela, sebbene abrogative di diversi articoli della L. 1089, ne conserveranno l'impianto logico.

Con la Legge n. 1497 il concetto di paesaggio entrò a far parte, a tutti gli effetti, del patrimonio nazionale, il quale risulterà, quindi, definitivamente suddiviso in beni storico-artistici e beni paesaggistici, fondamentali ai fini della determinazione dell'identità nazionale. Nove anni più tardi, il primo Gennaio 1948, entrò in vigore la Costituzione Italiana, il cui articolo 9 recita: «La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione»; risultano evidenti il recepimento dei concetti espressi nelle leggi del 1939 e la correlazione in cui vengono posti sapere e patrimonio storico e artistico, sotto una nuova concezione della cultura, orientata al pubblico godimento con fini di ricerca e di promozione, sia pur dichiaratamente con esigenze di tutela. Se, come precedentemente

18. Legge n. 1089 del 1 giugno 1939: Tutela delle cose di interesse artistico e storico, Capo I.

19. Atti della Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio, 1967.

20. La Commissione Papalardo venne istituita nel 1968 dal Ministero della Pubblica Istruzione, come la Franceschini; concluse i lavori due anni dopo con la bozza di un d.d.l. sulla Tutela e valorizzazione dei beni culturali.

21. Orsetti, 2005.

scritto, l'espressione "bene culturale" apparve in ambito internazionale nel 1954, nel linguaggio giuridico italiano venne introdotta diversi anni dopo dalla "Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, artistico, archeologico e del paesaggio", detta anche Commissione Franceschini, istituita con la legge n. 310 del 26 aprile 1964, e attiva fino al 1966.

Per la prima volta fu proposta una nozione unitaria di bene culturale, profondamente innovativa rispetto ai precedenti concetti di "cose, immobili e mobili, che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnografico"<sup>18</sup>, fissati dalle Leggi n. 1089 e n. 1497.

Il documento conclusivo della Commissione recita: «Appartengono al patrimonio culturale della Nazione tutti i beni aventi come riferimento la storia della civiltà. Sono assoggettati alla legge i Beni di interesse archeologico, storico, artistico, ambientale e paesistico, archivistico e librario ed ogni altro bene che costituisca testimonianza materiale avente valore di civiltà»<sup>19</sup>. Tale concetto fu ripreso in seguito dalla Commissione Papaldo<sup>20</sup>. In occasione dell'istituzione del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali (D. L. 14 dicembre 1974, n.

657, successivamente convertito nella Legge n. 5 del 29 gennaio 1975), il legislatore utilizzò per la prima volta questa nuova terminologia, distaccandosi definitivamente dalla visione estetizzante delle leggi n. 1089 e n. 1497. A tale istituzione furono affidate le responsabilità spettanti al Ministero della Pubblica Istruzione per le attività e le belle arti, per le accademie, le biblioteche e per la diffusione della cultura, nonché quelle per la sicurezza del patrimonio nazionale.

Ventiquattro anni più tardi, con il Decreto Legislativo n. 368 del 20 ottobre 1998, in forza della legge delega n. 57/97, tale ufficio sarà sostituito dal Ministero per i beni e le attività culturali, poiché la dicitura "ambientali" aveva causato non poche conflittualità con il Ministero per l'Ambiente, sorto nel frattempo (1986)<sup>21</sup>.

Tuttavia l'introduzione dei termini "attività culturali" conferisce al Ministero attribuzioni anche in materia di spettacolo, di sport e di impiantistica sportiva, ponendo i presupposti per quella interdisciplinarietà, tipicamente connaturata con ogni manifestazione culturale, che veniva richiesta al Ministero da Parlamento e opinione pubblica.

Nello stesso anno il legislatore fornì una definizione precisa di bene cultu-

rare: nella prima parte dell'art. 148, lett. a), del D. Lg. 112/1998<sup>22</sup>, si afferma che sono beni culturali «quelli che compongono il patrimonio storico, artistico, monumentale, demoetno-antropologico, archeologico, archivistico e librario», altresì quelli costituenti testimonianza avente valore di civiltà così individuati in base alla legge.

Vengono, nel suddetto decreto, comprese le categorie già elencate dalla legge 1089/1939, attuando però l'accortezza di sostituire al termine “cose” quello più appropriato di “patrimonio”.

La definizione rimane inoltre aperta all'individuazione di nuovi beni, considerabili tali per il loro valore di “testimonianza di civiltà”.

Da un'espressione iniziale quale era quella del 1939: “cose d'interesse storico, artistico e archeologico”, si arrivò quindi a un concetto molto più ampio di bene culturale, comprensivo di tutto ciò che acquista significatività documentaria della cultura di un popolo, superando il limite della “materialità” imposto dalla Commissione Franceschini.

Per porre chiarezza nella materia, ormai congestionata dalle mille modifiche alla L. 1089/39, il Parlamento conferì delega al Governo, con L. 352/97,

per predisporre un testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali, varate nei 60 anni precedenti.

Il D. Lgs. n. 490 del 29.10.1999, “Testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali”, ricomprende nei suoi 166 articoli, discretamente coordinati fra loro, tutta la precedente giurisprudenza nazionale nonché il recepimento delle Convenzioni internazionali e dei Regolamenti e delle Direttive della Comunità Europea.

Affermando che i beni culturali costituiscono “il patrimonio storico artistico nazionale”<sup>23</sup>, il T. U., a differenza dell'1089/1939, incluse nella categoria di bene culturale anche i “beni archivistici” (già disciplinati dal d.p.r. 30 settembre 1963, n. 1409) i “beni librari” e le “fotografie con relativi negativi e matrici, aventi carattere di rarità e pregio artistico o storico”.

Le direttive inserite nella L. 1089/39 rimangono tuttavia il nucleo centrale del Testo Unico che, oltre alla tutela, prevede anche finalità di valorizzazione del patrimonio, secondo le mutate esigenze dei tempi.

Viene, inoltre, innovato il procedimento della dichiarazione di interesse per i beni facenti parte delle

22. D.L. n. 112 del 31 marzo 1998: “Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59” pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 92 del 21 aprile 1998 - Supplemento Ordinario n. 77.

23. D.L. n. 490 del 29 ottobre 1999: *Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali*, art. 1.

24. Art. 10 del Codice «le cose immobili...appartenenti allo Stato, alle regioni, agli altri enti pubblici territoriali, nonché ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro, che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico».

25. D. Lgs 42/2004, Parte Terza.

ricchezze storiche, artistiche, demografiche, etno-antropologiche, archeologiche, archivistiche e librerie, appartenenti a soggetti privati.

La dichiarazione, sancisce il Testo, deve avvenire quale atto conclusivo di un procedimento di identificazione del bene da tutelare, separatamente dall'atto di notifica della dichiarazione stessa all'interessato, concedendo a quest'ultimo dei termini di garanzia secondo quanto intervenuto con la L. 241/90.

Un'ulteriore, definitiva codifica e riorganizzazione in materia di beni culturali e ambientali fu promossa dal Parlamento con la Legge 137/2002 che, con l'articolo 10, delegava il Governo ad emanare, entro 18 mesi dalla sua entrata in vigore, uno o più decreti legislativi «per il riassetto e la codificazione delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali».

Con tale delega prese corpo il cosiddetto Codice Urbani, D. Lgs. n. 42 del 22.1.2004 che, pur presentando elementi di continuità con il precedente T.U. e con la legge 1089, innovò profondamente la legislazione in materia, intervenendo sui concetti fondamentali di tutela, fruizione e valorizzazione del patrimonio, modificando, inoltre, in maniera partico-

larmente incisiva la struttura organizzativa del ministero preposto.

Il testo rappresenta la prima esperienza codicistica del nostro Ordinamento in materia: organizzato in cinque parti e 184 articoli, fissa, per la prima volta, il fondamentale riconoscimento del carattere unitario che la tutela deve avere, organica e omogenea nella salvaguardia di patrimonio storico-artistico e patrimonio paesaggistico.

Il paesaggio verrà considerato, da questo momento in poi, parte integrante del patrimonio culturale, al pari degli altri beni presenti nel nostro Paese.

Viene regolamentato anche il rapporto fra Stato e Regioni: lo Stato estende il suo controllo mentre limita la sua gestione, ammettendo forme di intesa e cooperazione con le Regioni e altri enti locali.

Le Soprintendenze per i Beni Architettonici e Paesaggistici sono gli organi periferici del Ministero, deputati all'individuazione, tutela e valorizzazione dei beni immobili facenti parte del patrimonio.

La funzione di tali enti si esplica principalmente in relazione al rispetto dei vincoli imposti dal Codice Urbani, relativi all'azione di "tutela monumentale"<sup>24</sup> e di "tutela paesaggistica"<sup>25</sup>.

26. D- L. n. 70 del 13 maggio 2011, “Semestre Europeo-Prime disposizioni urgenti per l’economia” convertito in legge il 12 luglio 2011, con L.106/2011. All’articolo 4 comma 16 si legge: “Per (...) semplificare i procedimenti amministrativi relativi ad interventi edilizi nei Comuni che adeguano gli strumenti urbanistici alle prescrizioni dei piani paesaggistici regionali, al Codice dei beni culturali e del paesaggio, di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, e successive modificazioni, sono apportate le seguenti modificazioni:

a) all’articolo 10, il comma 5 è sostituito dal seguente: «Salvo quanto disposto dagli articoli 64 e 178, non sono soggette alla disciplina del presente Titolo le cose indicate al comma 1 che siano opera di autore vivente o la cui esecuzione non risalga ad oltrecinquanta anni, se mobili, o ad oltre settanta anni, se immobili, nonché le cose indicate al comma 3, lettere a) ed e), che siano opera di autore vivente o la cui esecuzione non risalga ad oltre cinquanta anni»;

b) all’articolo 12, il comma 1 è sostituito dal seguente: «1. Le cose indicate all’articolo 10, comma 1, che siano opera di autore non più vivente e la cui esecuzione risalga ad oltre cinquanta anni, se mobili, o ad oltre settanta anni, se immobili, sono sottoposte alle disposizioni della presente Parte fino a quando non sia stata effettuata la verifica di cui al comma 2;

c) all’articolo 54, comma 2, lettera a), il primo periodo è così sostituito: “a) le cose appartenenti ai soggetti indicati all’articolo 10, comma 1, che siano opera di autore non più vivente e la cui esecuzione risalga ad oltre cinquanta anni, se mobili, o ad oltre settanta anni, se immobili, fino alla conclusione del procedimento di verifica previsto dall’articolo 12».

27. Ivi, art. 29.

28. Ivi, art. 21, comma 4.

29. Ivi, art. 136.

30. La legge è denominata “Disposizioni per i musei degli enti locali, lo sviluppo delle ricerche archeologiche ed il finanziamento di opere urgenti per la conservazione dei monumenti”.

31. Art. 4, L.R. Sardegna n. 1/1958.

32. La L.R. n. 1/1958 viene modificata dalla L.R. Sardegna n. 2/1969 “Modifiche alla legge regionale 7. 2. 1958, n.1 concernente disposizioni per i musei degli enti locali, lo sviluppo delle ricerche archeologiche

In linea generale sono soggetti a tutela monumentale, e quindi sottoposti a vincolo, i beni immobili (pubblici o privati), realizzati da almeno settanta anni e opera di artista non più vivente<sup>26</sup>, per i quali si sia proceduto alla “dichiarazione di interesse culturale”.

Il proprietario di un bene vincolato ha l’obbligo di conservarlo «mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro»<sup>27</sup>, sottoponendo ogni tipo di intervento alla verifica e autorizzazione del Soprintendente<sup>28</sup>.

L’articolo 45 affianca alla tutela diretta del singolo bene anche quella indiretta, rivolta a ciò che ne caratterizza le immediate vicinanze, suggerendo di porre particolare attenzione e sensibilità negli interventi relativi al contesto più prossimo al monumento, affinché non «ne sia danneggiata la prospettiva o la luce o ne siano alterate le condizioni di ambiente e di decoro».

La tutela paesaggistica, così come indicato nella Parte Terza del Codice, salvaguarda tutto ciò che è “manifestazione identitaria” del popolo che abita un territorio, apponendovi una propria impronta storica e culturale. Nello specifico, «sono soggetti alle

disposizioni di questo Titolo per il loro notevole interesse pubblico: a) le cose immobili che hanno cospicui caratteri di bellezza naturale o di singolarità geologica; b) le ville, i giardini e i parchi, non tutelati dalle disposizioni della Parte seconda del presente codice, che si distinguono per la loro non comune bellezza; c) i complessi di cose immobili che compongono un caratteristico aspetto avente valore estetico e tradizionale; d) le bellezze panoramiche considerate come quadri e così pure quei punti di vista o di belvedere, accessibili al pubblico, dai quali si goda lo spettacolo di quelle bellezze»<sup>29</sup>, così come già definito, peraltro, dalle precedenti leggi 1039/1939 e 431/1985. Risulta evidente il grado di soggettività su cui si basa l’articolo, che fonda il giudizio di valore culturale del bene esclusivamente su questioni estetiche e, quindi, assolutamente non oggettive.

Esistono tuttavia ulteriori ambiti, come ad esempio i centri storici, la cui tutela è assicurata da altri strumenti normativi di governo del territorio, come espresso nell’articolo 145 del Codice: i Piani Paesaggistici a livello di regione; i Piani Particolareggiati per il Centro Storico e i Regolamenti Edilizi a livello di comunale.



### **La tutela a livello locale. Il caso della Regione Sardegna**

Il secondo comma dell'articolo 177 della Costituzione Italiana afferma che lo Stato ha legislazione esclusiva in materia di tutela dell'ambiente, dell'ecosistema e dei beni culturali (secondo la riforma del Titolo V della Costituzione intervenuta con legge Costituzionale n. 3 del 2001); le motivazioni di questa precisazione sono da ritrovare nella necessità di conferire una maggiore uniformità ed omogeneità strategica all'azione di tutela sull'intero territorio nazionale. Non viene tuttavia esclusa la possibilità, da parte delle Regioni, di introdurre misure di controllo più rigorose, adattate ai diversi contesti territoriali, in attuazione del principio della differenziazione e della sussidiarietà. In tal senso, peraltro, lo stesso articolo prevede, al 3° comma, tra le materie di legislazione concorrente, anche la valorizzazione dei beni culturali e ambientali e la promozione e organizzazione di attività culturali. Così come l'articolo 118 prevede forme d'intesa e coordinamento tra Stato e Regioni nella esplicitata materia della tutela del patrimonio culturale. Tuttavia, le difficoltà nella ripartizione delle funzioni fra Stato, Regioni

ed Enti locali, relativamente alla tutela del patrimonio storico-culturale, si manifestarono fin dai lavori della Costituente con accese contestazioni fra "regionalisti" e sostenitori del sistema centralistico.

La questione venne affrontata, alla ricerca di una risoluzione definitiva, dal Codice Urbani dove, nell'art. 5 si afferma: «Le regioni, nonché i comuni, le città metropolitane e le province, di seguito denominati "altri enti pubblici territoriali", cooperano con il Ministero nell'esercizio delle funzioni di tutela».

Lo Statuto sardo attribuì alla Regione competenze di tipo esclusivo solamente per quanto riguarda "biblioteche e musei appartenenti ad enti locali", "pubblici spettacoli", "antichità e belle arti" ossia veri e propri frammenti dell'intero ambito culturale.

La legge n. 1 del 7 febbraio 1958<sup>30</sup> sottolineava tuttavia la funzione di custodia attribuita alla Regione, tramite l'Assessorato alla Pubblica Istruzione, nonché la facoltà di finanziare lavori di ricerca e sistemazione "intesi a sviluppare e valorizzare il patrimonio"<sup>31</sup>. Con la modifica alla suddetta legge<sup>32</sup>, l'esecuzione, l'assistenza tecnica e scientifica e la progettazione dei lavori inerenti i beni culturali cambiarono di pertinenza, passando

*ed il finanziamento di opere urgenti per la conservazione dei monumenti”.*

33. L.R. n. 45/1989, art. 1, punto 2 c).

34. Ci si riferisce all’istituzione dei PTP: “Capo Falcone e stagni costieri di Argentiera e Porto Ferro”, “Media e Bassa Valle del Coghinas”, “San Teodoro e Budoni”, “Sardegna Nord Occidentale”, “Montiferru”, “Golfo di Oristano”, “Giara di gestori, Genoni e Monte Arci”, “Gallura”, “Sardegna orientale”, “Arbus”, “Manganai”, “Sud Est della Sardegna”, “Isole i San Pietro e Sant’Antioco”, “Sinis”.

35. M.R. Marchi, *Urbanistica in Sardegna, dalla legge “Salvacoste” al Testo Unico dell’edilizia*, Marchi Editrice Sarda, Cagliari 2005, p. 25.

36. Deliberazione della Giunta regionale n. 33/1 del 10 agosto 2004.

37. Norme Tecniche di Attuazione, L.R. n. 8 del 25/11/2004, Parte I “Disposizioni generali”, Titolo I “Principi generali”, art. 1, punto 4.

da quell’Assessorato alle Soprintendenze.

L’autonomia d’intervento del potere regionale rimase comunque fortemente condizionata dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali; al contrario la tutela dei beni specificamente ambientali fu caratterizzata senza dubbio da maggiore libertà, a livello di regione. La finalità, i soggetti e gli strumenti della pianificazione territoriale vennero definiti dalla Legge Regionale del 22 dicembre 1989 “Norme per l’uso e la tutela del territorio regionale”. E’ da sottolineare l’articolo introduttivo, dove si afferma che i soggetti della pianificazione (Regione, Province, Comuni) «assicurano la più rigorosa tutela delle risorse territoriali, con particolare riguardo alla salvaguardia del patrimonio naturale, ambientale, artistico e culturale, ai fini della loro valorizzazione»<sup>33</sup>. A questo scopo venne proposta l’istituzione, con l’articolo 33, Titolo VI, delle Commissioni provinciali per le bellezze naturali.

L’esplicazione degli strumenti di pianificazione, nel Titolo II, stabilì con chiarezza la suddivisione di competenze nei diversi livelli; il livello di tutela ambientale era quello regionale, con le cospicue norme di salvaguardia che trovavano attuazione nel

Piano Territoriale Paesistico (P.T.P.). Quest’ultimo deteneva, infatti, il compito di salvaguardare le aree di maggiore interesse naturalistico, ambientale e storico-artistico, assicurare la prevalenza degli interessi ambientali e paesistici su qualsiasi piano e qualsiasi intervento modificativo dell’ambiente. Negli anni successivi l’impegno degli esperti della Giunta regionale si focalizzò sulla redazione di quattordici PTP<sup>34</sup>, approvati nell’agosto 1993, con l’intento di coprire, nell’insieme, buona parte del territorio isolano, specialmente costiero.

I pesanti vincoli istituiti, causando il malcontento delle comunità interessate, portarono però al ricorso al Capo dello Stato; nel 1998 tredici dei quattordici PTP vennero annullati per effetto di diversi decreti del Presidente della Repubblica e di numerose sentenze del TAR<sup>35</sup>: i Piani presentavano un grado di disomogeneità fra loro ritenuto inaccettabile, per effetto di un’inadeguata visione d’insieme. Ne derivò una situazione di precarietà nel sistema di governo del territorio dell’Isola e di incertezza nel quadro normativo regionale e locale; l’intero territorio sardo, in particolare l’arco costiero, con la sola eccezione del Sinis (per la quale non vi fu annullamento del PTP n. 7), si

venne a trovare privo di indirizzi per la pianificazione e tutela del paesaggio e dell'ambiente.

In sintesi il territorio si presentava differenziato in:

- Comuni dotati di PUC elaborati con il supporto dello Studio di Compatibilità Paesistica Ambientale in coerenza con i previgenti PTP;
- Comuni ricadenti nell'ambito territoriale disciplinato dal PTP n. 7 del Sinis;
- Comuni dotati di Piano Regolatore o di Programma di Fabbricazione non adeguato alla Legge regionale 22 dicembre 1985 n. 45° alle norme d'attuazione dei PTP.

Emerse dunque l'urgenza di adottare misure cautelari per impedire il venir meno dei connotati primari, caratterizzanti il patrimonio culturale, paesistico e ambientale della Sardegna, tutelandone l'integrità e le potenzialità da interventi speculativi, come affermato in una Delibera della Giunta nell'estate 2004<sup>36</sup>.

Per porre rimedio a tale caos legislativo, il 25 Novembre 2004 venne varata la Legge Regionale n. 8 "Norme urgenti di provvisoria salvaguardia per la pianificazione paesaggistica e la tutela del territorio regionale", conosciuta come "Salvacoste". L'articolo 1 recita: «La Giunta Regionale,

entro 12 mesi dall'entrata in vigore della presente legge, adotta il Piano Paesaggistico Regionale (P.P.R.) principale strumento della pianificazione territoriale regionale ai sensi dell'art. 135 del già citato Codice dei beni culturali e del paesaggio, al fine di assicurare un'adeguata tutela e valorizzazione del paesaggio».

Il PPR della Regione Sardegna entrò in vigore con l'intento di «preservare, tutelare, valorizzare e tramandare alle generazioni future l'identità ambientale, storica, culturale e insediativa del territorio sardo; proteggere e tutelare il paesaggio culturale e naturale e la relativa biodiversità; assicurare la salvaguardia del territorio e promuoverne forme di sviluppo sostenibile, al fine di conservarne e migliorarne le qualità»<sup>37</sup>. Ecco perché grande importanza fu data, in fase di predisposizione del piano, alla ricognizione del patrimonio storico-culturale, con la realizzazione di un monitoraggio dei beni culturali, archeologici, architettonici, artistici e storici, mediante l'utilizzo di un database relazionale e di un GIS. Tale fase preliminare portò alla delimitazione di diversi ambiti di tutela e all'individuazione, anche ad opera dei singoli Comuni, dei cosiddetti "beni identitari" sottoposti a vincolo. La protezio-

ne e conservazione di tale patrimonio, insieme alla riqualificazione delle aree compromesse, spetta tutt'oggi all'Ufficio Regionale per la Tutela del Paesaggio, che, a seguito del parere vincolante espresso dalla Soprintendenza, rilascia o meno le istanze di autorizzazione a procedere sui beni vincolati. Con il PPR il parere della Soprintendenza si estende, quindi, anche all'ambito dei beni paesaggistici, richiesto sia per gli interventi di restauro architettonico che per quelli di riqualificazione energetica<sup>38</sup>.

Come definito dall'art. 8 delle Norme Tecniche di Attuazione del PPR, i beni paesaggistici sono «costituiti da quegli elementi territoriali, areali o puntuali, di valore ambientale, storico culturale ed insediativo che hanno carattere permanente e sono connotati da specifica identità, la cui tutela e salvaguardia risulta indispensabile per il mantenimento dei valori fondamentali e delle risorse essenziali del territorio, da preservare per le generazioni future»; ricade in tale categoria, già definita nel Codice dei beni culturali, anche quella dei nuclei e centri storici<sup>39</sup>, caratterizzati «l'antropizzazione del territorio a seguito di processi storici di lunga durata» e perciò facenti parte dell'«assetto territoriale storico culturale regiona-

le»<sup>40</sup>. A tali beni si applicano quindi le disposizioni previste dagli articoli 146 e 147 del D. Lgs 42/2004 e successive modifiche ed integrazioni, relative all'iter di autorizzazione paesaggistica. Ma se la valutazione degli interventi di restauro e riqualificazione di un bene monumentale risulta “guidata” da norme di tutela particolarmente rigide e stringenti, in presenza di edifici abitativi storici “minori”, quali quelli caratterizzanti i centri storici, esprimere un giudizio sulla bontà di un progetto risulta decisamente più complicato. È interessante, inoltre, sottolineare come le opere soggette ad autorizzazione paesaggistica sul costruito siano limitate agli interventi che alterano l'aspetto esteriore degli edifici o lo stato originario dei luoghi, esulando la Soprintendenza dal valutare i lavori interni alla fabbrica che, pur non modificandone i prospetti, possono impoverire il valore della testimonianza storico-culturale delle tecniche costruttive e dei materiali utilizzati.

Il 25 ottobre 2013, con atto n. 45/2, la Giunta regionale ha approvato in via preliminare, ai sensi dell'art.11 della L.R. 4/2009, l'aggiornamento e revisione del Piano Paesaggistico Regionale, al momento ancora non completata.

38. F. PIANEZZE, *L'obiettivo del miglioramento dell'efficienza energetica nel processo di conservazione del costruito storico*, tesi di dottorato, XXIV ciclo, tutor S. DELLA TORRE, V. PRACCHI, Politecnico di Milano, a. a. 2009/2012, p. 39.

39. «Sono soggetti alle disposizioni di questo Titolo per il loro notevole interesse pubblico:

(...) c) i complessi di cose immobili che compongono un caratteristico aspetto avente valore estetico e tradizionale, inclusi i centri ed i nuclei storici», art. 136, Capo II, D. Lgs. 42/2004.

40. Norme Tecniche di Attuazione del PPR, Legge Regionale 25 Novembre 2004, n. 8, art. 47 “Assetto storico culturale. Generalità ed individuazione dei beni paesaggistici e dei beni identitari”.

41. *Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici*, art.2.

42. Protocollo di Kyoto, art. 3, comma 1.

## 5.2 Riqualificazione energetica

Con l'intento di stabilizzare «le concentrazioni di gas ad effetto serra nell'atmosfera a un livello tale che escluda qualsiasi pericolosa interferenza delle attività umane sul sistema climatico»<sup>41</sup>, le Nazioni Unite stipularono la Convenzione quadro sui cambiamenti climatici (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) durante la Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite, tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992.

Tale documento, per la prima volta, poneva l'accento sul rischio ambientale causato dal progresso, obbligando i Paesi firmatari a perseguire l'obiettivo (legalmente non vincolante) di riportare le emissioni di gas serra ai livelli del 1990, entro il 2000.

Il trattato entrò in vigore il 24 marzo 1994, riconoscendo responsabilità comuni, ma differenziate in base al grado di sviluppo dei diversi Paesi aderenti. Un'ulteriore riduzione delle emissioni, pari al 5% rispetto a quelle del 1990, fu promossa pochi anni dopo, nel dicembre 1997, durante la

Terza Conferenza delle Parti, tenutasi a Kyoto, in Giappone: «Le Parti (...) assicureranno, individualmente o congiuntamente, che le loro emissioni antropiche aggregate, espresse in equivalente-biossido di carbonio, dei gas ad effetto serra (...), non superino le quantità che sono loro attribuite, calcolate in funzione degli impegni assunti sulle limitazioni quantificate e riduzioni specificate nell'Allegato B e in conformità alle disposizioni del presente articolo, al fine di ridurre il totale delle emissioni di tali gas almeno del 5% rispetto ai livelli del 1990, nel periodo di adempimento 2008–2012»<sup>42</sup>.

Il Protocollo di Kyoto, aperto alla firma a partire dal 16 marzo 1998, è entrato in vigore il 16 febbraio 2005. Nello stesso anno la Commissione Europea ha messo al centro de “Il Libro Verde dell'efficienza energetica–fare più con meno”, la promozione di tecnologie sostenibili per il miglioramento dell'efficienza energetica nei diversi campi di applicazione, mentre nel 2006, la seconda edizione (“Una stra-

43. Per raggiungere tali quote percentuali, il pacchetto fissa degli obiettivi di riduzione su base nazionale.

44. I Paesi aderenti al protocollo (194) hanno ratificato l'estensione del patto in occasione della diciottesima Conferenza delle Nazioni Unite sui Cambiamenti climatici (COP18), svoltasi tra il 26 novembre e il 7 dicembre 2012 in Qatar.

45. La Direttiva 85/377/EEC "Environmental Impact Assessment" valuta l'impatto ambientale per progetti pubblici e privati, in particolare per quanto riguarda l'uomo, la fauna, la flora, il suolo, l'acqua, il clima, il paesaggio, i beni materiali ed il patrimonio culturale (art. 3).

46. La Direttiva 93/76/EEC "Limit carbon dioxide emissions" introduce il concetto di certificazione energetica degli edifici, secondo un'ottica di miglioramento prestazionale degli stessi (art. 2) da attuare tramite l'isolamento termico degli edifici di nuova realizzazione, il controllo periodico delle caldaie e la diagnosi energetica delle imprese ad alto consumo di energia (art. 1).

47. «L'energia impiegata nel settore residenziale e terziario, composto per la maggior parte di edifici, rappresenta oltre il 40% del consumo finale di energia della Comunità. Essendo questo un settore in espansione, i suoi consumi di energia e quindi le sue emissioni di biossido di carbonio sono destinate ad aumentare» (punto 6).

48. Direttiva 2002/91/CE, punto 7.

49. Ivi, Art. 4.

50. Ivi, Art. 2, comma 2.

51. Ivi, punto 13.

tegia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura") pose le basi del Piano d'Azione del Consiglio Europeo 2007-2009 ("Politica energetica per l'Europa"), che portò alla stesura del "Pacchetto Clima-Energia 20-20-20", approvato nel 2008. Gli obiettivi dichiarati nel documento, da raggiungere entro il 2020, sono la riduzione del 20% delle emissioni di gas a effetto serra, il raggiungimento del 20% di risparmio energetico e un incremento del 20% nel consumo di fonti rinnovabili<sup>43</sup>, a testimoniare l'impegno del Parlamento Europeo nel perseguire e migliorare gli obiettivi del Protocollo di Kyoto.

Tuttavia, la Commissione Europea, nel marzo 2011, presa coscienza della possibilità di conseguire un risparmio energetico massimo pari alla metà di quello inizialmente prefissato, in considerazione delle misure fino ad allora adottate dagli Stati membri, emana il nuovo Piano di Efficienza Energetica, prevedendo una serie di provvedimenti contro governi e privati colpevoli di non raggiungere gli obiettivi previsti.

Il fallimento delle strategie messe in atto per la riduzione delle emissioni hanno portato, inoltre, all'estensione del Protocollo di Kyoto al 2020<sup>44</sup>, parallelamente alla pianificazione di

una serie di accordi che, entro il 2015, vincoleranno legalmente i Paesi sottoscrittori ad una ulteriore riduzione di consumi, da attuare entro il 2020.

### Le direttive europee

A partire dagli impegni presi in occasione del Protocollo di Kyoto, l'Unione Europea ha promosso delle nuove politiche comunitarie che, tramite una serie di norme e direttive, mirano a contrastare le cause dei cambiamenti climatici promuovendo, allo stesso tempo, un'innovazione tecnologica sostenibile e a basso consumo energetico, capace di rendere altamente competitivo il mercato europeo.

Tuttavia un embrionale interesse per le sorti ambientali ed energetiche mondiali era evidente già dalla metà degli anni '80, probabilmente suscitato dalla recente crisi petrolifera e dalla Conferenza di Rio: il 7 giugno 1985 il Parlamento Europeo emanava infatti la Direttiva 85/377/EEC<sup>45</sup>, seguita, il 13 settembre 1993, dalla 93/76/EEC<sup>46</sup>, che per prime introducevano i concetti di valutazione di impatto ambientale e certificazione energetica. Il principale strumento normati-

vo comunitario in tema di riduzione dei consumi energetici rimane però la Direttiva 2002/91/CE “*Energy Performance of Buildings Directive*” (EPBD) che, recepita nei diversi Stati membri dell’Unione, ha dato luogo a numerose norme a carattere locale.

La cosiddetta EPBD, dopo un inquadramento generale del problema energetico degli edifici<sup>47</sup> e degli obiettivi raggiunti con la 93/76/CEE, rimarca «l’esigenza di uno strumento giuridico complementare che sancisca interventi più concreti al fine di realizzare il grande potenziale di risparmio energetico tuttora inattuato e di ridurre l’ampio divario tra le risultanze dei diversi Stati membri in questo settore»<sup>48</sup>.

Tale divario viene colmato da una serie di regole comuni, ma al tempo stesso differenziate in base alla zona climatica nella quale ricade il territorio dei diversi Paesi coinvolti. Il compito di istituire i requisiti minimi di rendimento energetico viene quindi affidato ai singoli Stati membri che, tenendo conto delle «condizioni generali del clima degli ambienti interni (...) nonché delle condizioni locali, dell’uso cui l’edificio è destinato e della sua età»<sup>49</sup>, fissano dei parametri da rivedere con scadenze regolari, a intervalli non superiori ai 5 anni.

Diventa quindi necessario certificare le prestazioni energetica degli edifici di nuova costruzione e di quelli già esistenti. La Direttiva definisce una metodologia generale di calcolo del Rendimento Energetico, o *Energy Performance* (EP), definito come la «quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell’edificio, compresi, tra gli altri, la climatizzazione invernale, il riscaldamento dell’acqua, il raffreddamento, la ventilazione, l’illuminazione»<sup>50</sup>.

L’EP viene quindi calcolato tenendo conto della coibentazione, delle caratteristiche tecniche dell’edificio e di quelle climatiche del sito scelto per l’edificazione (esposizione al sole, influenza delle eventuali strutture adiacenti, orientamento).

Ai fini del presente lavoro, diventa fondamentale sottolineare la particolare attenzione data dalla Direttiva alla riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, nell’ambito del quale una «ristrutturazione importante dovrebbe essere considerata un’opportunità di migliorare il rendimento energetico mediante misure efficaci sotto il profilo dei costi»<sup>51</sup>.

L’EPBD fa particolare riferimento agli «edifici esistenti di grande metratura

ra»<sup>52</sup>, «superiore a 1000 m<sup>2</sup>»<sup>53</sup>, prevedendo tuttavia la possibilità di non applicare i requisiti definiti per alcune categorie di fabbricati, fra cui gli edifici adibiti al culto e gli «edifici e monumenti ufficialmente protetti come patrimonio designato o in virtù del loro speciale valore architettonico o storico, nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe un'alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto»<sup>54</sup>, lasciando quindi ampia libertà di valutazione agli addetti ai lavori.

L'EPBD, anche in virtù del mancato raggiungimento degli obiettivi previsti dal "Pacchetto Clima-Energia", viene abrogata il 1° febbraio 2012 dalla Direttiva 2010/31/CE, emanata dall'Unione Europea nel maggio del 2010 e necessaria alla migliore definizione di quanto disposto nella precedente direttiva.

Lasciando inalterata la possibilità, per i Paesi membri dell'Unione, di stabilire i requisiti di efficienza relativi al proprio territorio, l'EPDB2 sottolinea la necessità di attuare nuove strategie di risparmio energetico, in modo da raggiungere gli obiettivi fissati dal pacchetto "Clima-Energia": le costruzioni realizzate a partire dal 31 dicembre 2020 dovranno essere in grado di autoprodurre la quantità di

energia necessaria alla loro fruizione, tramite approvvigionamento da fonti rinnovabili, così come gli edifici pubblici che, entro il 31 dicembre 2018, dovranno adeguarsi allo standard degli "edifici a energia quasi zero".

Per quanto concerne gli edifici esistenti, viene meglio chiarito il concetto di "ristrutturazione importante", introdotto dalla EPBD per edifici con superficie superiore ai 1000 m<sup>2</sup> e ora definito come «ristrutturazione di un edificio quando:

a) il costo complessivo della ristrutturazione per quanto riguarda l'involucro dell'edificio o i sistemi tecnici per l'edilizia supera il 25% del valore dell'edificio, escluso il valore del terreno sul quale questo è situato; oppure

b) la ristrutturazione riguarda più del 25% della superficie dell'involucro dell'edificio»<sup>55</sup>.

In tal modo viene introdotto l'obbligo di rispettare i requisiti stabiliti dalla normativa anche per gli edifici minori, con dimensioni medio-piccole e quindi particolarmente rappresentativi dell'intero patrimonio costruito. Tuttavia, come la precedente direttiva, anche la 2010/31/CE prevede la possibilità di andare in deroga all'adeguamento ai minimi requisiti ener-

52. lvi, art. 1.

53. lvi, art. 6.

54. lvi, art. 4, comma 3.

55. Direttiva 2010/31/CE, art. 2, comma 10.

56. L'incarico è stato dato, con mandato M/343/2004, all'European Committee for Standardization (CEN).

57. La *Concerted Action - Energy Performance of Buildings Directive* coadiuva i Paesi Membri nella ricerca di una giusta armonizzazione del recepimento della direttiva, con particolare riguardo nei confronti della certificazione energetica degli edifici, istituendo un network capace di favorire la circolazione delle idee.

58. E. LUCCHI, V. PRACCHI (a cura di), *Efficienza energetica e patrimonio costruito. La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli Editore, Milano 2013, p. 16.

59. La BR10 è entrata legalmente in vigore il 1° luglio 2010, ma con un periodo di transizione di 6 mesi.



getici per edifici di valore storico e architettonico, nel caso in cui gli interventi di riadeguamento arrechino danno al loro carattere o aspetto.

Per agevolare il recepimento da parte degli Stati membri di quanto previsto dalla EPBD, la Commissione europea<sup>56</sup> ha approntato una serie di norme tecniche utili alla predisposizione di una metodologia standardizzata e condivisa per il calcolo delle prestazioni energetiche, affiancata da un insieme di specifiche Azioni Concertate (C.A. EPBD)<sup>57</sup>.

Ad oggi tutti i Paesi dell'Unione hanno compiuto l'iter di implementazione richiesto dalla norma: «il trend è stato quello di recepire la Direttiva a livello nazionale; solo l'Italia ha optato per una legislazione concorrente stato-regioni, emanando cioè leggi a livello nazionale ma delegandone l'attuazione agli organi subordinati, mentre il Belgio, in funzione della sua particolare situazione politica ed amministrativa interna, ha recepito la EPBD unicamente a livello regionale»<sup>58</sup>.

I 27 Paesi coinvolti hanno utilizzato diverse procedure di calcolo e riscontrato oggettive difficoltà dovute prevalentemente alla mancanza di precise indicazioni per il reperimento dei dati su climatizzazione estiva

e illuminazione (che sono stati, di fatto, spesso inevitabilmente esclusi dal computo) e di linee guida per l'intervento sugli edifici preesistenti.

In Austria l'EPBD è stata recepita tramite l'*Energy Certification Providing Act* del 26 maggio 2006, successivamente rivisto e aggiornato nell'ottobre 2011. Le relative *OIB-Guideline* (*Office for Infrastructure and logistics in Brussel*) stabiliscono un limite massimo di energia primaria per unità di superficie di pavimento, la tenuta all'aria dell'edificio, la correzione dei ponti termici e il rispetto di determinati requisiti di qualità per gli impianti di condizionamento, produzione dell'acqua calda sanitaria e ventilazione. Nel nuovo *Energy Certificate for Residential Buildings*, in vigore dal 2011, viene data una singola valutazione alla domanda di energia per il riscaldamento (*useful energy demand for heating*), al consumo di energia primaria (*primary energy demand*) e alle emissioni di CO<sub>2</sub> per poi ottenere un *efficiency factor* capace di mettere in relazione la domanda finale di energia con un valore finale di riferimento (fig. 70).

In Danimarca, la nuova *Danish Building Regulation* (BR10), è entrata in vigore dal gennaio 2011<sup>59</sup> apportando alcune novità relative alla certifica-

Fig. 70: Esempio di *Energy Certificate for Residential Buildings*, OIB2011.

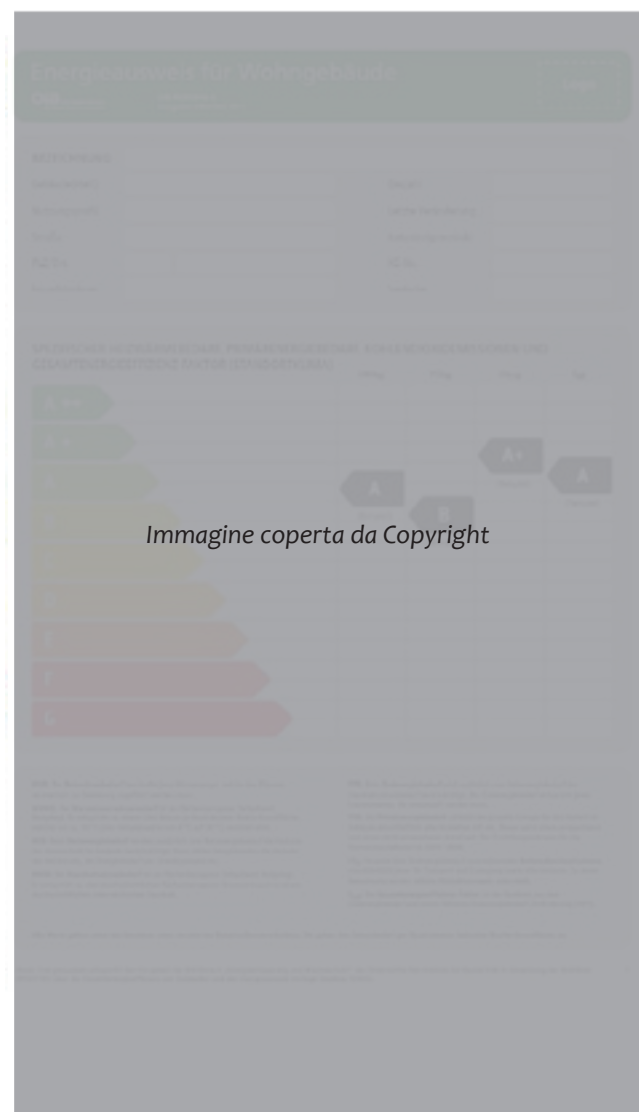


Immagine coperta da Copyright

60. La RT2012 fissa come limite massimo di consumo energetico per un edificio di nuova realizzazione 50 kWh/m2 annui.

61. Legge n. 373 del 30 aprile 1976: “Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici”, art. 1.

62. Oltre a stabilire che gli impianti devono essere dimensionati in modo tale da assicurare una temperatura interna degli ambienti non superiore ai 20°C (Art. 3), la legge n. 373 introduce il nuovo concetto di “coefficiente volumico globale di dispersione termica”, «espresso in chilocalorie al metro cubo per ora per salto termico di un grado centigrado (kcal/h m3 °C)» (art. 14).

63. D.P.R. n. 1052 del 28 giugno 1977: “Regolamento di esecuzione alla Legge 30 aprile 1976, n. 373 relativa al consumo energetico per usi termici negli edifici”;

D.M. del 10 marzo 1977 “Determinazione delle zone climatiche, dei valori minimi e massimi dei relativi coefficienti volumici di dispersione termica”;

D.M. del 30 luglio 1986 “Aggiornamento dei coefficienti di dispersione termica degli edifici”.

64. Legge 373/1976, art. 14.

zione. In particolare le classi energetiche di riferimento sono passate da 14 (da A1 a G2) a 8. È consentito l’uso di edifici nuovi, o che cambiano destinazione d’uso, solo qualora essi rientrino all’interno della classe energetica B, riscontrabile nella certificazione obbligatoria, dal gennaio 2007, per la vendita di qualsiasi tipo di immobile, residenziale o no.

La *Réglementation Thermique 2012* (RT2012) rappresenta il recepimento della Direttiva 2010/31/CE in Francia e ha come obiettivo, oltre alla riduzione dei consumi energetici<sup>60</sup> e delle emissioni di gas serra, anche la promozione dello sviluppo di nuove tecnologie e l’indipendenza energetica nazionale. Sono oggetto della RT2012 tutti gli edifici, nuovi o preesistenti, per i quali venga richiesto un “permesso di costruire” a partire dal gennaio 2013. Come nella precedente RT2005, i requisiti minimi vengono stabiliti in base all’orientamento dell’edificio, al clima, ai sistemi solari passivi e alle protezioni solari eventualmente presenti, ai guadagni interni, all’illuminazione naturale e all’uso di energie rinnovabili.

Le ristrutturazioni sono soggette al rispetto di limiti specifici per i diversi elementi componenti la fabbrica, ovvero per caldaie, sistemi di riscalda-

mento e condizionamento, sistemi di produzione dell’acqua calda sanitaria, isolamento, ventilazione, illuminazione e infissi.

In Germania la normativa di recepimento della EPBD è la *Energieeinsparverordnung-EnEV* del 2009. Il calcolo delle prestazioni energetiche è differenziato in base alla destinazione d’uso dell’immobile: per gli edifici commerciali si considerano infatti anche i consumi derivanti da illuminazione e climatizzazione estiva, contrariamente a quanto previsto per la destinazione residenziale. L’EnEV 2009 prevede inoltre una riduzione del 30% nel consumo di energia primaria, senza distinzione fra edifici nuovi o ristrutturati.

## La normativa nazionale

In Italia, la normativa in materia di efficienza energetica prese il via dalla redazione del primo Piano Energetico Nazionale (PEN), risalente al 1975, cui seguirono diverse edizioni e aggiornamenti. Parallelamente iniziò a prendere forma una programmazione della politica energetica che portò ad una ricca produzione normativa, tutt’ora in rapida evoluzione.

«Al fine di contenere il consumo energetico per usi termici negli edifici»<sup>61</sup>, nel 1976 venne infatti varata la legge n. 373 per la regolamentazione delle prestazioni, l'installazione e l'esercizio dei diversi componenti impiantistici per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, da attuare grazie a nuove importanti indicazioni progettuali relative al sistema impiantistico e all'isolamento termico delle nuove costruzioni<sup>62</sup>. Pur riconoscendo l'importanza dei nuovi concetti introdotti dalla 373/1976 e dai suoi successivi decreti attuativi<sup>63</sup> (quali il rapporto S/V, i Gradi Giorno, ...), si ritiene utile sottolineare come, sebbene all'interno del periodo storico dell'Austerità, traspaia una comprensione ancora non sufficientemente matura del valore e dell'importanza del patrimonio preesistente, anche solo dal punto di vista economico, la cui responsabilità è demandata alla discrezione dei singoli sindaci e alle commissioni edilizie comunali, incaricati di verificare le condizioni tecniche per l'applicazione delle norme sulle caratteristiche di isolamento termico<sup>64</sup>. La successiva legge 29 maggio 1982, n. 308 "Norme sul contenimento dei consumi energetici, lo sviluppo delle fonti rinnovabili di energia e l'esercizio di

centrali elettriche alimentate con combustibili diversi dagli idrocarburi", pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale 7 luglio 1982, n. 154, ha approfondito il tema dell'utilizzo delle fonti alternative e promosso l'incentivazione al risparmio energetico. Ma la vera innovazione in merito viene attuata dalla legge 9 Gennaio 1991, n. 10, "Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia" che, introducendo il concetto di sistema edificio-impianto, sottolinea come la riduzione dei consumi non sia ottenibile esclusivamente tramite il miglioramento delle prestazioni dell'involucro, e quindi dalla diminuzione delle dispersioni, ma soprattutto grazie all'utilizzo di fonti di energia rinnovabili (o assimilate) e ad una visione integrata dell'intero immobile e dell'utilizzo che ne viene fatto, possibile grazie alla "certificazione energetica". Per quanto concerne il recupero del patrimonio preesistente l'applicazione della norma è divisa per gradi, in base al tipo di intervento, così come definito dall'art. 31 della legge 457/1978, mentre per quanto riguarda i beni sottoposti a vincolo in quanto considerati "di interesse artistico e storico" o immobili

65. Legge n. 1089 del 1 giugno 1939: “Tutela delle cose di interesse artistico e storico”, art. 1.

66. Legge n. 1947 del 29 giugno 1939: “Protezione delle bellezze naturali”, art. 1.

67. Fu emanata solo una parte dei decreti attuativi inizialmente previsti:

- il D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993 (successivamente modificato dal D.P.R. del 21 dicembre 1999, n. 551) relativo agli impianti termici;

- Il D. Lgs n. 112 del 31 marzo 1998, che dava alle Regioni il compito di redigere il Piano Energetico Regionale e di regolamentare la certificazione energetica.

68. Decreto legislativo 311/2006 “Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell’edilizia”.

69. D.Lgs. 192/2005, art. 1, comma 1.

70. UNI/TS 11300: 2008 – 1 «Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale»;

UNI/TS 11300: 2008 – 2 «Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria»;

UNI/TS 11300-3: 2010 “Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva”».

71. D.Lgs. 192/2005, art. 3, comma 2.

72. In particolare i beni ricadenti sotto la disciplina della parte seconda e dell’articolo 136, comma 1, lettere b) e c), del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, recante il codice dei beni culturali e del paesaggio nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici.

73. Direttiva 2006/32/CE relativa all’efficienza degli usi finali dell’energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.

“di notevole interesse pubblico”<sup>65</sup>, si fa riferimento alla L. 1497/1939 (e successive modifiche ed integrazioni) che prevedono l’autorizzazione del vecchio Ministero per l’Educazione Nazionale (ora Ministero per i Beni e le Attività Culturali) per qualsiasi intervento di modifica o restauro. L’attuazione della 10/1991 sarebbe dovuta essere garantita da un insieme di norme UNI, indispensabili alla definizione univoca dei metodi di calcolo da utilizzare a livello nazionale, e da una serie di decreti prescrittivi di cui però, di fatto, fu varata solo una minima parte<sup>66</sup> rendendo la norma, sebbene innovativa all’interno del panorama europeo, del tutto inefficace. Il contesto normativo è stato chiarito e regolamentato, diversi anni dopo, dai decreti attuativi di recepimento nazionale della direttiva EPBD: il D. Lgs. 192/2005<sup>67</sup> e il D. Lgs 311/2006<sup>68</sup> finalizzati alla definizione dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e delle metodologie di calcolo per la valutazione e la certificazione delle prestazioni. In particolare, il 192/2005, stabilendo «i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorirne lo sviluppo, la valorizzazione e l’integrazione delle fonti rinnovabili e la

diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico»<sup>69</sup>, fu considerato il principale riferimento normativo in materia di certificazione energetica, in quanto fu la prima legge a riconoscere il ruolo e le responsabilità del certificatore.

Oltre a fornire importanti indicazioni per il calcolo della prestazione energetica degli edifici, mediante il pacchetto di specifiche tecniche UNI/TS 11300<sup>70</sup>, il decreto fissò i requisiti per il fabbisogno di energia primaria e per la trasmittanza termica dei diversi componenti, da rispettare nel caso di nuove realizzazioni o interventi sul patrimonio già presente (tab. 4).

Nel caso di ristrutturazione di edifici già esistenti, il decreto richiede una applicazione graduale in base alla tipologia di intervento:

«a) una applicazione integrale a tutto l’edificio nel caso di:

- 1) ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l’involucro di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1.000 metri quadrati;
- 2) demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici

esistenti di superficie utile superiore a 1.000 metri quadrati;

b) una applicazione integrale, ma limitata al solo ampliamento dell'edificio nel caso che lo stesso ampliamento risulti volumetricamente superiore al 20 per cento dell'intero edificio esistente;

c) una applicazione limitata al rispetto di specifici parametri, livelli prestazionali e prescrizioni, nel caso di interventi su edifici esistenti, quali:

1) ristrutturazioni totali o parziali, manutenzione straordinaria dell'involucro edilizio e ampliamenti volumetrici all'infuori di quanto già previsto alle lettere a) e b);

2) nuova installazione di impianti termici in edifici esistenti o ristrutturazione degli stessi impianti;

3) sostituzione di generatori di calore»<sup>71</sup>.

Sono esclusi dall'applicazione del decreto «i fabbricati industriali, artigianali e agricoli non residenziali quando gli ambienti sono riscaldati per esigenze del processo produttivo o utilizzando reflui energetici del processo produttivo non altrimenti utilizzabili; i fabbricati isolati con una superficie utile totale inferiore a 50 metri quadrati; gli impianti installati ai fini del processo produttivo realizzato nell'edificio, anche se utilizzati,

in parte non preponderante, per gli usi tipici del settore civile», nonché i beni vincolati e tutelati dal D. Lgs. N. 42/2004<sup>72</sup>, nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto, con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici. Il Decreto legislativo n. 311 fu emanato nell'anno successivo a integrazione e correzione del precedente, ampliandone l'ambito di intervento agli impianti installati nelle nuove costruzioni e ai nuovi impianti installati in edifici esistenti, nonché imponendo dei limiti di trasmittanza inferiori a quelli introdotti dal 192/2005 e tuttora in vigore (tab. 5). La successiva emanazione di nuove Direttive europee<sup>73</sup>, rese necessario l'ampliamento del quadro normativo nazionale: il Decreto legislativo 115/2008 "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE", allo scopo di ridurre le emissioni di gas serra in atmosfera, introduce una serie di provvedimenti finalizzati al miglioramento dell'efficienza negli usi finali dell'energia, sia sotto il profilo dei costi che sotto il profilo dei benefici; a sua modifica e integrazione venne poi emanato il

Tab. 4: Limiti di trasmittanza U secondo il D.Lgs. 192/2005.

<b>Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture verticali opache espresse in W/m<sup>2</sup>K</b>		
Zona climatica	Dal 1° gennaio 2006	Dal 1° gennaio 2009
A	0,85	0,72
B	0,64	0,54
C	0,57	0,46
D	0,50	0,40
E	0,46	0,37
F	0,44	0,35
<b>Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture orizzontali opache espresse in W/m<sup>2</sup>K</b>		
Zona climatica	Dal 1° gennaio 2006	Dal 1° gennaio 2009
A	0,80	0,68
B	0,60	0,51
C	0,55	0,44
D	0,46	0,37
E	0,45	0,34
F	0,41	0,33
<b>Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture trasparenti comprensive degli infissi espresse in W/m<sup>2</sup>K</b>		
Zona climatica	Dal 1° gennaio 2006	Dal 1° gennaio 2009
A	5,50	5,00
B	4,00	3,60
C	3,30	3,00
D	3,10	2,80
E	2,80	2,50
F	2,40	2,20
<b>Valori limite della trasmittanza centrale termica U dei vetri espresse in W/m<sup>2</sup>K</b>		
Zona climatica	Dal 1° gennaio 2006	Dal 1° gennaio 2009
A	5,00	5,00
B	4,00	3,00
C	3,00	2,30
D	2,60	2,10
E	2,40	1,90
F	2,30	1,60

Tab. 5: Limiti di trasmittanza U secondo il D.Lgs. 311/2006.

<b>Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture verticali opache espresse in <math>W/m^2K</math></b>		
Zona climatica	Dal 1° gennaio 2008	Dal 1° gennaio 2010
A	0,72	0,62
B	0,54	0,48
C	0,46	0,4
D	0,40	0,36
E	0,37	0,34
F	0,35	0,33
<b>Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture orizzontali opache, coperture e pavimenti su locali non riscaldati o verso l'esterno (valore fra parentesi) espresse in <math>W/m^2K</math></b>		
Zona climatica	Dal 1° gennaio 2008	Dal 1° gennaio 2010
A	0,42 (0,74)	0,38 (0,65)
B	0,42 (0,55)	0,38 (0,49)
C	0,42 (0,49)	0,38 (0,42)
D	0,35 (0,41)	0,32 (0,36)
E	0,32 (0,38)	0,30 (0,33)
F	0,31 (0,36)	0,29 (0,32)
<b>Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture trasparenti comprensive degli infissi espresse in <math>W/m^2K</math></b>		
Zona climatica	Dal 1° gennaio 2008	Dal 1° gennaio 2010
A	5,00	4,60
B	3,60	3,00
C	3,00	2,60
D	2,80	2,40
E	2,40	2,20
F	2,20	2,00
<b>Valori limite della trasmittanza centrale termica U dei vetri espresse in <math>W/m^2K</math></b>		
Zona climatica	Dal 1° gennaio 2008	Dal 1° gennaio 2010
A	4,50	3,70
B	3,40	2,70
C	2,30	2,10
D	2,10	1,90
E	1,90	1,70
F	1,70	1,30

74. Il D. Lgs. 3 Marzo 2011, n. 28, “Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”, introduce l’obbligo di certificazione energetica in sede di compravendita o locazione di un immobile (Art. 13).

75. Legge 6 Agosto 2008, n.133 “Conversione in legge, con modificazioni, del D. Lgs. 25 Giugno 2008, n. 112, recante disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione tributaria”.

76. Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009 , n. 59 , “Regolamento di attuazione dell’articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia”.

77. lvi, art. 1.

78. lvi, art. 4, comma 16.

79. lvi, art. 4, comma 18, punto 1.1 c).

80. La trasmittanza periodica YIE ( $W/m^2K$ ), è definita nell’Art. 2, comma 4, del Dpr. 59/09 come “il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell’arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786:2008 e successivi aggiornamenti”.

81. E. LUCCHI, V. PRACCHI (a cura di), op. cit., p. 22.

82. «Un edificio esistente e’ sottoposto a ristrutturazione importante quando i lavori in qualunque modo denominati (a titolo indicativo e non esaustivo: manutenzione ordinaria o straordinaria, ristrutturazione e risanamento conservativo) insistono su oltre il 25 per cento della superficie dell’involucro dell’intero edificio, comprensivo di tutte le unità immobiliari che lo costituiscono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell’impermeabilizzazione delle coperture», Decreto legge 4 giugno 2013, n. 63, art. 2.

Decreto legislativo n. 56/2010 “Modifiche ed integrazioni al decreto 30 maggio 2008, n. 115, recante attuazione della direttiva 2006/32/CE, concernente l’efficienza degli usi finali dell’energia e i servizi energetici e recante abrogazioni della direttiva 93/76/CEE”. Nel 2009, il decreto di attuazione 59/2009 “Regolamento di attuazione dell’articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia”, si rivolse esclusivamente alle regioni non ancora dotate di una specifica regolamentazione in materia di efficienza energetica, con lo scopo di rendere omogeneo il contesto normativo nazionale. Il Decreto Ministeriale 26/6/2009 del Ministero dello Sviluppo Economico “Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici” reintroduce (insieme al D. Lgs. 28/2011<sup>74</sup>) l’obbligatorietà di attestazione energetica, precedentemente cancellata dalla Legge 6 Agosto 2008, n.133<sup>75</sup>, per edifici nuovi e preesistenti mentre il Dpr. 2 Aprile 2009, n. 59<sup>76</sup>, introduce, «per una applicazione omogenea, coordinata ed immediatamente operativa delle norme per l’efficienza energetica degli edifici su tutto il territorio nazio-

nale»<sup>77</sup>, la metodologia di calcolo e i requisiti minimi di prestazione energetica per la climatizzazione estiva. Gli edifici vengono classificati in base alla destinazione d’uso: i limiti massimi di trasmittanza da rispettare sono ridotti del 10% rispetto a quelli imposti dal decreto 311/2006; per tutte le altre categorie di edifici e nel caso di ristrutturazione di edifici pubblici o privati, il valore della trasmittanza di tutte le strutture opache che delimitano gli ambienti non riscaldati verso l’esterno deve essere uguale o inferiore a  $0,8 W/m^2K$ <sup>78</sup>. Nell’art. 4, comma 17, il decreto stabilisce inoltre l’obbligo di verificare l’assenza di condensa superficiale e che la condensa interstiziale sia limitata ad una quantità rievaporabile. Il comma 18 dello stesso articolo raccomanda al progettista di utilizzare al meglio «le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell’edificio»<sup>79</sup>, nonché di valutare, nel caso di realizzazioni ex novo o ristrutturazioni totali, che il valore della massa superficiale non sia inferiore ai  $230 kg/m^2$  e che il modulo della trasmittanza termica periodica<sup>80</sup> delle pareti sia compreso fra  $0.12 W/m^2K$  e  $0.20 W/m^2K$ , a seconda della tipologia di parete, della sua esposizione



e delle condizioni climatiche esterne. Il Ministero dello Sviluppo Economico ha avviato nel 2011 un processo di revisione del metodo di calcolo delle prestazioni riportato nel decreto; in particolare la revisione mira a definire fattori di conversione dei consumi di energia primaria utilizzabili per tutti i vettori energetici, provvedere ad una definizione univoca di “edificio a energia quasi zero”, fornire la possibilità di confrontare le prestazioni dell’edificio da certificare con quelle di un edificio di riferimento e confermare il supporto della procedura di calcolo indicata nella norma UNI/TS 11300<sup>81</sup>. Parallelamente, il Comitato Termotecnico Italiano ha concluso la revisione della prima e seconda parte delle norme UNI/TS 11300, avviato la revisione della terza e concluso la preparazione della quarta. Le nuove UNI/TS 11300:2012, identificando l’“edificio” come costituito dal fabbricato (ovvero “ciò che è costruito”) e dagli impianti tecnici destinati a convertire, trasformare e distribuire energia per i vari usi previsti, superano il concetto di sistema edificio-impianto, operando una distinzione fra i fabbisogni energetici richiesti dalle due differenti parti dell’edificio in previsione del futuro ampio ricorso alle fonti di energia rinnovabili.

La Direttiva 2010/31/UE viene recepita con il Decreto legge 4 Giugno 2013, n. 63, “Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell’edilizia per la definizione delle procedure d’infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale”. Considerata la «straordinaria necessità ed urgenza di emanare disposizioni volte a favorire la riqualificazione e l’efficienza energetica del patrimonio immobiliare italiano in conformità al diritto dell’Unione europea», il decreto completa e approfondisce quanto introdotto nelle precedenti norme, spiegando in maniera più esaustiva cosa si intenda per “edificio di riferimento” e per “edificio a energia quasi zero” e introducendo il concetto di livello ottimale di prestazione energetica in funzione dei costi. Le prescrizioni e i requisiti minimi riportati nella norma si riferiscono alle nuove costruzioni, alle ristrutturazioni importanti<sup>82</sup> e alla riqualificazione energetica di edifici preesistenti mentre, per quanto concerne lo specifico campo degli «edifici ricadenti nell’ambito della disciplina della parte seconda e dell’articolo 136, comma 1, lettere b) e c), del

83. D. L. 4 giugno 2013, n. 63, art. 3, comma 1.

84. E. LUCCHI, V. PRACCHI (a cura di), op. cit., p. 23.

85. D. Lgs. 112/98, art. 30, comma 1.

86. CTI, Attuazione della certificazione energetica degli edifici in Italia. Rapporto 2012, Atti del II Forum nazionale sulla certificazione energetica, p. 3.

87. In particolare la Lombardia e la Provincia autonoma di Bolzano non utilizzano la metodologia di calcolo riportata nelle norme tecniche nazionali UNI/TS 11300. La Lombardia prevede tuttavia l'adeguamento agli standard nazionali quando questi saranno disponibili nella forma definitiva.

88. F. PIANEZZE, *L'obiettivo del miglioramento dell'efficienza energetica nel processo di conservazione del costruito storico*, Tesi di dottorato, Tutor S. DELLA TORRE, V. PRACCHI, Politecnico di Milano, a. a. 2009-2012, p. 33.

89. CTI, Attuazione della certificazione energetica degli edifici in Italia. Rapporto 2012, Atti del Secondo Forum nazionale sulla certificazione energetica, p. 34, prospetto 12.

90. Il Disegno di legge del 2012 recante "Legge europea regionale 2011" istituisce, con l'art. 9, il Catasto Regionale delle certificazioni energetiche e il Catasto Regionale degli impianti termici.

91. ONRE, L'innovazione energetica in edilizia. Rapporto 2013, Febbraio 2013, p. 80.

decreto legislativo n. 42 del 22 gennaio 2004, recante il codice dei beni culturali e del paesaggio»<sup>83</sup>, è istituito l'obbligo di certificazione della prestazione energetica e di esercizio, ispezione e manutenzione degli impianti tecnici.

Ma se con le precedenti norme era possibile provvedere alla riqualificazione energetica del patrimonio tutelato, esclusivamente nel caso si agisse in maniera tale da non alterarne il carattere storico-artistico o l'aspetto, con il decreto 63/2013 si compie un passo indietro, con l'istituzione di una "deroga automatica"<sup>84</sup> per qualsiasi edificio di valore culturale.

Fortunatamente, due mesi dopo, la legge di conversione n. 90 del 3 agosto 2013 ha coperto tale falla, istituendo l'obbligo di autorizzazione da parte dell'autorità competente nel caso di edifici sottoposti a tutela.

### **Competenze regionali e recepimento della normativa a livello locale**

Con il Decreto Legislativo 112/1998 "Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali", in attuazione del capo I della Legge 15 marzo 1997,

n. 59" lo Stato Italiano delega «alle regioni le funzioni amministrative in tema di energia, ivi comprese quelle relative alle fonti rinnovabili, all'elettricità, all'energia nucleare, al petrolio ed al gas, che non siano riservate allo Stato ai sensi dell'articolo 29 o che non siano attribuite agli enti locali ai sensi dell'articolo 31»<sup>85</sup>.

Alle singole Regioni, dopo aver fissato gli obiettivi di risparmio energetico, sviluppo delle fonti rinnovabili e relative modalità di raggiungimento, spetta quindi la funzione di programmazione, indirizzo, coordinamento e controllo dell'attività degli enti locali, il tutto in conformità con quanto prescritto dalla riforma del Titolo V della Costituzione. Gli stessi decreti attuativi della Direttiva 91/2002 affidano alle Regioni e alle Province autonome il compito di perseguire gli obiettivi di risparmio energetico prefissati a livello comunitario, nei settori di loro competenza. Tuttavia, a tutt'oggi, si evidenzia un forte ritardo per quando concerne l'adeguamento normativo a quanto espresso nel DPR 59/2009 e nel DM 26/06/2009.

Solamente la Valle d'Aosta, il Trentino Alto Adige, il Friuli Venezia Giulia, la Lombardia, il Piemonte, la Liguria, l'Emilia Romagna, la Toscana, la Puglia e la Sicilia hanno varato delle

proprie norme in merito alla certificazione energetica<sup>86</sup>, mentre nelle restanti Regioni si continua a fare riferimento alla normativa nazionale. Molti di questi Enti hanno preferito definire requisiti minimi di prestazione energetica più bassi rispetto a quelli nazionali, nonché metodologie di calcolo<sup>87</sup> e strumenti di certificazione “personalizzati” che hanno reso particolarmente difficoltoso il confronto fra immobili simili per materiali, forme e tecniche costruttive ma realizzati in zone geografiche diverse<sup>88</sup>; l’accesso ai dati è poi ulteriormente complicato dall’assenza, nella maggior parte dei casi, di un sistema informatizzato di catalogazione dei dati energetici relativi al parco edilizio regionale. Il catasto energetico risulta infatti istituito solamente in Valle d’Aosta, Liguria, Lombardia, Piemonte, Emilia Romagna e Veneto<sup>89</sup>; in Sardegna la procedura di attivazione del servizio non si è ancora conclusa, nonostante il termine di 180 giorni dalla pubblicazione del relativo Disegno di legge<sup>90</sup>.

Non mancano tuttavia enti virtuosi che hanno già provveduto a legiferare in materia di risparmio energetico, come nel caso dei diversi Comuni che si sono dotati per tempo di strumenti normativi orientati alla sostenibi-

lità e al contenimento dei consumi. Secondo l’ultimo rapporto ONRE sull’innovazione energetica in edilizia, a Febbraio 2013 erano presenti 1003 Regolamenti Edilizi contenenti indicazioni e obiettivi energetico-ambientali conformi con la normativa nazionale vigente. Si tratta comunque di un processo abbastanza recente, generato dalla presa di coscienza, da parte degli amministratori locali, dell’urgenza di migliorare il modo di costruire e riqualificare il patrimonio esistente, in considerazione di quanto richiesto dall’Unione Europea. Solo il 14% dei Regolamenti Edilizi risulta antecedente al 2006, mentre l’86% è stato approvato fra il 2007 e il 2012<sup>91</sup>, nonostante i temi dell’orientamento dell’edificio e dell’isolamento dell’involucro venissero già affrontati nei primi anni del 2000. Quest’ultimo in particolare è, insieme all’obbligo d’installazione di impianti fotovoltaici, il parametro su cui maggiormente si sofferma la gran parte degli uffici tecnici comunali mentre raramente vengono fornite indicazioni sulle metodologie impiantistiche da adottare: la promozione dell’uso della pompa di calore per il riscaldamento e raffreddamento degli edifici è stata introdotta solamente nei regolamenti più recenti, in una misura del 5% circa sul

totale. In conformità con quanto stabilito dalla normativa nazionale, si riscontra invece la frequente presenza di incentivi e bonus volumetrici atti a promuovere il miglioramento del livello di sostenibilità degli edifici.

Il nuovo Regolamento Edilizio del Comune di Milano, ancora sotto forma di bozza, prevede degli incentivi anche per interventi «fino al restauro e risanamento conservativo, riguardanti interi edifici esistenti oggetto di vincolo ai sensi della Parte Seconda del D.lgs 42/2004»<sup>92</sup>, per i quali è riconosciuto un bonus di ampliamento della superficie lorda complessiva che può raggiungere il 15%, in maniera proporzionale ai requisiti raggiunti con gli interventi, ma solo nel caso in cui vi sia assenza di impianto termico alimentato a gasolio e presenza di contabilizzazione del calore per ogni singola unità abitativa (in presenza di residenze plurifamiliari). La validità dell'intervento viene valutata tramite tre differenti «livelli di prestazione»:

- «Livello “1-VINC”»: (EPh  $\leq$  0,7 EPh ante): riduzione di almeno il 30% del fabbisogno di energia rispetto alla situazione preesistente;

- Livello “2-VINC”»: (EPh  $\leq$  0,6 EPh ante): riduzione di almeno il 40% del fabbisogno di energia rispetto alla si-

tuazione preesistente;

- Livello “3-VINC”»: (EPh  $\leq$  0,5 EPh ante): riduzione di almeno il 50% del fabbisogno di energia rispetto alla situazione preesistente»<sup>93</sup>.

Ci si chiede però, a tal proposito, quanto possa essere positivo incentivare interventi di riqualificazione energetica così importanti, in virtù di un incremento volumetrico spesso inopportuno nel caso di architetture vincolate.

D'altronde, la scarsa sensibilità ai temi della conservazione e del restauro dimostrata nel documento in questione, si evince anche dalla proposta di recupero dei sottotetti a fini abitativi, posto l'obbligo di «perseguire l'obiettivo di contenere i consumi energetici dell'intero edificio»<sup>94</sup>, finanche all'interno dei nuclei di prima formazione, avanzata nell'art. 115, con la possibilità di «apertura di finestre, lucernari, abbaini e terrazzi per assicurare l'osservanza dei requisiti di aeroilluminazione e per garantire il benessere degli abitanti».

Il Regolamento Edilizio di Milano, assimilabile a quello di molti altri Comuni, evidenzia quanto sia ancora difficoltoso il dialogo fra sostenibilità e patrimonio architettonico storico, risolvibile esclusivamente con soluzioni di compromesso.

92. Regolamento Edilizio del Comune di Milano, Bozza per la consultazione, 15/07/2013, art. 141.

93. Regolamento Edilizio del Comune di Milano, Bozza per la consultazione, 15/07/2013, art. 141.

94. Ivi, Scheda 1.

95. Ivi, art. 115, comma 9.

96. Il Regolamento Edilizio Unificato e il relativo “decalogo” sono validi per i comuni di Pisa, Calci, Cascina, San Giuliano Terme, Vecchiano e Vicopisano.

È il caso, ad esempio, del decalogo sul risparmio energetico nell'edilizia per i comuni della provincia di Pisa<sup>95</sup> (dove, al punto 6), si promuove l'indicazione, all'interno del Regolamento Edilizio comunale, di una disciplina specifica per l'inserimento di fonti rinnovabili all'interno del centro storico, nel rispetto della Legge n. 192/2005 che prevede di soddisfare il fabbisogno di energia primaria (sia termica che elettrica) per il 20% da fonti rinnovabili anche, appunto, nei centri storici, sempre e comunque temperando le esigenze di tutela della qualità architettonica e promuovendo la maggiore integrazione e compatibilità delle nuove tecnologie. È infatti riportato nell'art. 62-Fonti rinnovabili:

«2. Negli edifici vincolati ai sensi della Parte Seconda del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio e a quelli classificati di interesse storico l'installazione di impianti alimentati a fonti rinnovabili è ammessa solo a seguito dell'acquisizione del preventivo parere favorevole da parte rispettivamente della Soprintendenza o dell'Amministrazione Comunale ove previsto da propri regolamenti;

3. I pannelli solari termici e fotovoltaici installati sulle coperture inclinate devono essere aderenti o integrati

nei tetti con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda; tali pannelli devono inoltre essere realizzati con superfici di colore simile a quello della copertura oppure scure non riflettenti, in modo da determinare un impatto visivo assimilabile ai lucernari; l'impianto dovrà avere una forma quanto più possibile regolare e compatibile con il disegno architettonico della copertura;

4. omissis;

5. Nel caso di edifici con copertura piana, i pannelli solari termici e fotovoltaici e i loro componenti possono essere installati con inclinazione ritenuta ottimale, privilegiando comunque l'installazione nella parte centrale della copertura o comunque in quella meno visibile dagli spazi pubblici ovvero dagli eventuali punti panoramici individuati ai sensi della Parte Terza del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio»<sup>96</sup>.

Un ulteriore esempio di recepimento normativo a livello locale, giudicato interessante in virtù del suo approccio innovativo, è rappresentato dalla "Guida alla redazione dei regolamenti edilizi sostenibili dei Comuni della Regione Puglia", il cui obiettivo è «divulgare potenzialità e opportunità che la Legge Regionale 13/08 e i suoi indirizzi attuativi offrono per realizza-

97. Regolamento Edilizio Unificato, Comuni di Pisa, Calci, Cascina, San Giuliano Terme, Vecchiano, Vicopisano, 2012.

98. Norme per l'abitare sostenibile. Guida alla Legge Regionale n. 13 del 2008, Regione Puglia, 2010., p. 4.

99. Ivi, p. 13.

100. «1. Gli edifici di cui al comma 3, lettera a), sono esclusi dall'applicazione del presente decreto ai sensi del comma 3-bis, solo nel caso in cui, previo giudizio dell'autorità competente al rilascio dell'autorizzazione ai sensi del codice di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, il rispetto delle prescrizioni implichi un'alterazione sostanziale del loro carattere o aspetto, con particolare riferimento ai profili storici, artistici e paesaggistici».

101. Nel comma 3 dell'articolo 3 del decreto 311/2006 viene affermato: «sono escluse dall'applicazione del presente decreto le seguenti categorie di edifici:

a) gli immobili ricadenti nell'ambito della disciplina della parte seconda e dell'art. 136 comma 1, lettere b) e c) del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, recante il codice dei beni culturali e del paesaggio nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto con particolare riferimento ai caratteri storico o artistici».

re edilizia di qualità e a basso impatto ambientale per il benessere delle attuali e future generazioni»<sup>97</sup>.

Uno dei punti chiave delle Linee Guida è l'attenzione data agli aspetti bioclimatici del costruire, tramite indicazioni «progettuali e tipologiche che garantiscano il migliore utilizzo delle risorse naturali e dei fattori climatici, nonché (...) l'indicazione di tipologie edilizie che migliorino l'efficienza energetica e utilizzino come parametri progettuali la riflessione della radiazione solare verso l'edificio e la geometria degli ostacoli fisici che influiscono sui guadagni solari»<sup>98</sup>.

Ancora, risulta evidente l'intento di non demandare esclusivamente agli impianti il compito di rendere confortevoli, dal punto di vista termico, gli edifici: «per le nuove costruzioni e per il recupero degli edifici esistenti non sono considerati nel computo per la determinazione dei volumi, delle superfici, delle distanze e nei rapporti di copertura:

a) il maggiore spessore delle murature esterne, siano esse tamponature o muri portanti, oltre i trenta centimetri;

b) il maggior spessore dei solai intermedi e di copertura oltre la funzione esclusivamente strutturale;

c) le serre solari, per le quali sussista

atto di vincolo circa tale destinazione e che abbiano dimensione comunque non superiore al 15 per cento della superficie utile delle unità abitative realizzate;

d) tutti i maggiori volumi e superfici necessari al miglioramento dei livelli di isolamento termico e acustico o di inerzia termica, o finalizzati alla captazione diretta dell'energia solare, o alla realizzazione di sistemi di ombreggiamento alle facciate nei mesi estivi o alla realizzazione di sistemi per la ventilazione e il raffrescamento naturali. L'applicazione di questa modalità di calcolo degli indici e dei parametri edilizi consente di derogare ai limiti imposti dagli strumenti urbanistici per le altezze massime, le distanze dai confini e dalle strade e tra gli edifici, qualora non comportino ombreggiamento delle facciate di terzi»<sup>99</sup>. In sostanza, la Regione Puglia cerca di valorizzare le tipologie costruttive tradizionali, ponendo l'accento sulla riproposizione, anche per le nuove realizzazioni, delle caratteristiche costruttive e tecnologiche storiche locali (schermature solari, muratura massiva, forma compatta, ...), in modo tale da far convergere la tutela dei beni architettonici e paesaggistici con la sostenibilità e il risparmio delle risorse.

### 5.3 Lo strumento della deroga

Se si mettono in relazione l'alta percentuale di edifici storici tutelati presenti nel nostro Paese e l'urgenza di ridurre i consumi energetici derivanti dal comparto edilizio, diventa evidente il conflitto generato dalla possibilità di andare in deroga alle prescrizioni energetiche per i beni architettonici di valore storico-culturale, confermata dall'articolo 3, comma 3-bis della recente Legge di conversione 90/2013<sup>100</sup>.

Lo strumento della deroga è però responsabile di "legalizzare", di fatto, un immotivato "immobilismo" cui sono da tempo soggetti gli edifici storici: come evidenziato da Valeria Pracchi in occasione del convegno "L'efficienza energetica nell'edilizia storica", diventa ora più che mai indispensabile superare l'interpretazione normativa del concetto di deroga, alla ricerca di soluzioni "graduate", così come è già successo nel caso della normativa relativa alla sicurezza antincendio, alla normativa antisismica e a quella sul superamento delle barriere architettoniche.

In questi casi, infatti, la deroga viene vista come la possibilità di raggiungere l'obiettivo previsto dalla norma anche grazie all'utilizzo di metodi alternativi: nel caso della normativa antincendio è possibile raggiungere una situazione di "sicurezza equivalente", per quanto riguarda la sicurezza antisismica è consentito operare un miglioramento strutturale, senza obbligatoriamente raggiungere il completo adeguamento a quanto prescritto dalla norma, mentre per quanto concerne l'eliminazione delle barriere architettoniche la deroga consiste nel ricorso ad apparecchiature provvisorie o mobili<sup>101</sup>.

In quest'ultimo caso, in particolare, le Linee Guida suggeriscono: «lo scopo non deve essere quello di imporre dei vincoli specifici, ma di incentivare il progettista a sviluppare delle soluzioni che portino all'ottenimento degli stessi obiettivi posti dalla normativa. Ciò deve avvenire partendo dall'analisi caso per caso delle caratteristiche di un bene culturale evidenziandone le potenzialità e le relative prestazioni.

Se, poi, tali prestazioni non sono conformi alle disposizioni normative, si possono valutare gli interventi da eseguire nel rispetto delle istanze del progetto di restauro, ricorrendo a soluzioni originali ed innovative studiate *ad hoc*»<sup>102</sup>.

In questi ambiti la deroga diventa uno strumento utile a realizzare un progetto “su misura” per ogni diverso bene architettonico di valore culturale; nel caso del riadeguamento energetico sembrerebbe, al contrario, quasi un modo per evitare le complicazioni progettuali dovute alla tutela:

«La norma come vincolo, come costrizione, ha indubbiamente una ricaduta negativa che non può che peggiorare la fase delicata della progettazione di un intervento di recupero o di adeguamento.

Si dice, e non a torto, che affidare la garanzia di qualità del progetto alla norma sia un’arma pericolosa e a doppio taglio. (...) L’importante è raggiungere il fine attraverso soluzioni che devono dimostrare capacità, sensibilità e rispetto per l’esistente nel nostro specifico caso.

In questo senso ciò che si richiede al progettista è un compito doppiamente difficile, non più quello di accettare passivamente un vincolo, e

di applicarlo, quanto di fare di esso una risorsa che sproni alla ricerca di una soluzione alternativa altrettanto valida.

E’ un invito alla creatività piuttosto che una limitazione»<sup>103</sup>.

Tuttavia, come sottolinea Davoli, «se non vi è la convinta volontà da parte degli attori del processo programmatico e progettuale (siano essi la committenza, il progettista o la Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici) almeno di tentare la ricerca e l’elaborazione di soluzioni idonee, un “appiglio” ineccepibile per derogare all’adeguamento prestazionale su questa tipologia di costruzioni è facilmente individuabile, dal momento che il concetto di alterazione è piuttosto estensibile e fortemente legato a giudizi alquanto soggettivi, derivanti da inclinazioni e correnti culturali.

Viene quindi lasciato quasi sempre all’etica o alla coscienza (o alla voglia/necessità di veicolazione pubblica e mediatica di un atteggiamento “sostenibile”) delle diverse figure coinvolte nel processo edilizio il procedere o meno con azioni di riqualificazione, sia sul sistema passivo dell’involucro, sia con l’introduzione di sistemi impiantistici di ultima generazione e sinergici con esso»<sup>104</sup>.

102. AA. VV., *Linee Guida per il superamento delle barriere architettoniche nei luoghi di interesse culturale*, Gangemi editore, Roma 2008, p. 79.

103. V. PRACCHI, *Cultura della sicurezza e specificità dell’intervento sull’esistente: intuizionisti versus empiristi*, in “Tema” 1(2001), pp. 9-10.

104. P. DAVOLI, *Il restauro energetico ambientale degli edifici storici. Un percorso progettuale tra antichi saperi, costruzioni tutelate e tecnologie innovative*, in “Recupero e conservazione”, 90(2010), p. 56.



#### 5.4 Criticità nel sistema normativo sul risparmio energetico in relazione alla tutela dei beni architettonici

Dall'analisi della normativa per il risparmio energetico emerge una profonda carenza per quanto riguarda lo specifico ambito del costruito preesistente: la definizione di requisiti sempre più stringenti e perlopiù pensati per edifici di nuova realizzazione rende, di fatto, problematico applicare le norme alle architetture storiche.

La scarsa attenzione riposta dal legislatore nei confronti di queste ultime risulta inoltre evidente dalla superficialità con cui viene trattato lo spinoso tema della deroga, resa automatica dal decreto 63/2013, salvo poi diventare, pochi mesi dopo, soggetta al parere vincolante della Soprintendenza.

La corposa e disorganica normativa in materia continua, quindi, ad essere ulteriormente complicata da continue modifiche che generano confusione fra gli addetti ai lavori, anche a causa della frammentazione delle informazioni in molteplici decreti e leggi che, ad un primo sguardo, poco avrebbero a che vedere con il conte-

nimento dei consumi energetici del comparto edilizio (decreto “milleproroghe” e leggi finanziarie, fino al recente D. L. n. 145 del febbraio 2014, denominato “Destinazione Italia-per il contenimento delle tariffe elettriche e del gas, per l'internazionalizzazione, lo sviluppo e la digitalizzazione delle imprese, nonché misure per la realizzazione di opere pubbliche ed Expo 2015”).

L'approccio normativo portato avanti a partire dal recepimento della Direttiva 2002/91/CE, non riesce inoltre a cogliere la visione sistemica edificio-impianto prospettata dalla stessa direttiva, focalizzandosi sul miglioramento delle prestazioni dei singoli elementi. Tale visione parziale, che non considera il comportamento globale dell'edificio, spesso comporta interventi invasivi o drastiche sostituzioni con elementi più performanti, colpevoli di snaturare il carattere testimoniale del bene. Bisogna inoltre sottolineare l'approssimazione con la quale vengono trattate le caratte-

ristiche tipiche del costruito storico, la cui conoscenza risulta indispensabile per la comprensione e valutazione dell'intero sistema: la stessa UNI EN 11300-1, necessaria al calcolo delle prestazioni termiche degli edifici, presenta nell'”Abaco delle strutture utilizzate in Italia in edifici esistenti” (Appendice B) una serie di murature storiche cui fare riferimento, che mal si accordano con le tipologie realmente esistenti. Vengono infatti riportate omogenee murature in pietra (con o senza intercapedine), ben lontane dai reali paramenti realizzati con conci irregolari e quantità variabili di malta di allettamento, spesso nella variante “a sacco”. Inoltre, i suggerimenti relativi alla diffusione delle diverse tecniche e dei diversi materiali (punto B.2) non tengono certamente conto della loro varietà nell'ambito di una stessa regione geografica, risultando incompleti e fuorvianti. Un ulteriore punto critico riguarda la differenziazione e gradualità degli interventi che, anziché tener conto del valore storico-culturale del bene, basano la loro applicazione esclusivamente in relazione alla dimensione degli interventi da effettuare; l'introduzione della deroga per gli edifici sottoposti a vincolo ha, poi, annullato la possibilità di gradua-

re gli interventi per un'ampia fetta del patrimonio architettonico mentre, con tutta probabilità, sarebbe stato sufficiente prevedere una regolamentazione degli interventi, facilmente adattabili alla varietà dei casi reali. Non bisogna infatti dimenticare come l'efficientamento energetico (compatibile con i caratteri della fabbrica) sia un fondamentale passo da compiere per la conservazione del costruito storico, capace di favorirne la fruizione grazie ad una progettazione attenta non solo ai caratteri tecnologici impiantistici, ma anche, e soprattutto, alle antiche tipologie edilizie, alle tecniche costruttive storiche e ai materiali della tradizione. Partendo da tale consapevolezza, il presente lavoro mostra come sia possibile perseguire l'obiettivo del riadeguamento energetico anche all'interno di un contesto sensibile come quello di un centro storico, coniugando le nuove tecnologie alla riproposizione di quelle tecniche tradizionali che hanno reso possibile, per diversi secoli, la fruizione di edifici preindustriali oggi considerati, paradossalmente, energivori poichè soggetti ad azioni di retrofit spesso eccessive ed estranee all'originario comportamento termico della fabbrica.



Tab. 6: Schema riassuntivo delle norme comunitarie e nazionali in materia di risparmio energetico

Direttive europee	Norme e decreti attuativi	Contenuti
	L 373/1976	Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici
	DPR 1052/1977	Regolamento di esecuzione alla Legge 30 aprile 1976, n. 373 relativa al consumo energetico per usi termici negli edifici
	DM 10 marzo 1977	Determinazione delle singole zone climatiche, dei valori minimi e massimi relativi coefficienti volumici di dispersione termica
	L 308/1982	Norme sul contenimento dei consumi energetici, lo sviluppo delle fonti
	L 10/1991	Norme per l'attuazione del Piano Energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia
	DPR 412/1998	Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4 della Legge 9 gennaio 1991 n. 10
	D Lgs 112/1998	Conferimento di funzioni amministrative alle Regioni e agli enti locali
	DPR 551/1999	Regolamento recante modifiche al DPR 26/8/1993 n. 412 in materia di progettazione, installazione esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia
Direttiva 2002/91/CE		Direttiva 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia
	DM 20 luglio 2004	Nuova individuazione degli obiettivi quantitativi di risparmio energetico e sviluppo delle fonti rinnovabili, di cui all'art. 16, comma 4, del decreto legislativo 23 maggio 2000, n. 164
	D Lgs 192/2005	Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia
	D Lgs 311/2006	Disposizioni correttive integrative al DLgs 19 agosto 2005 n. 192 recante attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico
Direttiva 2006/32/CE		Direttiva 2006/32/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 5 aprile 2006 concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio
	L 296/2006	Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (finanziaria 2007)
	L 244/2007	Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (finanziaria 2008)

	DL 112/2008	Disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione tributaria
	L 133/2008	Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 25 giugno 2008, n. 112, recante disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione tributaria
	DPR 59/2009	Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia
	DM 26 giugno 2009	Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici
Direttiva 2010/31/UE		Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 marzo 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia
	D Lgs 28/2011	Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE
Direttiva 2012/27/UE		Direttiva 2012/27/UE Del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE
	DPR 74/2013	Regolamento recante definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'ACS, a norma dell'art. 4, comma 1, lettere a) e c), del D Lgs 19 agosto 2005, n. 192
	DPR 75/2013	Regolamento recante disciplina dei criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici, a norma dell'art. 4, comma 1, lettera c), del D Lgs 19 agosto 2005, n. 192
	DL 63/2013	Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 marzo 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale
	L 90/2013	Conversione in legge, con modificazioni, del DL 4 giugno 2013, n. 63









## Bibliografia

AA. VV., *Architettura di base*, Alinea Editrice, Firenze 2007.

AA. VV., *Linee Guida per il superamento delle barriere architettoniche nei luoghi di interesse culturale*, Gangemi editore, Roma 2008.

AA. VV., *Problematiche di inserimento degli impianti in ambienti monumentali: i Nuovi Uffizi*, atti del convegno “Tecnologie impiantistiche e musei”, AICARR, Roma 2005.

G. ANGIONI, A. SANNA, *L'architettura popolare in Italia - Sardegna*, Laterza, Bari 1996.

G. ATKINSON, S. DIETZ, E. NEUMAYER, *Handbook of Sustainable development*, Elgar, Cheltenham 2007.

L. B. ALBERTI, *De re aedificatoria*, a cura di G. ORLANDI, Edizioni il Polifilo, Milano 1996.

O. BALDACCI, *La casa rurale in Sardegna*, Centro di Studi per la Geografia Etnologica, Firenze 1952.

S. BASTA, F. MINCHIO, *Geotermia e pompe di calore. Guida pratica agli impianti geotermici di climatizzazione*, Associazione Geotermia, Verona 2008.

A. BELLINI ET AL., *Che cos'è il restauro? Nove studiosi a confronto*, Marsilio, Venezia 2005.

M. BELLOMO, S. PONE, *Il retrofit tecnologico degli edifici esistenti: qualità dell'abitare, sostenibilità ambientale, rilancio economico*, in “*Techne. Journal of technology for architecture and environment*” n. 1(2011), University Press, Firenze.

C. BENEDETTI, *L'energia del sole. Tecnologie ed applicazione in architettura*, Edizioni Kappa, Roma 1978.

C. BENEDETTI, *Manuale di architettura bioclimatica*, Maggioli, Rimini 1994.

C. BENOCCI, *L'illuminazione a Roma nell'800*, supplemento a “*Storia dell'urbanistica*”, Edizioni Kappa, Roma 7(1986).

- W. BLASI, *Fisica applicata all'edificio*, Gruppo editoriale Esselibri-Simone, Napoli 2008.
- R. BOBBIO, S. MUSSO, *Siena conservazione e trasformazione della città murata*, Legoprint, Genova 1990.
- E. BOSC, *Traité complet, historique et pratique, du chauffage et de ventilation des habitations particulieres et des edifices publiques*, Morel, Parigi 1875.
- C. BRANDI, *Teoria del restauro*, Edizioni di Storia e Lettere, Torino 1963.
- F. M. BUTERA, *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, Milano 2007.
- C. CAMPANELLA, *Nuovi impianti antichi edifici. Approccio al progetto impiantistico nell'esistente*, in "Recupero e Conservazione" n. 103 e 104 (2013), Edizioni Delettera.
- G. CARBONARA, *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, Liguori, Napoli 1997.
- G. CARBONARA, *La conservazione del patrimonio architettonico. Problemi di attualità*, in "La conservazione del patrimonio architettonico. Problemi di attualità", Atti del seminario, Napoli 1993.
- G. CARBONARA (a cura di), *Restauro architettonico e impianti*, UTET, Torino 2001.
- G. CARBONARA (diretto da), *Trattato di restauro architettonico*, vol. 1-4, UTET, Torino 1996.
- P. A. CETICA, *L'architettura dei muri intelligenti. Esperienze di climatizzazione sostenibile nell'Ottocento*, Angelo Pontecorboli Editore, Firenze 2004.
- M. CITTERIO, *8 Reports on the Realisation and Validation Analysis of the Demonstration Buildings in BRITA in PuBs*, 2008 e *Reports on the concept development of the demonstration buildings in BRITA in PuBs*, 2005.
- R. COPEZ (a cura di), *Architettura senza architetti*, Scuola Sarda, Cagliari 1994.
- M. E. CORRADO, *Energie rinnovabili, restauro architettonico e tutela del paesaggio*, in G. CARBONARA (diretto da), *Trattato di restauro architettonico*, Primo aggiornamento, UTET, Torino 2007, pp. 1-79.

- M. DALLA COSTA, G. CARBONARA (a cura di), *Memoria e restauro dell'architettura: saggi in onore di Salvatore Boscarino*, Francoangeli, Milano 2005.
- G. DALL'Ò, *Gli impianti nell'architettura e nel restauro*, UTET, Torino 2003.
- G. DALL'O', A. GALANTE, *Impianti di climatizzazione e recupero*, in *Il progetto sostenibile*, n.2, febbraio 2004, pp. 58-66.
- F. R. D'AMBROSIO ALFANO, *Il progetto e la misura del comfort termico*, atti del convegno *Oltre la certificazione energetica: progettazione e gestione del sistema edificio-impianto per ottimizzare il comfort e i consumi energetici reali*, AICARR, Bologna 2012.
- P. DAVOLI, *Architettura senza impianti, aspetti bioclimatici dell'architettura preindustriale*, Alinea Editrice, Firenze 1993.
- P. DAVOLI, *Il restauro energetico ambientale degli edifici storici. Un percorso progettuale tra antichi saperi, costruzioni tutelate e tecnologie innovative*, in *"Recupero e conservazione"*, 90(2010).
- F. DI GIORGIO MARTINI, *Trattato di architettura militare*, parte I, libro II.
- G. DEBESSON, *Le chauffage des habitations-Étude theorique et pratique des procedes et apparil employes pour le chauffage des edifices, des maison, des appartements*, Dound, Parigi 1908.
- R. DE DEAR, G. BRAGER, D. COOPER, *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*, ASHRAE RP- 884, marzo 1997.
- S. DELLA TORRE, F. PIANEZZE, V. PRACCHI, *Efficienza energetica e patrimonio architettonico: stato dell'arte e prospettive di ricerca*, in *"Arkos"* n. 23(2010), Editinera, Roma.
- S. DELLA TORRE, *Il ruolo dei beni culturali nei nuovi modelli di sviluppo: riflessioni sulle esperienze in atto in Lombardia*, in *"Arkos"*, n. 15/2006, pp. 16-19.
- S. DELLA TORRE, *La Carta del Rischio e la pratica della Conservazione*, in *"Arkos"*, n. 1/2000, pp. 18-21.
- S. DELLA TORRE, V. PRACCHI, *Le chiese come beni culturali. Suggestimenti per la conservazione*, Mondadori, Electa, Milano 2003.

S. DELLA TORRE, *Programmare la conservazione. Valore culturale e sostenibilità*, in “*La fruizione sostenibile del bene culturale*”, Nardini editore, Firenze 2006, pp. 24-27.

L. DE SANTOLI, *Efficienza energetica negli edifici storici*, intervista a cura di M. ZANI, “*AICARR Journal*”, 1(2010).

L. DE SANTOLI, *Gli aspetti energetici nella conservazione dei beni culturali*, in G. CARBONARA (diretto da), *Trattato di restauro architettonico*, Primo aggiornamento, UTET, Torino 2007, pp. 489-509.

L. DE SANTOLI, *I sistemi impiantistici per il controllo del microclima negli edifici storici*, tratto da *Antincendio : la rivista italiana della prevenzione incendi e della protezione civile*, 58(2006), Gruppo EPC.

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), *Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica (RAEE)*, dicembre 2013.

ENGLISH HERITAGE BUILDING CONSERVATION E RESEARCH TEAM, *Building Regulations and Historic Buildings: Balancing the needs for energy conservation with those of building conservation, An Interim Guidance Note on the application of Part L*, Maggio 2002.

D. ESPOSITO, *Aggiornamenti legislativi: il quadro nazionale*, in G. CARBONARA (diretto da), *Trattato di restauro architettonico*, Primo aggiornamento, UTET, Torino 2007, pp. 439-675.

H. FATHY, *Natural energy and vernacular architecture*, University of Chicago Press, USA 1986.

H. FATHY, *The Qa'a of the Cairene Arab House, its development and some new usages for its design concepts*, in “*International Colloquium On The History of Cairo*”, Hassan Fathy Archives, Cairo 1970.

C. FEIFFER, *Compatibilità tra conservazione e sostenibilità*, in “*Recupero e conservazione*”, Ed. De Lettera, n. 87 e 88(2009), Milano.

G. FIENGO, G. ABBATE, *Case a volta della costa di Amalfi*, Centro di Cultura e Storia Amalfitana, Amalfi (SA) 2001.

G. FIGINI, U. TORELLI, *Impianti elettrici civili: Manuale di applicazione delle Norme CEI*, Hoepli, Trento 2004.

M. FIORI, F. R. CECCONI, *Impianti idrico-sanitari per edifici residenziali: progettazione, esecuzione, collaudo, manutenzione*,

Maggioli, Santarcangelo di Romagna 2005.

E. FRATEILI, A. COCITO, *Architettura e comfort. Il linguaggio architettonico degli impianti*, Clup di Città Studi, Milano 1991.

P. FRAVOLINI, C. GIANNATTASIO, H. ROTOLO, *I lastrici di battuto di lapillo della Campania*, in “Atlante delle tecniche costruttive tradizionali”, (a cura di) G. FIENGO, G. GUERRIERO, Arte Tipografica Editrice, Napoli 2008, tomo II.

G. GARGALLO DI CASTEL LENTINI, *Evoluzione storica e giuridica della tutela dei beni culturali dall'unità d'Italia al codice Urbani. Cenni sulla tutela paesistica*, tratto dalla rivista on line “Diritto all'ambiente”, art. 119 del 12/06/2006.

M. GROSSO, *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN) 2011.

P. LAUREANO, *Giardini di pietra*, ed. Bollati Boringheri, Torino 1993.

E. LONGO, G. SCHIPPA, *Sperimentazioni nel presente e lezioni dal passato: la sfida del miglioramento energetico nell'edificato storico*, Tesi di laurea, relatore V. PRACCHI, Politecnico di Milano - Facoltà di Architettura e Società, a. a. 2008/2009.

E. LUCCHI, V. PRACCHI (a cura di), *Efficienza energetica e patrimonio costruito. La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli Editore, Milano 2013.

E. LUCCHI, *Tutela e valorizzazione. Diagnosi energetica e ambientale del patrimonio culturale*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna 2009.

R. MANCINI, *Carte, raccomandazioni e documenti internazionali: un quadro di aggiornamento*, in G. CARBONARA (diretto da), *Trattato di restauro architettonico*, Primo aggiornamento, UTET, Torino 2007, pp. 607-638.

M.R. MARCHI, *Urbanistica in Sardegna, dalla legge “Salvacoste” al Testo Unico dell'edilizia*, Marchi Editrice Sarda, Cagliari 2005.

N. MARZOT, *Architetture scolpite. Alcune invarianti del paesaggio mediterraneo*, in *Paesaggi d'architettura mediterranea 7-8* (2003), Agorà Edizioni, La Spezia.

R. MINUCCI, *Cambiamenti climatici ed edilizia*, Edicomprint, Roma 2003.

- S. MUSSO, G. FRANCO, *Guida alla manutenzione e al recupero dell'edilizia e dei manufatti rurali*, Marsilio, Venezia 2000.
- S. MUSSO, G. FRANCO, *Guida agli interventi di recupero dell'edilizia diffusa nel Parco nazionale delle Cinque Terre*, Marsilio, Venezia 2006.
- S. MUSSO, *Recupero e restauro degli edifici storici : guida pratica al rilievo e alla diagnostica*, EPC Libri, Roma 2010.
- S. MUSSO (diretto da), *Tecniche di restauro : aggiornamento*, UTET, Torino 2013.
- C. NORBERG-SCHULZ, *Genius loci. Paesaggio Ambiente Architettura*, Electa, Milano 1996.
- V. OLGYAY, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, F. Muzzio, Padova 1981.
- G. G. ORTU, A. SANNA (a cura di), *Atlante delle culture abitative e costruttive della Sardegna*, Regione Autonoma della Sardegna, Cagliari 2008.
- A. PALLADIO, *I quattro libri dell'architettura*, (a cura di) M. BIRAGLI, Pordenone, Ed. Studio Tesi, Pordenone 1992.
- R. PANE, *Capri. Mura e volte*, Napoli, II ediz., 1965.
- A. PASTA, *Ristrutturazioni ed impianti: l'impiantistica moderna nella ristrutturazione edilizia*, Kappa, Roma 1982.
- A. PASTA, *L'impiantistica nel recupero dei vecchi edifici*, in A. ABRIANI (a cura di), *Restauro architettonico e recupero edilizio*, Celid, Torino 1985.
- F. PIANEZZE, *L'obiettivo del miglioramento dell'efficienza energetica nel processo di conservazione del costruito storico*, tesi di dottorato in Progetto e tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali, Politecnico di Milano, XXIV ciclo, tutor S. DELLA TORRE, V. PRACCHI.
- V. PRACCHI, *Cultura della sicurezza e specificità dell'intervento sull'esistente: intuizionisti versus empiristi*, in "Tema" 1(2001).
- A. RIEGL, *Il culto moderno dei monumenti*, Nuova Alfa, Bologna 1990.
- N. ROSSI, *Manuale del termotecnico*, Hoepli, Milano 1998.

- B. RUDOLFSKY, *Le meraviglie dell'architettura spontanea*, ed. Laterza, Bari 1979.
- J. RUSKIN, *Le sette lampade dell'architettura*, Jaka Book, sesta ristampa, Milano 2007.
- A. SANNA (a cura di), *Architetture in terra: tipologia, tecnologia, progetto*, CUEC, Cagliari 1993 .
- A. SANNA, *Caratteri tipologici e costruttivi dell'architettura tradizionale della Sardegna. Materiali per un manuale del recupero*, CUEC, Cagliari 1992.
- A. SANNA, *La casa*, in A. ASOLE (a cura di), *Il territorio, la natura, l'uomo*, Pizzi, Cinisello Balsamo 1989, pp. 166-178.
- F. SARTOGO, M. BASTIANI, *Manuale metodologico per il recupero della struttura bioclimatica della città storica di Perugia*, Edizioni Guerra, Perugia 1998.
- L. SCHIBUOLA, C. TAMBANI, *Pompa di calore per un complesso monumentale*, in “RCI Riscaldamento Climatizzazione Idronica” n.1(2013), rivista digitale, Tecniche Nuove.
- F. SIMONETTI, *Palazzo Spinola di Pellicceria a Genova: da dimora del Seicento a Museo del 2000. Impianti storici e moderni per l'abitabilità, la conservazione, la sicurezza*, in “Edifici storici e destinazione museale. Conservazione degli edifici e delle opere d'arte. Progetti per il restauro e l'integrazione di impianti esistenti”, D. DEL CURTO, M. FRATELLI (a cura di), Milano 2010.
- L. STEFANUTTI, *Manuale degli impianti di climatizzazione*, Tecniche Nuove, Milano 2007.
- S. V. SZOKOLAY, *Introduzione alla progettazione sostenibile*, Hoepli, Milano 2004.
- N. TOMBAZIS, *Past, present and future of Mediterranean architecture*, Summer Academy for Mediterranean Solar Architecture, ISEE–International Solar Energy Society, Roma 29 Luglio–10 Agosto 2002, Facoltà di Architettura Roma Tre.
- B. P. TORSELLO, S. MUSSO, *Tecniche di restauro architettonico*, UTET, Torino 2003.
- M. VALDES, *Disposizioni legislative sull'edilizia a Cagliari nel '600 e nel '700*, Napoli 1984.
- E. E. VIOLLET LE DUC, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI au XVI siècle*, Paris 1854-1868 trad. it. parziale a cura di M. A. Crippa, L'architettura ragionata, Jaka Book, Milano 1988.

M. VITRUVIO POLLIONE, *De Architectura*, a cura di P. Gros, Einaudi Editore, Torino 1997.

U. WIENKE, *Aria calore luce. Il comfort ambientale negli edifici*, Dei, Roma 2005.

U. WIENKE, *Manuale di bioedilizia*, Dei, Roma 2004.

G. L. ZUCCHINI, *Educare all'ambiente*, La nuova Italia, Scandicci 1990.







**PARTE II**  
**IL RIADeguAMENTO SOSTENIBILE DELL'EDILIZIA STORICA:**  
**IL QUARTIERE DI CASTELLO A CAGLIARI**



## 1 LA METODOLOGIA

Qualsiasi intervento di trasformazione del costruito storico presuppone una completa conoscenza dell'edificio considerato, delle sue condizioni attuali e del contesto nel quale si inserisce, a partire dalla ricostruzione storica della sua evoluzione morfologica, indispensabile per il riconoscimento del suo valore documentale e per la necessaria comprensione del suo funzionamento.

Spesso, infatti, la semplice valutazione delle caratteristiche tecnico-costruttive, fisiche e impiantistiche del bene non risulta sufficiente a far emergere le complesse interazioni che esso ha con il sito scelto per la sua edificazione.

La ricostruzione delle sue vicende costruttive, contestualizzate nel periodo storico di riferimento, può infatti portare alla luce tecniche tradizionali e accorgimenti bioclimatici che, originariamente presenti nella fabbrica, sono stati poi accantonati nel corso delle successive modificazioni subite dalla stessa.

La profonda conoscenza dell'edifi-

Fig. 71: Veduta aerea della città di Cagliari. Primi anni del Novecento.



cio risulta quindi fondamentale per l'individuazione delle potenzialità intrinseche del bene che, in fase progettuale, dovranno servire da linee guida nel perseguimento di una corretta e appropriata strategia d'intervento.

Il punto di partenza della seconda parte del lavoro è quindi rappresentato dall'analisi del contesto edificato del quartiere storico di Castello, a Cagliari, nel quale si inseriscono gli edifici scelti come caso studio; tale fase è volta alla conoscenza dell'evoluzione storico-morfologica e dei caratteri tipologico-costruttivi del tessuto urbano caratterizzanti l'identità del luogo, supportata dallo studio delle fonti iconografiche e storico-archivistiche.

Il quadro conoscitivo su scala urbana è successivamente completato dall'analisi delle invarianti microclimatiche caratterizzanti il sito, fondamentale per la comprensione delle soluzioni tecnologiche e degli accorgimenti bioclimatici tradizionali nei quali i condizionamenti ambientali sono stati declinati.

Una volta consolidate tali conoscenze, è stato possibile individuare degli edifici rappresentativi dei tipi edilizi dell'intero costruito del quartiere, per i quali l'indagine storico-morfolo-

gica è stata affiancata a quella strumentale, finalizzata alla loro diagnosi energetica.

Una volta emerse le criticità relative a quest'ultimo aspetto, si è quindi proceduto all'individuazione delle possibili azioni di *retrofit* in grado di migliorare l'efficienza energetica di tali fabbriche senza comprometterne in alcun modo il valore storico-culturale, cui è seguita una verifica dei risultati ottenuti, sia in regime invernale che estivo.

La definizione di tali strategie di riqualificazione ne ha successivamente consentito l'applicazione, per analogia, agli altri edifici, caratterizzati dalle medesime peculiarità, presenti nel quartiere.

1. D. SCANO, *Forma Kalaris*, rist. anastatica ed. Cagliari 1934, p. 4.

2. «Cagliari fu indubbiamente città fenicia; essa per la sua posizione presentava troppi vantaggi per la navigazione nel Mediterraneo, per non essere stata usufruita dai fenici, arditi ed esperti navigatori, per i quali costituiva un ottimo punto d'approdo, scaglionato sopra la via che percorrevano le loro navi per recarsi dalle coste orientali alle ricche stazioni della Spagna Betica» da D. SCANO, op. cit., p. 3. «I documenti che si riferiscono alle dominazioni vandaliche e bizantine e le memorie relative ai giudicati di Sardegna ben poco ci dicono sulla posizione di Cagliari (...) Soltanto ai primi del XIII secolo le lettere della Giudicessa Benedetta e di papa Onorio III gettano un spruzzo di luce» da D. SCANO, op. cit., p. 6.

4. D. SCANO, op. cit., p. 11.

## 1.1 La ricostruzione storica e grafica

Il processo di conoscenza di un edificio deve necessariamente avere inizio dall'analisi delle fonti documentali storico-archivistiche, fondamentale per mettere in luce gli eventi che hanno motivato le specifiche scelte costruttive caratteristiche della fabbrica e le modifiche subite nel corso degli anni dalla stessa e dal contesto circostante.

Tale fase di studio, propedeutica alla stesura delle proposte d'intervento di riqualificazione, si è quindi dimostrata fondamentale, ai fini del presente lavoro, per la comprensione delle logiche costruttive e delle criticità caratteristiche del tessuto edificato del quartiere di Castello.

Le vicende storiche di quest'ultimo, in particolare, ci aiutano nella ricostruzione dell'evoluzione storica dell'intero centro urbano, essendo situato nella zona ritenuta più favorevole all'edificazione da parte dei fondatori della città, rappresentandone, quindi, il nucleo più antico.

Ma se le origini dell'insediamento, probabilmente risalenti all'epoca

nuragica<sup>1</sup>, non sono documentabili ma esclusivamente ipotizzabili, così come anche il successivo stanziamento punico<sup>2</sup>, per quanto concerne gli avvenimenti susseguenti al XIII secolo è possibile fare riferimento a numerose fonti archivistiche, testimoni dell'avvicinarsi delle diverse dominazioni straniere subite dall'Isola<sup>3</sup>.

Proprio alla luce dei rapporti intercorrenti fra la Sardegna e la terra d'origine delle popolazioni che l'hanno invasa, è risultato utile estendere la ricerca ai fondi d'archivio relativi a queste ultime, anche grazie all'opera di diversi saggisti che hanno il merito di averne raccolto e commentato i documenti più significativi.

Fra questi è necessario citare lo storico e architetto Dionigi Scano che, nei primi del Novecento, scriveva: «Del bel castello che i pisani tenevano, salvo una breve interruzione di dominio genovese, dal 1216 al 1326, ci rimangono tante vestigia e tanti documenti che ci è possibile ricostruirlo idealmente»<sup>4</sup> mentre, sempre relativamente allo stesso periodo storico,

Francesco Artizzu riporta una dettagliata cronostoria degli avvenimenti intercorsi fra la Sardegna e Pisa tramite la lettura di numerose lettere ufficiali rinvenute nell'Archivio storico della repubblica marinara<sup>5</sup>.

Per quanto concerne lo specifico campo dell'edilizia, bisogna fare riferimento alla molteplicità di fonti del diritto e ordinanze emanate dai regnanti nel corso dei secoli, a partire dal *Ceterum* promulgato da Giacomo II, re d'Aragona, il 25 agosto 1327, con il quale venivano concessi importanti privilegi ai cittadini iberici già residenti nei pressi di Castello, a Bonaria, che, grazie alla conquista della cittadella fortificata ad opera degli spagnoli, acquisivano il diritto di trasferirsi nella stessa. Il documento prevedeva un governo dotato di ampia autonomia legislativa, tributaria e amministrativa, pur mantenendo per Cagliari le immunità, le franchigie e l'intero corpo delle consuetudini scritte per la città di Barcellona<sup>6</sup>. Erano due le sezioni del *Ceterum* dedicate all'edilizia: il *Recognoverunt proceres*, un complesso di consuetudini cittadine risalente al 1283 e il corpo delle consuetudini urbane e rustiche dette di *Santasilia*, volute dallo stesso re Giacomo II e pubblicate nel 1327, dopo la sua morte. I privilegi concessi alla

città, fra cui alcuni estratti del *Recognoverunt proceres*, sono stati raccolti nel cosiddetto Libro verde, il cui manoscritto originale, di epoca incerta ma trascritto da Raffaele Di Tucci nel 1925, è depositato nell'Archivio Comunale cittadino. Un'ulteriore raccolta di privilegi, grazie e franchigie è stata compilata in originale nel primo quarto del Cinquecento da Gaspare Fortesa, poi copiata da don Melchiorre Aymerich nel 1589 e depositata nell'Archivio di Stato di Cagliari.

Nel '600 vigeva nell'Isola, tuttavia, una certa confusione legislativa dovuta alla contemporanea emanazione da parte del monarca delle cosiddette Prammatiche (leggi valevoli per l'intero regno) e delle Carte Reali (aventi carattere meno generale) che andavano spesso a cozzare con quanto dichiarato nei Capitoli di Corte, ovvero le leggi richieste dai Parlamenti decentrati e approvate dallo stesso re, nonché con i privilegi accordati alle diverse città del regno o ai singoli cittadini.

Nasceva quindi la necessità di raccogliere una molteplicità di fonti giuridiche; tale iniziativa fu portata avanti durante il Parlamento del duca di Gandia (1612-1624) e ebbe come risultato la pubblicazione nel 1640 della raccolta *Leyes y pragmáticas reales*

5. F. ARTIZZU, *Documenti inediti relativi ai rapporti economici tra la Sardegna e Pisa nel medioevo*, Cedam, Padova 1961.

6. Ivi, p. 414.



del reyno de Serdena, seguita, nel 1645, dalla raccolta *Capitula sive acta Curiarum regni Sardiniae sub Coronae Aragonum imperio concordii trium Brachiorum aus solius militaris voto exorata*.

La prima di tali opere risulta particolarmente interessante per quanto concerne il libro intitolato *De los edificios y obras publicas e limpieça de las ciudades*, dedicato all'edilizia.

L'8 agosto 1720 il Regno di Sardegna venne ceduto al duca di Savoia Vittorio Amedeo II. Il potere politico, giudiziario, amministrativo e militare fu affidato al viceré, figura rigidamente controllata dal Governo centrale. L'accentramento del potere portò alla semplificazione del corpo legislativo che, sebbene mantenendo la validità della legislazione sardo iberica, si ridusse ad una serie di Editti regi, talvolta detti Regolamenti, e ai Pregoni viceregi, i cui testi originali sono depositati all'Archivio di Stato.

Quest'ultimo organo conserva anche il cosiddetto Antico Archivio Regio, la cui istituzione fu voluta dal re Carlo Emanuele III, costituito dagli archivi delle magistrature preunitarie risalenti al periodo della dominazione catalano-aragonese (1323-1720) e sabauda (1720-1847), con la breve parentesi austriaca (1708-1717). Il fondo

Fig. 72: Mappa della città di Cagliari e dintorni durante la dominazione spagnola.



contiene tutta la documentazione antecedente al 1736, che la nuova dinastia spagnola era comunque tenuta a rispettare, nonché i documenti degli uffici spagnoli cessati e diversi esemplari di atti normativi all'epoca ancora vigenti. Ulteriori raccolte utili alla ricostruzione della storia del costruito del quartiere di Castello sono stati gli archivi donati allo Stato da privati, in particolar modo il fondo della famiglia Floris-Thorel, proprietaria di un palazzotto scelto come caso studio. I materiali conservati nell'Archivio Storico della città, consultabili anche *on-line* nella loro versione digitalizzata, sono invece risultati fondamentali per la ricerca iconografica e per la ricostruzione dell'evoluzione storico-morfologica del tessuto urbano del quartiere di Castello. La sovrapposizione fra loro di diverse carte storiche, databili fra la seconda metà del XIX e la prima metà del XX secolo, attraverso una lettura critica supportata dalla conoscenza degli avvenimenti storico-sociali vissuti dalla città nel corso dei decenni, ha infatti consentito di comprendere i mutamenti intervenuti nel costruito durante gli ultimi due secoli. Per quanto riguarda la configurazione urbana delle epoche precedenti, in assenza di documenti originali, si invece fatto riferimento

alla ricostruzione operata da Dionigi Scano nell'opera *Forma Kalaris*.

L'analisi dei prezziari depositati all'Archivio Storico Comunale ha invece consentito di reperire notizie specifiche relative alle tecniche costruttive storiche utilizzate nell'ambito dell'intero centro storico cittadino. Un ulteriore aiuto durante la fase conoscitiva è stato fornito, oltre che dai testi dedicati alla storia, all'arte e alle architetture della Sardegna, dalle cosiddette "cronache dei viaggiatori", fondamentali per la comprensione delle condizioni in cui versava il patrimonio costruito fra il Settecento e l'Ottocento.

Successivamente a tale indagine di livello urbanistico si è passati al reperimento delle informazioni relative agli edifici scelti come esemplificativi dell'intero costruito del quartiere.

Le difficoltà riscontrate in tale fase, da imputarsi all'approssimazione e alla scarsità della documentazione disponibile, sono state in parte compensate dal rilievo *in situ* che, tramite la sovrapposizione delle informazioni, ha reso possibile la restituzione grafica delle diverse fabbriche, utile alla comprensione della loro distribuzione spaziale e, quindi, del loro funzionamento.

## 1.2 Le indagini strumentali

Nel caso in cui si debba operare il riadeguamento energetico di un edificio, la sola conoscenza della sua storia, della sua struttura e organizzazione spaziale non risulta sufficiente. Per ottenere un miglioramento delle prestazioni della fabbrica bisogna, innanzitutto, conoscerne *performance* e potenzialità, in modo da comprendere quali possano essere gli effettivi margini di miglioramento ottenibili attraverso le diverse possibili azioni di *retrofit*.

Tuttavia, come messo in evidenza nel secondo capitolo, la comprensione del reale comportamento termico di un edificio storico risulta piuttosto difficoltosa, complicata dalla varietà di materiali e tecniche costruttive utilizzate, di cui si è ormai persa la conoscenza. Se per la costruzione di una nuova fabbrica si è sempre in possesso dei dati relativi alla stratigrafia e alle caratteristiche tecniche dei materiali impiegati per la realizzazione dei diversi elementi, nel caso di una preesistenza spesso tali informazioni non si conoscono. Inoltre, se si deci-

desse di ricorrere ai valori tabellati e presenti negli abachi esistenti, si correrebbe il rischio di ottenere una lettura incompleta e distante dalla realtà poiché tali valori, riferendosi a materiali omogenei e stratigrafie standardizzate, non potranno mai fornire un quadro esaustivo di tutte le diverse tecniche tradizionali dipendenti fortemente anche dalla posa in opera e dai sistemi di allettamento (quantità e composizione delle malte, etc.), nonché, ovviamente, delle condizioni ambientali all'intorno.

Bisogna quindi ricorrere al rilevamento diretto delle proprietà termiche dei materiali tramite una serie di indagini strumentali *in situ*, fondamentali per completare un dettagliato quadro conoscitivo del manufatto: la diagnostica strumentale costituisce infatti un valido supporto alla formulazione delle ipotesi relative alle dispersioni termiche di involucro, coperture e pavimentazioni.

È infine fondamentale la verifica delle condizioni climatiche interne ai diversi ambienti.

### Le proprietà termiche dell'involucro.

Per la stesura del profilo energetico degli edifici oggetto di studio, dopo una preliminare indagine termografica all'infrarosso utile a definire la tecnica costruttiva impiegata per la realizzazione della fabbrica, si è proceduto alla misurazione del valore della trasmittanza termica dell'involucro tramite termoflussimetria, secondo quanto indicato dallo standard internazionale ISO 9869:1994.

Nello specifico, è stato utilizzato un apparecchio dotato di sensori di misura della temperatura RTD Pt1000 in classe 1/3 in conformità a quanto prescritto dalla normativa DIN/IEC75 nella tipologia "a bottone" o "a pastiglia", caratterizzati da un trattamento superficiale esterno simile alle più diffuse finiture ad intonaco, in modo da ottenere un coefficiente di assorbimento della radiazione solare vicino a quello della superficie esterna della parete nella quale vanno collocati.

I dati rilevati sono stati trasmessi in modalità *wireless* ad un *datalogger* a 16 bit e 30 canali, che può memorizzare i dati con frequenza temporale di 5 minuti, calcolando il valore medio di 5 letture consecutive (una al mi-

nuto). I sensori sono stati posizionati sulle pareti esterne considerate più idonee (fig. 73), ovvero quelle maggiormente protette dall'irraggiamento solare diretto e hanno misurato la temperatura superficiale sul lato esterno e sul lato interno della muratura.

Vista la necessità di avere un'importante differenza di temperatura fra le due superfici contrapposte dello stesso paramento murario, per la buona riuscita della campagna di rilievo, l'indagine è stata effettuata durante la stagione fredda, con i sistemi di riscaldamento attivi. I dati raccolti dopo 72 ore di indagine sono stati rielaborati assumendo che il valore della trasmittanza possa essere ottenuto dividendo il valore del flusso medio di calore con la differenza media di temperatura, secondo la formula:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_{ej})}$$

### Lo studio del microclima interno agli edifici.

Per operare un efficiente recupero dell'edilizia storica non basta ottimizzare le *performance* energetiche della fabbrica, bisogna intervenire in modo da migliorarne le condizioni di comfort termoigrometrico globale, spesso precarie all'interno di tali tipologie.

Come illustrato nella prima parte del lavoro (cfr. cap. 3), per definire la condizione di benessere percepita dagli occupanti all'interno di un ambiente, possono essere utilizzati gli indici PMV e PPD, ricavabili a partire dalle specifiche condizioni rilevate all'interno dello stesso ambiente., così come definito dalla norma ISO-7730.

Tuttavia tale metodologia di valutazione si basa sulla presenza di condizioni termoigrometriche prestabilite, imputabili, ad esempio, alla presenza di un impianto di climatizzazione centralizzato a livello condominiale. Il caso oggetto di studio si discosta da questa condizione, usufruendo di un sistema di condizionamento gestito in maniera diretta dall'utente.

Non potendo quindi fare completamente riferimento alla metodologia di valutazione fornita dalle norme

ISO 7726 e UNI EN ISO 7730, si è utilizzata la UNI EN 15251:2008 "Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica".

La norma fornisce una metodologia per la classificazione e la certificazione dell'ambiente interno, in modo da poter operare una correlazione tra i consumi energetici di un edificio e il corrispondente livello di qualità dell'ambiente interno.

Contemporaneamente all'indagine relativa alle caratteristiche termiche dell'involucro è stato, quindi, effettuato un monitoraggio delle condizioni microclimatiche interne alle abitazioni, tramite una stazione di rilevamento (fig. 74), impostata in modo da raccogliere, ogni 5 minuti, i dati relativi a temperatura a bulbo secco, temperatura a bulbo umido, umidità relativa, velocità dell'aria e temperatura misurata dal globo termometrico.

Per ottenere tali dati sono stati utilizzati nello specifico:

- un anemometro a filo caldo;
- una sonda globo-termometrica;
- un sensore per la misura dell'umidità relativa con metodo psicrometrico.

Fig. 73: Misura termoflussimetrica della parete: sensori.



Fig. 74: Misura delle caratteristiche dell'ambiente interno: stazione microclimatica.



### 1.3 L'individuazione delle criticità energetiche

L'insieme dei dati sperimentali ricavati tramite la termografia, la termoflussimetria e il monitoraggio ambientale consente di ottenere un quadro indicativo delle caratteristiche termiche degli elementi analizzati. Tuttavia simili indagini spesso incorrono in difficoltà logistiche e incertezze dovute al contesto nel quale si effettuano le campagne di diagnosi, quali le condizioni climatiche all'intorno e la disponibilità di elementi realmente indagabili (pareti esposte in maniera congrua, assenza di elementi di disturbo, ecc.), evidenziando la necessità, per definire il reale profilo delle prestazioni energetiche dell'intera fabbrica, di essere affiancate ad una serie di calcoli normati, utili alla definizione oggettiva del comportamento dell'intero sistema edificio-impianto nella sua globalità.

Tale studio, prendendo in considerazione le caratteristiche termiche dell'involucro e l'azione degli impianti termici, stabilisce la quantità di energia di cui necessita un edificio per il raggiungimento e mantenimen-

to di un adeguato livello di benessere termoigrometrico.

Il calcolo viene eseguito in regime stazionario, ovvero con condizioni costanti di temperatura esterna e interna, secondo quanto stabilito dalla UNI EN 13790, "Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento", di cui la UNI/TS 11300:2008 riporta le specifiche tecniche. Questa si compone delle seguenti parti:

- UNI/TS 11300-1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio estiva ed invernale;
- UNI/TS 11300-2: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria;
- UNI/TS 11300-3: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;
- UNI/TS 11300-4: utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria.

7. La norma definisce la zona termica come "Parte dell'ambiente climatizzato mantenuto a temperatura uniforme attraverso lo stesso impianto di riscaldamento, raffrescamento o ventilazione", UNI/TS 11300-1, *Termini e definizioni*.

### 1.3.1 I dati di input

Ai fine del presente lavoro, per ciascun edificio esaminato, sono stati determinati il fabbisogno di energia termica per la climatizzazione estiva e invernale (UNI/TS 11300-1) e il fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria (UNI/TS 11300-2).

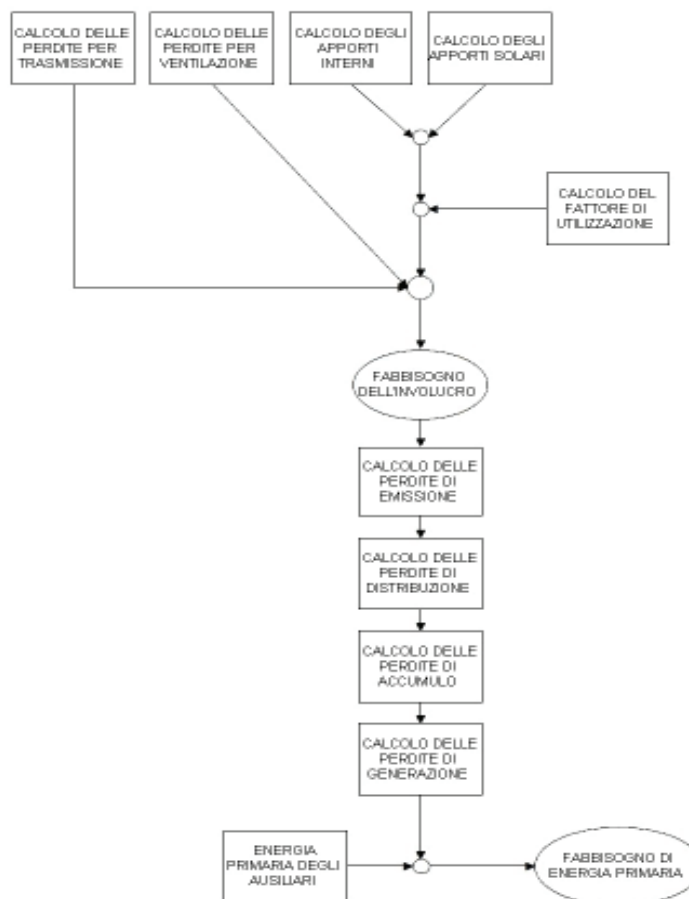
La procedura di calcolo indicata dalla norma parte dalla distinzione fra ambienti climatizzati e non climatizzati, nonché dalle condizioni termiche interne, in relazione al clima del sito analizzato. In base ai dati immessi viene quindi stabilito, per ogni mese e per ogni zona termica<sup>7</sup> dell'edificio, il fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento, in base agli apporti e alle dispersioni termiche, come indicato nello schema di flusso posto a lato (fig. 75).

La norma suddivide le informazioni di ingresso necessarie per lo svolgimento dei calcoli in quattro grandi gruppi.

I dati relativi alle caratteristiche tipologiche dell'edificio comprendono:

- il volume lordo dell'ambiente clima-

Fig. 75: Diagramma di flusso per il calcolo del fabbisogno di energia primaria.



tizzato ( $V_i$ );

- il volume netto dell'ambiente climatizzato ( $V$ );
- la superficie utile (o netta calpestabile) dell'ambiente climatizzato ( $A_r$ );
- le superfici di tutti i componenti dell'involucro e della struttura edilizia ( $A$ );
- le tipologie e le dimensioni dei ponti termici ( $I$ );
- gli orientamenti di tutti i componenti dell'involucro edilizio;
- le caratteristiche geometriche di tutti gli elementi esterni (altri edifici, aggetti, ecc.) che ombreggiano i componenti trasparenti dell'involucro edilizio.

I dati relativi alle caratteristiche termiche e costruttive dell'edificio comprendono invece:

- le trasmittanze termiche dei componenti dell'involucro edilizio ( $U$ );
- le capacità termiche areiche dei componenti della struttura dell'edificio ( $k$ );
- le trasmittanze di energia solare dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio ( $g$ );
- i fattori di assorbimento solare delle facce esterne dei componenti opachi dell'involucro ( $\alpha_{sol,c}$ );
- le emissività delle facce esterne dei componenti dell'involucro ( $\epsilon$ );
- i fattori di riduzione della trasmit-

tanza di energia solare totale dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio in presenza di schermature mobili ( $F_{sh}$ );

- i fattori di riduzione dovuti al telaio dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio ( $1-F_r$ );
- i coefficienti di trasmissione lineare dei ponti termici ( $\Psi$ ).

I dati climatici necessari sono invece:

- le medie mensili delle temperature esterne ( $\theta_e$ );
- l'irradianza solare totale media mensile sul piano orizzontale ( $I_{sol,h}$ );
- l'irradianza solare totale media mensile per ciascun orientamento ( $I_{sol}$ ).

Infine, i dati relativi all'utenza, che comprendono:

- la temperatura interna di regolazione per il riscaldamento ( $\theta_{int,set,H}$ );
- la temperatura interna di regolazione per il raffrescamento ( $\theta_{int,set,C}$ );
- il numero di ricambi d'aria ( $n$ );
- il tipo di ventilazione (aerazione, ventilazione naturale, ventilazione artificiale);
- il tipo di regolazione di portata di ventilazione (costante, variabile);
- la durata del periodo di raffrescamento ( $N_C$ );
- la durata del periodo di riscaldamento ( $N_H$ );
- il regime di funzionamento dell'impianto di climatizzazione;



- le modalità di gestione delle chiusure oscuranti;
- le modalità di gestione delle schermature mobili;
- gli apporti di calore interni ( $Q_{int}$ ).

Per quanto riguarda la definizione della temperatura interna, essa viene assunta costante e pari a 20°C per quanto riguarda il periodo invernale, mentre durante la stagione estiva si considera pari a 26°C.

I dati climatici della città di Cagliari sono riportati nella tab. 7 e sono conformi a quanto riportato nella UNI 10349, con un periodo di riscaldamento che va dal 15 novembre al 31 marzo.

Per quanto riguarda il calcolo relativo alla climatizzazione estiva, nel caso di impianti non centralizzati e quindi direttamente gestibili dall'utente, è possibile stabilire l'effettiva durata del periodo nel quale sarà necessario utilizzare l'impianto per mantenere dentro l'edificio una temperatura non superiore a quella di progetto.

Il primo e l'ultimo giorno di raffrescamento vengono quindi calcolati come i giorni nei quali la somma degli apporti termici interni e solari eguaglia le perdite di calore. Nello specifico viene utilizzata la formula:

$$\theta_{e,day} > \theta_{i,set,C} - (Q_{gn,day}) / (H \times t_{day})$$

Tab. 7: Dati climatici della città di Cagliari.

Dati Climatici	
Città	Cagliari
Gradi giorno	990
Zona climatica	C
Temperatura esterna di progetto	3

dove:

$\theta_{e,day}$  è la temperatura esterna media giornaliera;

$\theta_{i,set,C}$  uguale alla temperatura interna di regolazione per il raffrescamento;

$Q_{gn,day}$  sono gli apporti interni e solari medi giornalieri;

$H$  è il coefficiente globale di cambio termico dell'edificio, in W/K, pari alla somma dei coefficienti globali di scambio termico per trasmissione e ventilazione, corretti per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno;

$t_{day}$  è la durata del giorno.

### Perdite per trasmissione.

La trasmissione di calore (in ingresso o in uscita) da una zona termica avviene: verso l'aria esterna, verso il terreno, verso altre zone climatizzate e non. Il relativo coefficiente globale di scambio termico per trasmissione si ricava come somma di questi contributi:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_u + H_A$$

dove:

$H_D$  è il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno [W/K];

$H_g$  è il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno [W/K];

$H_u$  è il coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati [W/K];

$H_A$  è il coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone (interne o meno all'edificio) climatizzate a temperatura diversa [W/K].

Il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno ( $H_D$ ) si calcola in maniera differente a seconda che sia relativo alla componente dell'involucro opaca o a quella trasparente.

Nel calcolo dell'involucro opaco la formula assume la seguente forma:

$$H_{D,o} = S_{kAc,k} \times U_{c+pt,k}$$

dove:

$A_{c,k}$  è l'area del componente opaco, maggiore e l'area, maggiori le dispersioni [m<sup>2</sup>];

$U_{c+pt,k}$  è la trasmittanza del componente opaco, maggiorata per la presenza di eventuali ponti termici, ovvero di porzioni di materiale in cui l'isolamento decade sensibilmente rispetto al resto della superficie [W/m<sup>2</sup>K].

L'involucro opaco è costituito da pareti con differenti caratteristiche

stratigrafiche. La trasmittanza termica dei componenti opachi è stata maggiorata per la presenza di ponti termici. Nello specifico, una maggiorazione del 5% che secondo il Prospetto 4 della norma UNI/TS 11300-1 par. 11.1.3, si applica a “Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)” (tab. 8). Nel calcolo dell’involucro trasparente la formula assume la seguente forma:

$$H_{D,f} = S_{kAw,p,k} \times U_{f,k}$$

dove:

$A_{w,p,k}$  è l’area del componente trasparente [m<sup>2</sup>];

$U_{f,k}$  è trasmittanza del componente trasparente [W/m<sup>2</sup>K].

La metodologia seguita è quella illustrata nella norma UNI/TS 11300-1 par. 11.1.2 e Appendice C.

Per ricavare i valori di trasmittanza termica delle finestre  $U_{f,k}$  (vetro e telaio) si è assunta una superficie del telaio pari pari al 20% dell’area dell’intera finestra; il Prospetto C.3 ha quindi fornito i valori  $U_{f,k}$  in funzione della trasmittanza del vetro  $U_{gl}$  e dell’area delle finestre.

Un altro parametro il cui calcolo è indicato nella norma è lo scambio termico stazionario per trasmissione

Tab. 8: Maggiorazioni percentuali relative alla presenza di ponti termici [%].

Descrizione della struttura	Maggiorazione <sup>11)</sup>
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e ponti termici corretti	5
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	15
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	5
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	20
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	30

Tab. 9: Fattore di correzione  $b_{tr,g}$ .

Ambiente confinante	$b_{tr,g}$
Pavimento controterra	0,45
Parete controterra	0,45
Pavimento su vespaio aerato	0,80

verso il terreno.  
Si ottiene dalla:

$$H_g = A \times U_f \times b_{tr,g}$$

dove:

A è l'area dell'elemento;

$U_f$  è la trasmittanza termica della parte sospesa del pavimento (tra l'ambiente interno e lo spazio sottopavimento), espressa in  $W/m^2K$ ;

$b_{tr,g}$  è un fattore di correzione dato dal prospetto 6 della UNI/TS 11300 (tab. 9).

Nel caso in cui si analizzasse un appartamento posto in un piano intermedio e quindi non a diretto contatto con il terreno, il coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno è nullo e pari a 0  $W/K$ .

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione verso gli ambienti non climatizzati,  $H_U$ , si ottiene come:

$$H_U = H_{iU} \times b_{tr,x}$$

con  $b_{tr,x}$  fattore di correzione di scambio termico tra ambienti climatizzati e non climatizzati, diverso da 1 nel caso in cui la temperatura di quest'ultimo sia diversa da quella dell'ambiente esterno:

$$b_{tr,x} = H_{Ue} / (H_{iU} + H_{Ue})$$

dove:

$H_{iU}$  è il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato;

$H_{Ue}$  è il coefficiente globale di scambio termico fra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno.

Per quanto riguarda tre dei quattro casi analizzati, la superficie di scambio verso ambienti non climatizzati è costituita esclusivamente dalle pareti verso il vano scala.

### **Perdite per ventilazione.**

La normativa prevede dei ricambi per ventilazione che dipendono dal grado di occupazione dei locali, nonché dalla loro destinazione d'uso, in maniera tale da garantire un'opportuna qualità dell'aria. Il numero di ricambi orari ricavato dalle formule è solitamente molto superiore a quanto realmente effettuato, di norma, negli edifici. In talune realtà il ricambio d'aria deve essere necessariamente assicurato, per lo più tramite appositi impianti di aerazione con recupero di calore. Le perdite per ventilazione risultano, quindi, particolarmente elevate e rappresentano una voce di

incoerenza fra il fabbisogno energetico calcolato e quello verificato durante la vita dell'edificio.

Il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione si ricava come:

$$H_{ve,adj} = r_a c_a \times (S_k b_{ve,k} \times q_{ve,k,mn})$$

dove:

$r_a c_a$  è la capacità termica volumica dell'aria, pari a 1.200 [J/m<sup>3</sup>K];

$q_{ve,k,mn}$  è la portata mediata sul tempo del flusso d'aria k-esimo [m<sup>3</sup>/s];

$b_{ve,k}$  è il fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k-esimo, pari a 1 se la temperatura di mandata non è uguale alla temperatura dell'ambiente esterno, come nel caso di preriscaldamento, pre-raffrescamento o di recupero termico dell'aria di ventilazione.

La portata, mediata sul tempo, del flusso d'aria k-esimo,  $q_{ve,k,mn}$ , espressa in [m<sup>3</sup>/s], si ricava come:

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \times q_{ve,k}$$

dove:

$f_{ve,t,k}$  è la frazione di tempo in cui si verifica il flusso d'aria k-esimo. Il calcolo dei coefficienti di scambio termico sono eseguiti secondo le norme UNI EN ISO 13789:2008 e UNI/TS 11300-1 par 5.2 e 12.1.1.

### Apporti interni.

Gli apporti interni di calore dipendono dalla presenza di occupanti e dal calore generato dall'utilizzo delle apparecchiature elettriche presenti.

In generale, dipendono dalla destinazione d'uso dei locali.

Per conoscerne il valore [W/m<sup>2</sup>], nel caso di edifici a destinazione d'uso residenziale con superficie utile di pavimento uguale o inferiore a 170 m<sup>2</sup>, si applica la formula:

$$\Phi_{int} = 5,294 \times A_f - 0,01557 \times A_f^2$$

mentre nel caso di edifici non adibiti a residenza si fa riferimento al prospetto 8 della UNI/TS 11300-1.

### Apporti solari.

La norma UNI/TS 11300-1 indica una procedura standard per il calcolo degli apporti solari dovuti alla radiazione solare incidente sull'involucro degli edifici, che tiene in considerazione la componente opaca, quella trasparente e l'eventuale presenza di schermature.

Tuttavia, la conformazione del tessuto urbano del quartiere di Castello, particolarmente denso e articolato

8. I cerchi relativi alle "linee delle altezze" riportano le altezze ad intervalli di  $10^\circ$ , a partire dall'esterno verso il centro. La linea dei  $90^\circ$  coincide con il centro del diagramma.

9. Le "linee della data" partono dal lato est del diagramma e vanno verso quello ovest. Per renderne facile la lettura, le linee relative ai primi sei mesi dell'anno sono rappresentate con tratto continuo, le altre con un tratteggio.

10. L'intersezione delle "linee dell'ora" con le "linee della data" fornisce la posizione del Sole richiesta. Anche in questo caso il tratto continuo è utilizzato per i primi sei mesi dell'anno, quello discontinuo per i restanti sei.

attorno a strade strette e curve, è caratterizzata da un'elevata difficoltà di soleggiamento dei prospetti degli edifici.

Per questo motivo si è ritenuto necessario calcolare in maniera diretta il valore dell'irradiazione solare incidente, giudicando i valori tabellati nel Prospetto VIII della UNI 10349 (ottenuti applicando il metodo esposto nella UNI/TS 11300-1) non adatti a descrivere in maniera realistica la situazione riscontrata nel quartiere. Per ricavare il valore degli apporti solari si è quindi scelto di utilizzare il software Autodesk® Ecotect® Analysis, in grado di quantificare la radiazione solare incidente sull'involucro di un edificio, previa impostazione delle coordinate geografiche e dei dati climatici relativi al sito di riferimento, reperibili tramite il database METEONORM.

Nello specifico è stata calcolata l'energia radiante proveniente dal sole e incidente su una o più superfici del modello, prendendo in considerazione sia la componente di radiazione diretta, espressa in  $W/m^2$  e misurata su una superficie colpita direttamente dal sole (con direzione di radiazione normale alla superficie), sia quella diffusa, anch'essa espressa in  $W/m^2$  e data dall'energia proveniente dalla

volta celeste misurata su una superficie piana orizzontale, meno il valore della radiazione diretta. L'analisi eseguita è stata resa possibile dalla realizzazione di un modello tridimensionale rappresentante gli edifici e il contesto costruito in cui sono inseriti, realizzato con un apposito software di modellazione e successivamente importato in Ecotect® Analysis.

Una volta riprodotte le altezze, gli oggetti e le ostruzioni caratterizzanti l'intorno, si è proceduto alla definizione delle caratteristiche dei diversi elementi costituenti gli edifici presi in esame, operando una distinzione fra elementi opachi dell'involucro (mura e coperture) e elementi trasparenti (finestre e vetrate).

La contestualizzazione geografica, e quindi climatica, del modello è resa possibile dai dati di *input* caricati sul software tramite lo strumento "Weather tool" e relativi a latitudine, longitudine, altitudine e fuso orario. Tale strumento, rappresentando un database dei dati climatici del sito prescelto, è risultato utile anche per l'individuazione dei giorni dell'anno statisticamente più caldi, freddi o ventosi nonché per l'individuazione dei valori giornalieri di temperatura, umidità relativa e radiazione solare. L'andamento annuale, su base men-

sile, dei parametri relativi a temperatura e radiazione è disponibile sul pannello “Monthly Data”.

L’utilizzo di tali strumenti ha consentito di effettuare un’indagine qualitativa, utile alla comprensione generale delle criticità caratterizzanti l’intero quartiere, affiancata a un’analisi di tipo quantitativo, fondamentale per ricavare i dati utili allo svolgimento del calcolo del fabbisogno energetico degli edifici.

Per una completa comprensione delle interferenze dovute al denso costruito di Castello si è proceduto, inizialmente, ad analizzare gli edifici senza considerare il loro contesto, prendendoli quindi singolarmente in modo che non fossero penalizzati dalle ombre portate delle ostruzioni situate nelle loro immediate vicinanze. Successivamente si è analizzata la situazione reale, fortemente compromessa da tali ostacoli.

Uno strumento utile a descrivere la qualità della radiazione sulle superfici è il diagramma solare, ovvero una proiezione della volta celeste su un piano, su cui vengono tracciati i percorsi solari nei diversi mesi dell’anno (fig. 76).

Grazie al diagramma è possibile ottenere una rappresentazione grafica della situazione di ombreggiamento

o esposizione alla luce del Sole nella quale si trova un determinato punto posto in una facciata di un edificio, in qualsiasi giorno dell’anno, nell’ora scelta.

Nel diagramma stereografico, quindi con proiezione sul piano orizzontale, le “linee azimutali” sono rappresentate da un fascio proprio di rette (con centro corrispondente a quello del diagramma), le “linee delle altezze” indicano l’angolo d’altezza del Sole e sono rappresentate dai cerchi concentrici tratteggiati nella figura<sup>8</sup>, le “linee della data” rappresentano il percorso del Sole sulla volta celeste per un determinato giorno dell’anno<sup>9</sup>, le “linee dell’ora” indicano la posizione del Sole ad una specifica ora del giorno e sono rappresentate a forma di 8<sup>10</sup> (fig. 77).

Tramite i diagrammi solari è possibile visualizzare le ombre proiettate dagli edifici su uno specifico punto.

Un’ulteriore rappresentazione grafica utile a definire il sistema di ombre e riflessioni generate all’interno del modello tridimensionale è data dalle assonometrie solari, utili per ottenere una vista dell’edificato come se questo fosse guardato direttamente dalla posizione del Sole (fig. 78).

L’assonometria derivante può quindi essere generata per i giorni dell’anno

Fig. 76: Diagramma solare.

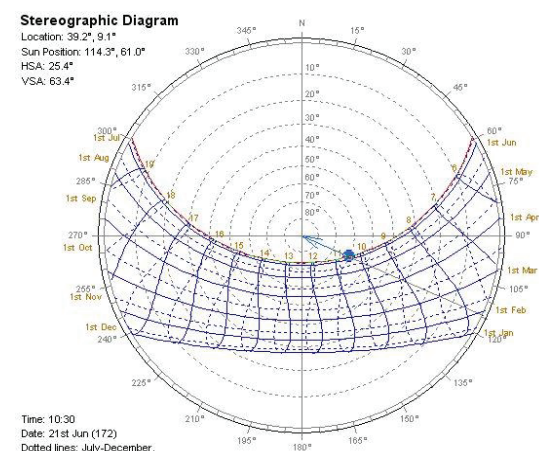
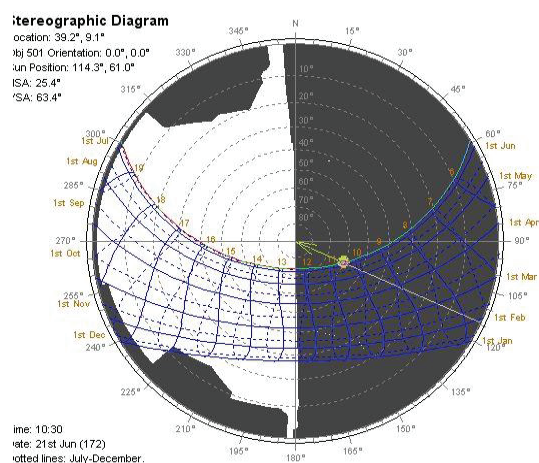


Fig. 77: Diagramma solare di un edificio sito in via Lamarmora, al 15 giugno.



ritenuti maggiormente significativi. Successivamente all'inquadramento qualitativo delle condizioni di ombreggiamento e irraggiamento del costruito, si è proceduto alla determinazione della quantità di radiazione solare incidente sulla superficie esterna degli edifici oggetto di studio<sup>11</sup>. La quantità di energia derivante dalla radiazione risulta maggiore in relazione all'ampiezza dell'angolo di incidenza.

Questo viene sempre calcolato rispetto alla normale alla superficie di ciascun piano.

Contrariamente a quanto fatto per l'analisi qualitativa, in questa fase viene quindi selezionata un'intera superficie e non più un singolo punto situato su di essa.

Si sono definite le impostazioni di calcolo e il livello di accuratezza per il calcolo dell'ombreggiamento.

Per quanto riguarda il periodo di tempo da indagare è possibile scegliere fra più opzioni, che vanno dal calcolo del valore orario di radiazione (utile a mettere in evidenza le variazioni dovute alla presenza di agenti mutevoli come la nuvolosità) a quello mensile. I dati ottenuti sono stati poi esportati e elaborati su fogli di calcolo e riassunti in grafici rappresentanti la radiazione in Wh/m<sup>2</sup>.

11. La radiazione solare incidente si riferisce solo alla quantità di energia che effettivamente colpisce la superficie, la quale non risente in alcun modo delle proprietà di superficie dei materiali o di eventuali effetti di rifrazione interni. Le proprietà del materiale hanno influenza, infatti, solo sulla quantità di radiazione solare assorbita e/o trasmessa da una superficie.

### Fattore di utilizzazione.

Il fattore di utilizzazione degli apporti termici è dato da:

$$\eta_{H,gn} = (1 - \gamma_H^{aH}) / (1 - \gamma_H^{aH+1})$$

quando  $\gamma_H > 0$  e  $\gamma_H \neq 1$ .

Se Invece  $\gamma_H = 1$

$$\eta_{H,gn} = a_H / a_H^{+1}$$

dove:

$$\gamma_H = Q_{gn} / Q_{H,ht} = \text{apporti/dispersioni}$$

$$a_H = a_{H,o} + \tau / T_{H,o}$$

con  $\tau$  è la costante di tempo termica della zona termica, in ore, calcolata come il rapporto tra la capacità termica interna della zona termica considerata ( $C_m$ ) e il suo coefficiente globale di scambio termico, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno.

### Fabbisogno dell'involucro.

I dati di *input* reperiti finora rendono possibile il calcolo del fabbisogno netto di energia termica per l'invo-



lucro. Questo viene definito come il fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento ( $Q_{H,nd}$ ) l'energia richiesta per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto (fissata per legge a 20 °C), essa viene si calcolata, per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, come:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \times (Q_{int} + Q_{sol})$$

dove:

$Q_{H,nd}$  è il fabbisogno di energia termica dell'edificio per riscaldamento [MJ];

$Q_{gn}$  sono gli apporti termici totali, somma dei contributi al riscaldamento interni (persone, attrezzature) e solari [MJ];

$Q_{H,ht}$  è lo scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento, ovvero l'energia che si disperde attraverso pareti, solai e serramenti [MJ];

$Q_{H,ve}$  è lo scambio termico per ventilazione nel caso di riscaldamento [MJ];

$Q_{int}$  sono gli apporti termici interni [MJ];

$Q_{sol}$  sono gli apporti termici solari [MJ];

$\eta_{H,gn}$  è il fattore di utilizzazione degli apporti termici, ovvero la misura di quanto questi incidono sul resto del fabbisogno.

### Calcolo del fabbisogno di energia primaria.

Una volta determinato il fabbisogno di energia netta dell'involucro si procede con il calcolo delle perdite e dei consumi di energia elettrica dei sottosistemi dell'impianto termico:

- sottosistema di emissione
- sottosistema di regolazione
- sottosistema di distribuzione
- sottosistema d'accumulo
- sottosistema di generazione.

Aggiungendo al valore dell'energia netta  $Q_{H,nd}$  tutte le perdite dei sottosistemi e i fabbisogni di energia primaria degli ausiliari elettrici si ottiene il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dell'appartamento, grazie alla formula:

$$Q_{p,H,W} = \sum Q_{H,c,i} \times f_{p,i} + \sum Q_{W,c,j} \times f_{p,j} + (Q_{H,aux} + Q_{W,aux} + Q_{INT,aux} - Q_{el,exp}) \times f_{p,el}$$

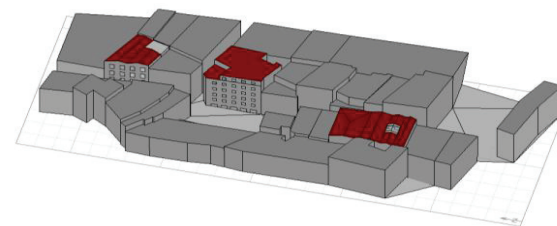
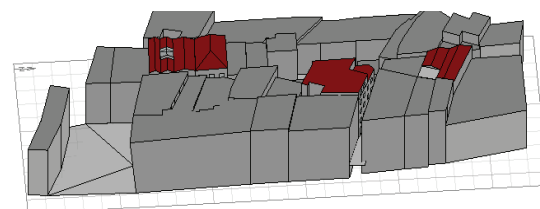
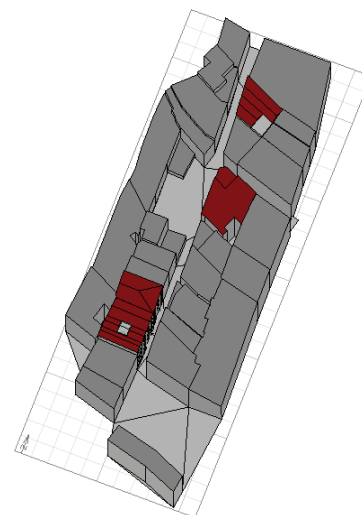
dove:

$Q_{H,c,i}$  è il fabbisogno di energia per riscaldamento ottenuto da ciascun vettore energetico  $i$  (combustibili, energia elettrica, ecc.).

Nel caso di combustibili è dato dalla quantità utilizzata per il potere calorifico inferiore, nel caso di energia elettrica dalla quantità utilizzata;

$f_{p,i}$  è il fattore di conversione in ener-

Fig. 78: Assonometrie solari di parte del quartiere Castello



già primaria del vettore energetico  $i$ ;  $Q_{w,cj}$  è il fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria ottenuto da ciascun vettore energetico  $j$  (combustibili, energia elettrica, ecc.). Nel caso di combustibili è dato dalla quantità utilizzata per il potere calorifico inferiore, nel caso di energia elettrica dalla quantità utilizzata;

$Q_{H,aux}$  è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di riscaldamento;

$Q_{w,aux}$  è il fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari degli impianti di produzione acqua calda sanitaria;

$Q_{INT,aux}$  è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari di eventuali sistemi che utilizzano energie rinnovabili e di cogenerazione;

$Q_{el,exp}$  è l'energia elettrica esportata dal sistema (da solare fotovoltaico, cogenerazione);

$f_{p,el}$  è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia ausiliaria elettrica.

I fattori di conversione sono assunti pari a 1 nel caso di combustibili fossili e, per quanto riguarda l'energia elettrica, in base a quanto stabilito dalla Delibera EEN 3/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas e corrisponde a  $0,187 \times 10^{-3}$  tep/kWhe, ovvero 2,17 kWh/kWhe.

Nel caso di impianti solo di riscalda-

mento o di sola acqua calda sanitaria sono stati considerati solo i termini relativi al sistema considerato.

### Perdite di emissione.

La determinazione delle perdite di emissione è dipendente dall'altezza del locale considerato.

Nello specifico, la norma attua una suddivisione fra locali alti fino a 4 m e locali alti tra i 4 e i 14 m.

Viene quindi calcolato il rendimento<sup>12</sup> di emissione  $\eta_e$  dell'impianto, in base ai prospetti 17 e 18 della stessa norma. Il carico termico (calcolato su base mensile), è il rapporto tra l'energia netta necessaria per il riscaldamento (espressa in Wh) e il rapporto tra le ore convenzionali di riscaldamento del mese considerato e il volume lordo:

$$Q_{H,nd} * 1000 / V_{lordo} * t_{conv} \quad [W/m^3]$$

In presenza di parete esterna non isolata si riduce il rendimento di 0,04. I rendimenti indicati sono riferiti a una temperatura di mandata dell'acqua di 85° C. Il calcolo delle perdite del sottosistema è quindi:

$$Q_{l,e} = Q_{h,n} d * (1 - \eta_e) / \eta_e \quad [kWh]$$

12. Il rendimento medio stagionale  $\eta_{g,H}$  dell'impianto di riscaldamento è dato da:

$$\eta_{g,H} = Q_{h,Q,p,H}$$

dove:

$Q_{p,H}$  è il fabbisogno di energia primaria per riscaldamento calcolato;

$Q_h$  è il fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento.

ne deriva che, per sopperire alle perdite di emissione, il sistema debba soddisfare un fabbisogno di emissione totale pari a:

$$Q_{i,eN} = Q_{H,nd} + Q_{i,e} \quad [\text{kWh}]$$

### Perdite per regolazione.

Le perdite dovute al sottosistema di regolazione sono calcolate dalla:

$$Q_{i,rg} = (Q_{H,nd} + Q_{i,e}) * (1 - \eta_{rg}) / \eta_{rg} \quad [\text{kWh}]$$

I rendimenti  $\eta_{rg}$  dipendono dalla tipologia di impianto impiegata e dal tipo di regolatore associato.

Il prospetto 20 della norma riporta i valori delle tipologie maggiormente diffuse.

### Perdite di distribuzione.

Le perdite di distribuzione può essere ricavate attraverso tre diversi procedimenti:

- tramite l'utilizzo di dati precalcolati ricavati da prospetti in base alle principali caratteristiche del sottosistema (prospetto 21 della UNI/TS 11300);
- facendo ricorso al metodo descritto nell'appendice A;

- mediante metodi analitici descritti nelle norme pertinenti.

Nel caso di valutazioni energetiche di progetto deve essere effettuato il calcolo delle perdite di distribuzione con il secondo o terzo metodo.

Qualora si utilizzino i dati di rendimento del prospetto 21 non si prevedono recuperi termici delle pompe di distribuzione.

Qualora, nel caso di edifici esistenti, non possano essere resi disponibili in alcun modo dati costruttivi della rete di distribuzione, si possono utilizzare i rendimenti del prospetto 21.

In questo caso, tutte le perdite recuperabili si devono considerare non recuperate, ossia la quota di recupero viene posta uguale a zero.

Nel caso di impianti con fluido termovettore aria calda, il calcolo delle perdite deve essere effettuato in ogni caso utilizzando metodi di calcolo analitici.

Qualora vengano utilizzati i valori del prospetto 21, le perdite di distribuzione si calcolano con la formula seguente:

$$Q_{i,d} = (Q_{i,rg} + Q_{H,nd} + Q_{i,e}) * (1 - \eta_{ds}) / \eta_{ds} \quad [\text{kWh}]$$

### Perdite di accumulo.

Qualora l'impianto di riscaldamento sia dotato di accumulo, le perdite si calcolano in base alla entità e alle caratteristiche della superficie disperdente dell'accumulatore e alla differenza tra la temperatura media della superficie e la temperatura media dell'ambiente nel quale l'accumulatore è installato, applicando la formula:

$$Q_{l,w,s} = S_s/d_s \times (\theta_s - \theta_a) \times t_s \times \lambda_s$$

dove:

$S_s$  è la superficie esterna dell'accumulo [ $m^2$ ];

$d_s$  è lo spessore dello strato isolante [ $m$ ];

$\lambda_s$  è la conduttività dello strato isolante [ $W/m \times K$ ];

$t_s$  è la durata del periodo considerato [ $h$ ];

$\theta_s$  è la temperatura media nell'accumulo [ $^{\circ}C$ ];

$\theta_a$  è la temperatura ambiente del locale di installazione dell'accumulo [ $^{\circ}C$ ].

Qualora sia invece disponibile il valore della dispersione termica dell'apparecchio  $K_{boll}$  [ $W/K$ ] (dichiarato dal costruttore), le perdite si calcolate con la formula:

$$Q_{l,w,s} = k_{boll} \times (\theta_s - \theta_a) \times t_s \quad [Wh]$$

La norma CEI EN 60379 stabilisce che il costruttore dichiari il valore delle perdite nominali (statiche) nel caso di apparecchi elettrici.

Per accumulatori installati all'interno di un ambiente riscaldato le perdite si considerano completamente recuperate durante l'intero periodo di riscaldamento. Al contrario sono considerate non recuperabili durante il periodo nel quale il riscaldamento è inattivo (estivo). La totalità delle perdite di accumulo, recuperabili e non recuperabili, si considerano presenti in tutto il periodo di funzionamento prefissato del sistema. Il fattore di recupero  $b_{g,w}$  dipende quindi dall'ubicazione dell'accumulatore. Le perdite recuperate sono date da:

$$Q_{lrh,w,s} = Q_{l,w,s} \times (1 - b_{g,w}) \quad [Wh]$$

dove:

$b_{g,w}$  è pari a 0 se in ambiente riscaldato oppure pari a 1 se fuori dall'ambiente riscaldato.

### Perdite per generazione.

Il sottosistema di generazione può essere destinato a fornire il calore

necessario per la produzione dell'acqua calda sanitaria.

in tal caso l'energia termica totale  $Q_{p,H,W}$  è ricavata dalla somma del fabbisogno per il riscaldamento e da quello per l'acqua calda sanitaria.

Tali perdite sono influenzate da diversi parametri, quali la temperatura dell'acqua (media e/o di ritorno al generatore) nelle condizioni di esercizio (medie mensili) e il suo dimensionamento rispetto al reale fabbisogno dell'edificio.

Facendo riferimento ai valori forniti dal prospetto 23, il calcolo delle perdite per generazione si effettua tramite la formula:

$$Q_{l,gn} = (Q_{hr} + Q_{l,d}) \times (1 - \eta_{gn}) / \eta_{gn} \quad [\text{Wh}]$$

### **Fabbisogno elettrico ausiliario dell'impianto.**

L'ultimo passo per il calcolo del fabbisogno totale di energia primaria consiste nella determinazione del fabbisogno d'energia elettrica dell'impianto.

A tal fine si dovrà calcolare, innanzitutto, la potenza elettrica necessaria al funzionamento dell'impianto stesso facendo riferimento alla formula seguente:

$$W_{aux} = G + H + (\Phi_{gn,Pn})^n \quad [\text{kW}]$$

dove:

$\Phi_{gn,Pn}$  è la potenza nominale della caldaia in kW;

G, H, n sono parametri riportati nel prospetto B4 della norma UNI/TS 11300 – Parte 2.

Nel caso fosse presente una pompa di circolazione, la potenza totale richiesta dagli ausiliari si ottiene sommando quella della pompa a quella della caldaia.

E' necessario quindi considerare i tempi di accensione della pompa e del generatore.

A tal fine si dovrà calcolare il fattore di carico  $F_{cu}$  dell'impianto dato dal rapporto tra la potenza media stagionale e la potenza termica utile.

Il periodo di funzionamento è dato dal prodotto tra le ore totali d'attivazione e il fattore di carico.

Il fabbisogno d'energia elettrica degli ausiliari si otterrà quindi moltiplicando la potenza totale degli ausiliari per il periodo di funzionamento.

### **Calcolo dell'energia primaria necessaria per il riscaldamento.**

Il fabbisogno di energia primaria si ottiene sommando al fabbisogno

all'ingresso della generazione, moltiplicato per il fattore di conversione, il valore dell'energia assorbita totale, moltiplicato per il fattore di conversione  $f_{pel} = 2,17$ .

In conclusione si ottiene il fabbisogno di energia primaria per riscaldamento e produzione di ACS per il periodo considerato.

### Fabbisogno di energia per l'acqua calda sanitaria.

Il calcolo dell'energia necessaria ad ottenere l'acqua calda sanitaria viene effettuato tramite la UNI/TS 11300-2: "determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria". L'energia termica  $Q_{h,w}$  richiesta per riscaldare una quantità di acqua alla temperatura desiderata è:

$$Q_{h,w} = \rho \times c \times V_w \times (\theta_{er} - \theta_o) \times G \quad [Wh]$$

dove:

$\rho$  è la massa volumica dell'acqua pari a 1000 [kg/m<sup>3</sup>];

$c$  è il calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [Wh/kg °C];

$V_w$  è il volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo [m<sup>3</sup>/G];

$\theta_{er}$  è la temperatura di erogazione [°C];  
 $\theta_o$  è la temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria [°C];

$G$  è il numero dei giorni del periodo di calcolo [G].

### Volumi di acqua richiesti.

I volumi di acqua calda sanitaria sono riferiti convenzionalmente ad una temperatura di erogazione di 40 °C e ad una temperatura di ingresso di 15 °C. Il salto termico di riferimento ai fini del calcolo del fabbisogno di energia termica utile è, quindi, di 25 K. Il volume è dato da:

$$V_w = a \times N_u \quad [l/G]$$

dove:

$a$  è il fabbisogno giornaliero specifico [l/G];

$N_u$  è un parametro dipendente dalla destinazione d'uso dell'edificio.

Nel caso di abitazioni  $N_u$  è pari alla superficie utile  $S_u$  dell'abitazione, espressa in metri quadrati.

Il valore di  $a$  si ricava dal prospetto 12, nel quale sono indicati anche i fabbisogni di energia termica utile, basati sulla differenza di temperatura convenzionale tra erogazione ed acqua fredda di ingresso di 25 K.

### 1.3.2 Peculiarità di calcolo nel caso di edifici storici

Delineare il profilo energetico di una fabbrica storica risulta spesso complicato da una serie di fattori derivanti dalla scarsa disponibilità di informazioni sull'edificio e dalla particolarità del tessuto nel quale è ubicato.

Abbiamo già parlato degli ostacoli derivanti dal reperimento delle caratteristiche termiche dei materiali posti in opera e dell'influenza del costruito circostante per quanto riguarda la quantificazione della radiazione incidente.

Tuttavia esistono altre difficoltà oggettive che, necessariamente, allontanano il calcolo dalla standardizzazione, per riportarlo alle peculiarità del caso di volta in volta esaminato.

Una di queste deriva dalla difficoltà di zonizzazione, sia all'interno di un intero edificio che nell'ambito di una stessa unità abitativa. La presenza di impianti di riscaldamento singoli, gestibili in maniera diretta dai diversi utenti, rende particolarmente complicato definire le caratteristiche termiche di ambienti che possono, quindi, non essere affatto omogenei.

La difficoltà nel conoscere in maniera dettagliata le diverse componenti impiantistiche, nonché le reti di distribuzione, comporta infine il ricorso a metodi tabellati, certamente meno precisi che, prendendo in considerazione una situazione standard, spesso comportano una sovrastima dei consumi ed un conseguente sovradimensionamento della potenza degli impianti da installare.





## 2 IL QUARTIERE STORICO DI CASTELLO

### 2.1 La storia del quartiere e l'evoluzione del tessuto edilizio

La radice *Kar*, “roccia” nel sostrato mediterraneo e preindoeuropeo, dell'antico nome *Karalis* (poi divenuto Cagliari), lascia intendere il significato di “località rocciosa”. Tale doveva apparire infatti ai protosardi che arrivavano dal mare quel luogo che avrebbero poi scelto per insediarsi la loro città<sup>1</sup>.

Antichi e recenti scavi affermano che il colle di Castello fu abitato già dalla fine del III millennio, in età prenuragica e per tutto il periodo preferenico<sup>2</sup>. Come testimoniato dal rinvenimento di numerosi reperti e dalla presenza di diverse lapidi murate nelle cortine di alcuni palazzi ivi situati, il colle fu abitato anche durante la dominazione romana.

Nel IV secolo l'autore Claudiano descriveva la cittadella come “*tenditur in longum*”, estesa in lunghezza su tutto il promontorio prospiciente il golfo<sup>3</sup>. È probabile la presenza di un'acropoli, situata verosimilmente proprio sul colle di Castello o nella parte alta di Stampace.

Nel centro abitato erano presenti di-

versi edifici pubblici, luoghi adibiti al passeggio e terme<sup>4</sup>. Proprio all'epoca romana risale, con tutta probabilità, la consuetudine di chiamare *Castrum* l'insediamento sul colle (denominato successivamente, nel periodo medievale, *Castellum*)<sup>5</sup>.

Un brano di Procopio, storico e generale bizantino vissuto a cavallo fra V e VI secolo, accenna alla presenza di fortificazioni sul colle.

Bisogna però aspettare lo scambio epistolare avvenuto nel XIII secolo fra la Giudicessa Benedetta e Papa Onorio III per avere notizie maggiormente dettagliate sulla città. In una missiva la donna comunicava al Papa l'avvenuta cessione del colle ai Pisani, definendolo petroso e deserto. Tale descrizione però, secondo lo Scano, non sarebbe del tutto veritiera ma piuttosto dovuta alla volontà di attenuare, agli occhi di Papa Onorio, la gravità della cessione<sup>6</sup>.

L'impianto medievale conferito all'insediamento dai Pisani, nato da un progetto unitario, rimarrà pressoché inalterato nel corso dei secoli, costi-

1. F. ARTIZZU, Cagliari, in *La Sardegna. La geografia, la storia, l'arte e la letteratura*, Cagliari 1982, p. 234.

2. D. SCANO, *Forma Kalaris*, Cagliari 1989, p. 4.

3. Ivi, p. 5.

4. F. ARTIZZU., op. cit., p. 235.

5. D. SCANO., op. cit., p. 6.

6. Ibidem.

tuendo il nucleo primitivo di quella che sarà la fondazione della città.

L'abitato si articolava lungo l'asse principale NO-SE (dalla Torre dell'Aquila alla Torre dell'Elefante), che collegava visivamente Castello con la città di Santa Igia, antagonista capitale giudiciale, distrutta nel 1258 dagli stessi Pisani<sup>7</sup>.

Con la fondazione dei confinanti borghi di Stampace e Villanova, la cittadella delineava il suo impianto definitivo intorno al terzo quarto del Duecento (fig. 78).

La posizione delle tre porte d'accesso al castello, protette da altrettante imponenti torri, evidenziava la particolare attenzione simbolica che durante il Medioevo permeava la fondazione delle nuove città.

Secondo Marco Cadinu è infatti evidente l'intenzione di dare all'edificato urbano la forma dell'aquila ad ali spiegate, con la testa nell'isolato dove attualmente si trovano la Cattedrale e il Palazzo Arcivescovile, il petto nella Platea Communis, i due rostri sulla Torre dell'Elefante e sulla zona di Santa Croce e le ali segnate dall'andamento delle tre strade principali del quartiere (via La Marmora, via Dei Genovesi e via Canelles)<sup>8</sup> (fig. 79). Tale ipotesi giustificherebbe l'allineamento fra la torre dell'Aqui-

la (oggi di San Pancrazio) e la Torre dell'Elefante, il controllo planimetrico dell'impianto urbano e il tracciato della principale *Ruga Mercatorum* (oggi via Lamarmora), databile negli anni immediatamente precedenti al 1217, nonché delle sue parallele.

Non ci è dato sapere con certezza se il particolare andamento curvilineo caratteristico di tale via fosse dovuto all'orografia del sito o se rispecchiava un preciso volere progettuale rispondente ai canoni estetici del periodo: secondo l'Alberti la sinuosità dei vicoli era infatti decorativa e consentiva vedute urbane sempre variabili. Era inoltre funzionale al benessere dei residenti, placando i venti e favorendo una migliore insolazione dell'edificio<sup>9</sup>.

Gli isolati, delimitati dalle strade curve e dalle traverse, risultavano allungati e suddivisi in lotti tramite la tipica parcellizzazione a schiera. La parte più settentrionale dell'insediamento presentava alcune traverse tracciate con precisione (probabilmente a partire dalla Torre dell'Aquila), che seguivano, anch'esse, l'andamento di un arco di cerchio.

Perfettamente conforme ai modelli diffusi nel primo Duecento era non solo l'impianto viario, ma anche quello urbanistico più generale. Presumi-

7. M. CADINU, *Cagliari forma e progetto della città storica*, Cagliari 2009, p. 42.

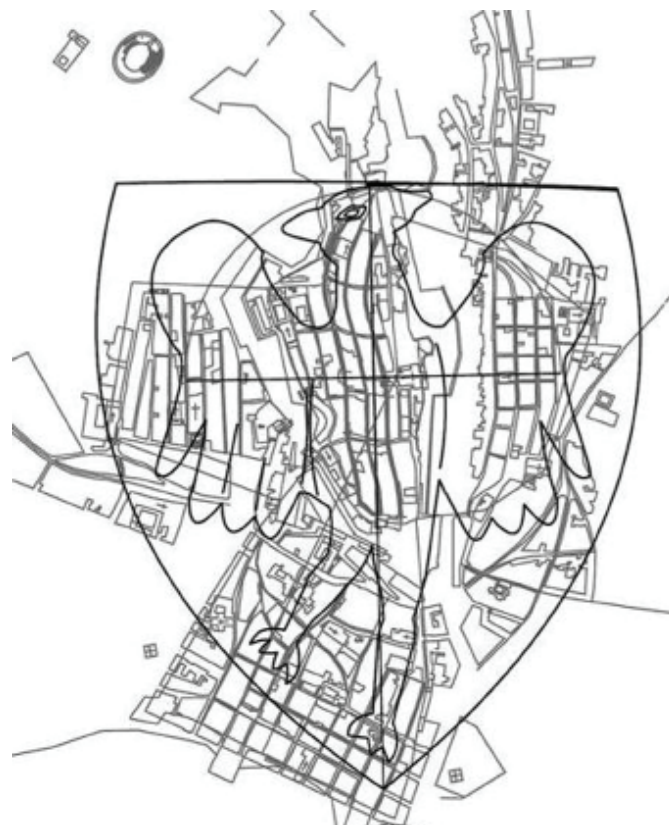
8. Ibidem.

9. M. CADINU, op. cit., p. 51.

Fig. 78: Topografia di Cagliari nei secoli XIV-XV.



Fig. 79 : Conformazione "ad aquila" della città di Cagliari.



10. Ivi, p. 49.

11. Ivi, p. 50.

12. G. TODDE, *Strutture abitative a Cagliari dal Quattrocento al Seicento*, in *La famiglia e la vita quotidiana in Europa dal '400 al '600*, Roma 1986, p. 448.

13. F. ARTIZZU, *Gli ordinamenti pisani per il porto di Cagliari*, Roma 1979, p. 27.

14. Artizzu, nel libro "Documenti inediti relativi ai rapporti economici tra la Sardegna e Pisa nel Medioevo", cita diversi atti notarili redatti "sub umbratu" o "sub umbraco", o ancora "sub porticu".

15. D. SCANO, op. cit., p. 36.

16. Nome dell'antico insediamento presso l'attuale colle di Bonaria.

17. Secondo Cadinu, in questo periodo, la popolazione della nuova città risultava superiore alle 5000 unità (M. CADINU, *Urbanistica medievale in Sardegna*, Roma 2001, p. 37).

18. M. CADINU, *Cagliari forma e progetto della città storica*, Cagliari 2009, p. 92.

19. M. VALDES, *Disposizioni legislative sull'edilizia a Cagliari nel '600 e nel '700*, Napoli 1984, p. 449.

20. Ivi, p. 450.

21. G. TODDE, op. cit., p. 455.

22. D. SCANO, op. cit., p. 36.

23. Ibidem.

24. M. CADINU, op. cit. (2001), p. 67.

bilmente la fondazione della città seguiva un preciso principio ordinatore: scelta la posizione dei due ingressi, in seguito affiancati dalle corrispettive torri, si è proceduto a tracciare l'asse centrale della città che costeggiava la *Platea Communis*, sede delle più importanti attività politiche, religiose, sociali e commerciali.

Il provvisorio recinto ligneo, posto a delimitare la città, sarà in seguito sostituito dalla cinta muraria, ultimata dopo la realizzazione delle torri e delle porte d'accesso. Le successive opere civili e monumentali definivano l'attuale struttura morfologica del quartiere, la cui lottizzazione doveva già essere ultimata nel 1217, come suggerito dall'atto di cessione di un *casalinum*<sup>10</sup> (lotto da assegnare a chi volesse costruire all'interno di un sistema già pianificato).

Essendo un centro di nuova fondazione, i suoi riferimenti culturali sono da ricercarsi nelle altre contemporanee città toscane e centro europee, accomunate dalla scelta dell'edificazione su promontorio e dalla pianificazione dei lotti ordinata e caratterizzata da una precisa tipologia edilizia con affaccio su strada<sup>11</sup>.

La forma del lotto era, appunto, medievale con forma allungata in senso trasversale rispetto all'isolato, occu-

pato da una casa unifamiliare a filo strada, con piccolo cortile interno da adibire ad orto<sup>12</sup>.

La *Ruga Mercantorum*, sede delle attività commerciali della città, era caratterizzata dalla presenza di diverse abitazioni dotate di magazzini per la conservazione e lo stoccaggio delle merci.

Da uno studio condotto da Artizzu sul *Breve Portus Kallaretani*, emerge l'abitudine dei Pisani di proteggere dai raggi solari le facciate delle proprie abitazioni e botteghe attraverso elementi ombreggianti anche mobili ("tettarelli"<sup>13</sup>) e tramite portici<sup>14</sup>.

Anche lo Scano descrive le abitazioni di Castello come dotate di ballatoi lignei<sup>15</sup>. Non è tuttavia chiaro se la presenza di tali elementi schermanti fosse concentrata nel cuore commerciale della città, essendo quindi funzionale ad un uso esclusivamente artigianale e mercantile, o se fosse una pratica diffusa in tutto il centro.

A partire dal 1326, a causa della conquista della città da parte degli Aragonesi, migliaia di iberici migrarono verso la Sardegna, portando con sé gli statuti e le norme urbanistiche di Barcellona. Gli stessi Catalani insediatisi a Bagnaria<sup>16</sup> si spostarono nella nuova città, lasciando Bonaria completamente abbandonata nel 1331,

dove rimasero solamente la chiesa e il convento<sup>17</sup>.

Gli Aragonesi conquistarono una Cagliari pisana di forma duecentesca e la modificarono soprattutto per quanto riguarda i quartieri di Lapola, Villanova e, in misura minore, Stampace, pesantemente danneggiato durante l'assedio per la conquista.

Castello non venne interessato dal piano di riadeguamento urbanistico aragonese, ma fu piuttosto considerato il punto cardine su cui "modellare" il resto della città nuova (il campanile della Cattedrale costituiva il punto focale su cui allineare la nuova importante via rettilinea che conduceva al porto)<sup>18</sup>.

Nel 1348 la peste colpì violentemente la città, vi furono molte morti e l'economia cittadina subì una battuta d'arresto. A pagarne le conseguenze fu anche l'attività edilizia. Nonostante gli incentivi economici concessi da Pietro IV a chi fosse andato a vivere in Sardegna, molte abitazioni furono abbandonate<sup>19</sup>.

Pochi decenni dopo, nel 1386, un incendio scoppiato nel cuore di Castello distrusse 130 abitazioni, probabilmente a causa dei loro ballatoi e delle strutture lignee<sup>20</sup>.

Le conseguenze furono disastrose e i proprietari obbligati a riedificare gli

edifici distrutti<sup>21</sup>.

I ballatoi in legno delle abitazioni private vennero quindi vietati e apparvero nuove decorazioni gotico-aragonesi negli stipiti di porte e finestre<sup>22</sup>.

Alla fine del XIV secolo Cagliari conservava, tuttavia, l'aspetto urbanistico conferitole dai Pisani quasi due secoli prima. Alcune lievi modificazioni furono apportate al costruito pubblico: le torri vennero parzialmente tamponate, alla Cattedrale furono affiancate nuove cappelle in stile goticoaragonese, la casa comunale e il palazzo Reale subirono ampliamenti e miglioramenti nelle forme<sup>23</sup>.

Un secolo più tardi iniziò però la completa demolizione della giuderia del quartiere, situata nella zona Nord-Ovest dell'abitato, ad opera dei Gesuiti che vi si insediarono, fondando la chiesa di Santa Croce. La ricostruzione interessò quattro isolati, demoliti e riprogettati mantenendo le strutture murarie delle case a schiera originarie ed enfatizzando, con l'evidente intento di sacralizzare l'area fino ad allora non cristiana, lo schema della "croce di strade" grazie al «rettilineamento del fronte orientale della curvilinea *ruga comunalis*»<sup>24</sup> (odierna Via dei Genovesi).

A partire dal Cinquecento, la classe

borghese iniziò a sentire la necessità di affermare il proprio prestigio sociale. Prese quindi il via la costruzione di diversi palazzi, architettonicamente modesti ma imponenti dal punto di vista delle dimensioni, solitamente ottenuti dall'accorpamento di più lotti.

Il contemporaneo aumento della popolazione rese necessaria la ristrutturazione delle vecchie abitazioni e l'edificazione negli spazi rimasti liberi. Furono restaurate le facciate e aperte nuove finestre e pozzi di luce<sup>25</sup>.

I giardini di Piazza San Pancrazio divennero aree fabbricabili.

Tuttavia, un secolo più tardi, una lunga epidemia di peste iniziata nel 1652 e terminata nel 1657, seguita dalla carestia del 1681, portarono una grande crisi demografica in tutta la città e in particolar modo nel quartiere di Castello<sup>26</sup>.

Nel XVII secolo, quest'ultimo crebbe infatti in maniera molto più lenta rispetto ai più giovani quartieri di Stampace e Villanova.

Ciò era dovuto, secondo Manconi, alla struttura sociale e alla funzione politica del quartiere, nonché alla rigidità di quello spazio abitativo che lo caratterizzava dall'epoca della sua fondazione<sup>27</sup>.

Nel XVIII secolo iniziò, in quella che era Piazza San Pacrazio, la costruzione del palazzo dell'Università e del seminario tridentino ad opera dell'ingegnere militare Saverio Belgrano di Famolasco<sup>28</sup>. La zona del cosiddetto Balice venne quindi occupata, nell'ultima metà del Settecento, da un imponente edificio a tre livelli.

Successivamente, nel 1831 fu dato all'architetto Cominotti l'incarico di realizzare il nuovo teatro civico nella parte più meridionale del Castello<sup>29</sup>.

Il Progetto Regolatore di Allargamento di Via dei Genovesi, redatto da Gaetano Cima e approvato nel 1857 (fig. 80), pur non essendo stato completamente attuato, portò alla rettificazione di alcuni tratti di una delle tre principali strade del quartiere, ottenuta grazie alla riprogettazione (ad opera dello stesso Cima) di alcuni palazzi affacciatisi sulla via. Ciò è visibile nell'andamento curvilineo seguito dalla facciata di palazzo De Candia o nello spazio ricavato davanti al palazzo Sanna Cao di San Marco<sup>30</sup>.

L'opera del Cima non si limitò però alla sola Via dei Genovesi, interessando la ristrutturazione di diversi palazzi dislocati nell'intero quartiere.

Il Novecento fu un secolo di grandi cambiamenti per Castello, che si aprì

25. G. TODDE, op. cit., p. 454.

26. F. MANCONI, *La società sarda in età spagnola*, Cagliari 2003, p. 38.

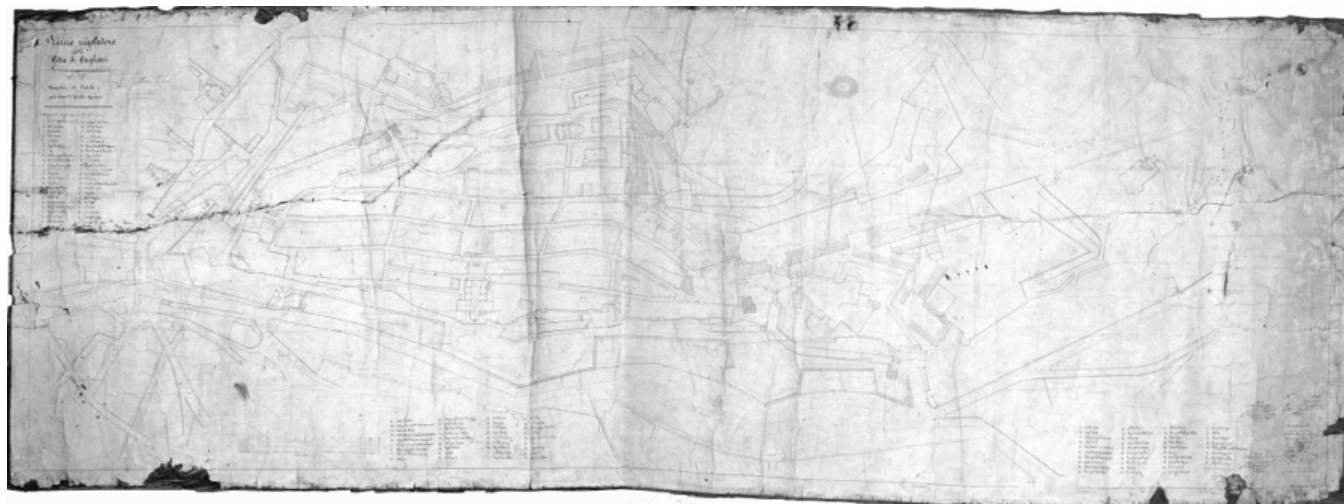
27. Ivi, p. 49.

28. D. SCANO, op. cit., p. 52.

29. AA. VV., *Cagliari quartieri storici Castello*, Cagliari 1985, p. 103.

30. S. MARTELLI, F. MASALA, A. ROMAGNINO, A. SANNA, *Cagliari alle soglie del Novecento*, Cagliari 1996, p. 79.

Fig. 80 : Piano regolatore per il quartiere di Castello, 1980.



con la costruzione, nel 1904, dell'imponente Museo Archeologico, su progetto di Dionigi Scano<sup>31</sup>.

Nel 1907, in luogo della chiesa e del convento di Santa Caterina, nella parte meridionale del quartiere venne costruita una scuola elementare<sup>32</sup>.

Piazza Indipendenza fu ampliata grazie alla demolizione di una serie di abitazioni comprese fra Via Canelles e Via Martini, avvenuta nel 1937 sulla base di diversi progetti di "rettilineamento" ottocenteschi<sup>33</sup>.

Nel 1912 fu demolito il palazzo dell'Intendenza di finanza, il quale versava allo stato di rudere ormai da diversi decenni. Piazza Palazzo venne quindi ingrandita, dando maggior respiro alla facciata del Palazzo Viceregio, fino ad allora soffocato dalle vicine costruzioni, e lastricata con pietra trachitica rosa. Il palazzo, diventato sede della Prefettura e in seguito sede del Consiglio provinciale, inglobò l'attiguo palazzo di San Placido (per essere poi demolito nel 1972 a causa dei danni subiti durante i bombardamenti)<sup>34</sup>.

Il nuovo assetto della piazza rimase inalterato fino al 1943, anno durante il quale l'intero quartiere di Castello cambiò in maniera incisiva il proprio aspetto a causa della seconda guerra mondiale.

L'assedio colpì il Bastione, il Teatro Civico, l'Arsenale. Ma se i danni causati a monumenti ed edifici pubblici vennero in seguito risarciti, sono ancora ben visibili gli sventramenti causati all'interno del tessuto abitativo. Attualmente il quartiere si presenta composto da isolati ben definiti, di lunghezza media pari a 65-70 metri, con rare eccezioni che raggiungono i 100 metri, in casi di particolare ubicazione o nei lotti derivanti dall'inglobazione di due distinti isolati.

Le unità edilizie sono generalmente costituite da lotti contrapposti e prospicienti, che si affacciano su due strade parallele poste a diversa quota per via dell'orografia del colle. Tali abitazioni erano originariamente limitate a due piani d'altezza di cui quello a valle risultava essere controterra, in modo da recuperare il dislivello esistente fra le due strade; attualmente lo sviluppo si estende invece fino a cinque piani.

La dimensione corrente dei fronti strada è di circa 5-6 metri con frequenti moduli di dimensione minore pari a 3 metri.

Lo sviluppo in altezza degli edifici, causato dal forte incremento demografico, ha operato una mutazione del tipo di base originario, monofamiliare, trasformandolo in plurifami-

31. AA. VV., op. cit., p. 104.

32. Ivi, p. 106.

33. Ivi, p. 58.

34. Ivi, p. 57.



liare, con un solo alloggio per piano. Il tipo edilizio ricorrente nell'edilizia di base, tralasciando quindi le emergenze architettoniche nate dalla fusione di più lotti, propone un affaccio su strada articolato con tre finestre o porte finestre, a cui corrisponde all'interno una doppia partitura strutturale: un modulo delle dimensioni di 5-6 metri con due aperture, e un modulo piccolo, di circa 3 metri, con una sola finestra. Questo è riscontrabile con maggior frequenza negli isolati marginali, meno soggetti a recenti modifiche e che possono quindi essere considerati più vicini alla configurazione originaria.

Queste osservazioni risultano evidenti anche grazie all'analisi condotta attraverso la sovrapposizione delle carte storiche del quartiere, a partire dai disegni forniti dallo Scano nel *Forma Kalaris* per poi procedere con le mappe realizzate in occasione del piano regolatore della città, fino ad arrivare alla cartografia più recente che ha, appunto, messo in luce quella che è stata la lenta evoluzione morfologica del quartiere.

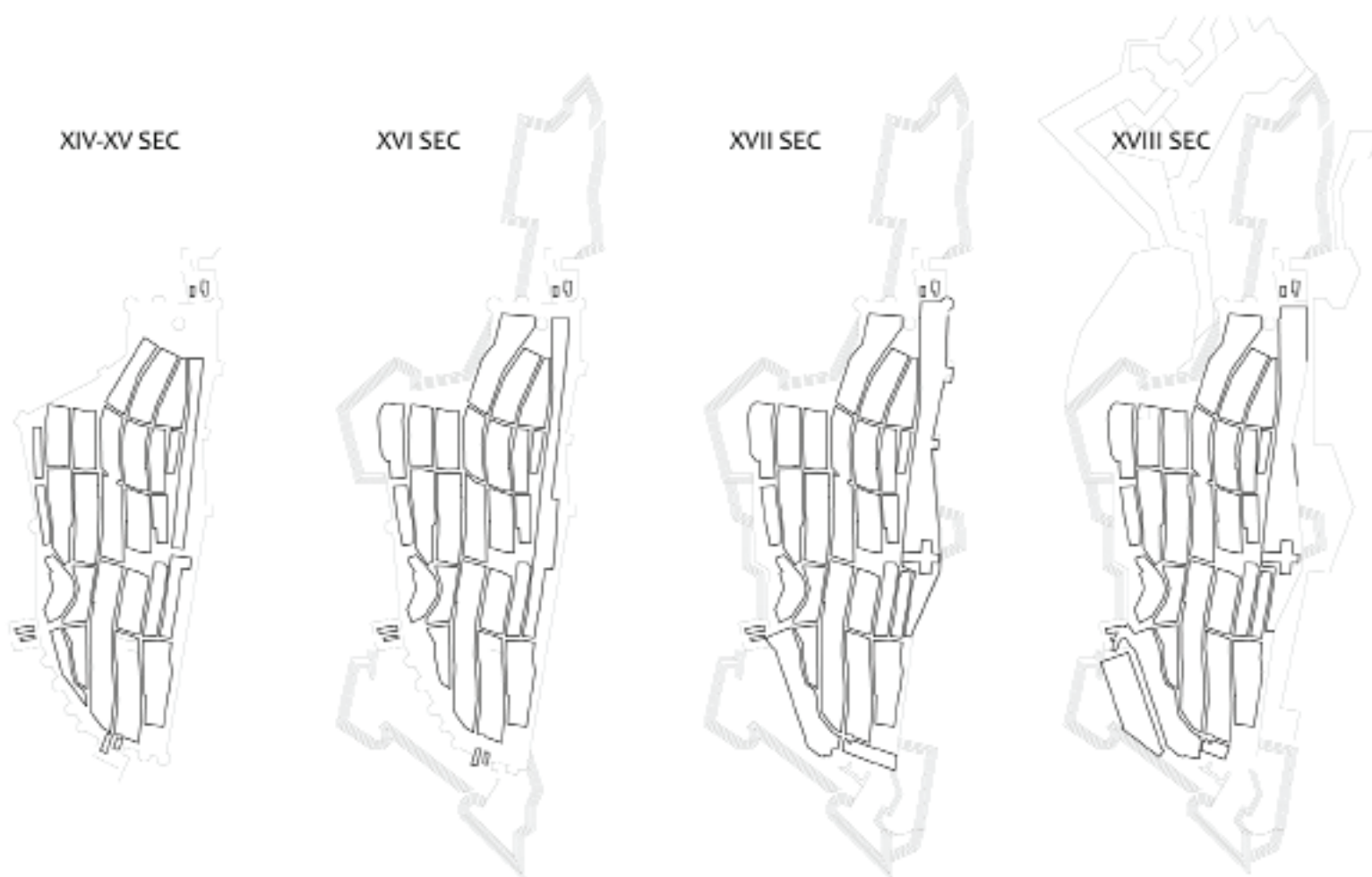
Un ulteriore studio è stato condotto in maniera puntuale sui singoli edifici del quartiere in modo da ottenere una mappatura del costruito che lo descrivesse e identificasse grafica-

mente in base a diverse caratteristiche, quali:

- le emergenze monumentali e gli edifici sottoposti a vincolo;
- la destinazione d'uso;
- la proprietà;
- il numero di piani;
- lo stato di conservazione degli intonaci;
- la tipologia di infisso e il suo stato di conservazione.

Tale analisi (figg. 81-84) ha consentito di caratterizzare, per linee generali, il quartiere dal punto di vista della densità del costruito, per quanto concerne la destinazione d'uso e la proprietà e per quanto riguarda il grado di conservazione degli elementi esterni più facilmente valutabili.

Fig. 81: Evoluzione morfologica del tessuto urbano del quartiere di Castello, Cagliari.



1850



1937



1945



2010



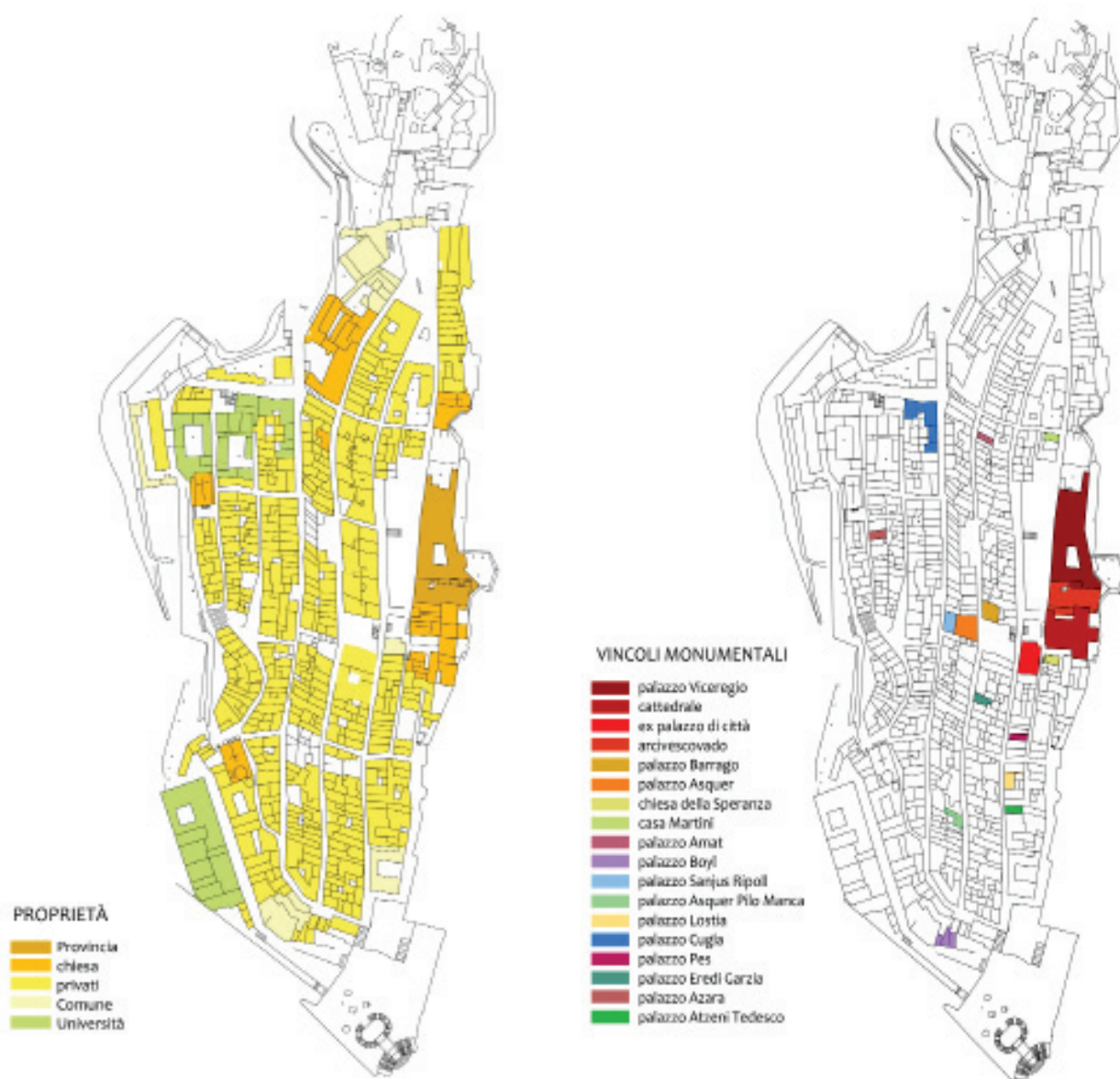
Fig. 82 : Variazione nel rapporto pieni/vuoti all'interno del tessuto urbano del quartiere di Castello, Cagliari.



Fig. 83 : Tavole di analisi del tessuto urbano del quartiere di Castello, Cagliari.



Fig. 84 : Tavole di analisi del tessuto urbano del quartiere di Castello, Cagliari.





## 2.2 I materiali utilizzati

Il nucleo storico della città di Cagliari è sorto su un banco lapideo miocenico costituente il colle di Castello.

Fu dunque naturale, fin dal periodo di fondazione della cittadella, realizzare delle cave lungo le pendici del promontorio e negli immediati dintorni (fig. 85), da cui attingere il materiale necessario per l'edificazione di abitazioni e fortificazioni. Fra i lapidei rinvenibili nel sottosuolo cittadino troviamo le cosiddette "argille del Fangario", di colore grigio-azzurro, con striature più o meno sabbiose e abbondanti resti fossili all'interno, generalmente utilizzate come materia prima nella realizzazione di laterizi, e le "arenarie di Pirri", caratterizzate da alternanze di sabbie più o meno cementate fra loro, di varia granulometria.

Tuttavia i materiali più utilizzati per la costruzione del quartiere sono senza dubbio la "pietra cantone", il "tramezzario" e la "pietra forte".

La prima viene così chiamata localmente per via del suo largo impiego come pietra angolare per la costru-

zione degli edifici.

Risulta costituita da calcare argilloso più o meno arenaceo, mediamente cementato, piuttosto tenero e di colore giallo.

La componente principale è la calcite microcristallina, il cui contenuto si attesta attorno al 75-80%, ma non manca la presenza di argilla e elementi clastici.

La "pietra cantone", per via della componente argillosa, risulta essere molto tenera, igroscopica e, quindi, facilmente degradabile all'aria.

Il "tramezzario" prende il nome dal largo impiego che ne veniva fatto storicamente nelle tramezzature.

È un calcare argilloso, di colore bianco avorio, con presenza di clasti minuti e una percentuale di calcite che va dall'85% all'88%.

La "pietra forte" risulta essere il materiale più pregiato disponibile nelle cave cittadine, in virtù della sua caratteristica resistenza e tenacità. Veniva infatti utilizzata per le costruzioni monumentali e religiose, quali la Basilica di Bonaria, i bastioni, le

35. P. MELIS, *L'arte di costruire a Cagliari*, CUEC, Cagliari 1999, p. 20.



torri), ma anche per la realizzazione dei basamenti delle abitazioni; le sue caratteristiche meccaniche e la sua bassa porosità la rendevano particolarmente idonea a “sostenere” l’edificio e a isolarlo dall’umidità di risalita dal terreno.

Il restante paramento murario veniva realizzato generalmente in conci di “pietra cantone”, più raramente in “tramezzario”.

La calce ottenuta da questi calcari, seppur caratterizzata da buone prestazioni, risultava essere non grassa, talvolta granulosa per la qualità del lapideo utilizzato o per la cattiva calcinazione cui veniva sottoposta<sup>35</sup>.

Il colore era generalmente bianco per quanto riguarda il materiale cavato a Sant’Ignazio, tendente al grigio cenere o al giallo per quello originario delle cave di Bonaria e Tuvixeddu.

Anche gli inerti erano facilmente reperibili *in loco*: venivano adoperate sia le sabbie di cava, giudicate preferibili quanto a prestazioni, che quelle di mare.

Le sabbie di Is Mirrionis, puramente silicee, facevano presa rapidamente ed erano particolarmente adatte per la realizzazione delle volte.

Al contrario la sabbia della Plaja, proveniente dal tratto di spiaggia che si estendeva fino alla zona attualmente

Fig. 85 : Cava romana situata nei pressi dell’orto botanico di Cagliari.



chiamata La Maddalena, aveva prevalente composizione siliceo-calcareo, con abbondanza di frammenti di conchiglie che ne rendevano sconsigliato l'impiego per volte e intonaci; la malta realizzata con questa sabbia faceva presa lentamente e, per via dell'alto contenuto di salsedine, non era in grado di reggere un carico continuato.

La codiddetta Terra di rocca, derivante dalla disgregazione dei banchi di "tramezzario", una volta passata al crivello veniva unita alla calce e utilizzata per gli scialbi.

Così come i materiali lapidei, anche il legno ebbe largo uso nell'edificazione della città antica, tanto per la realizzazione delle strutture quanto per le opere di finitura e decorazione.

Il legno più pregiato risultava essere il ginepro, idoneo alla costruzione per via delle sue caratteristiche di durezza, resistenza meccanica e durata nel tempo, dovuta alla densità e compattezza delle sue fibre.

Altri legni adoperati, sempre derivanti dalla famiglia delle conifere e quindi resinosi, erano l'abete, solido ma di facile lavorazione e essiccazione, pur se soggetto all'attacco dei tarli, generalmente impiegato per i solai e le imposte e il pino silvestre, di tessitura meno compatta ma molto usa-

to per la produzione di travi lunghe, dritte e leggere.

Al pari delle essenze resinose si faceva ricorso ai legni derivanti dalle piante latifoglie di cui la varietà più utilizzata era certamente il castagno, impiegata per la realizzazione di pali, travi di copertura e assi delle imposte.

Fig. 86: Muratura. Castello, Cagliari.



### 2.3 Le tipologie edilizie

La tipologia maggiormente ricorrente è quella della casa a schiera (fig. 87), abbastanza diffusa nella città Cagliari, soprattutto nei quartieri storici di Marina, Villanova e Stampace, ma presente anche in forma residenziale nel quartiere di Castello.

L'edificio, solitamente monofamiliare su due livelli, si sviluppa con fronte a filo strada, su un lotto gotico di forma rettangolare stretto e allungato in direzione ortogonale alla via d'affaccio, raramente con uno spazio mantenuto libero, originariamente adibito ad orto, sul lato opposto.

La suddivisione dei lotti secondo l'originario schema medievale risulta determinante per la forma e la tessitura degli isolati, in modo particolare per quelli che si svilupparono tra due vie parallele, su quote differenti, che rendono possibile la doppia esposizione su due differenti fronti strada. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, l'originario lotto è stato suddiviso in due parti, in senso trasversale, dando origine a due edifici, adiacenti ma distinti, ognuno con un solo prospet-

to su strada.

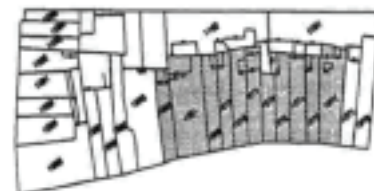
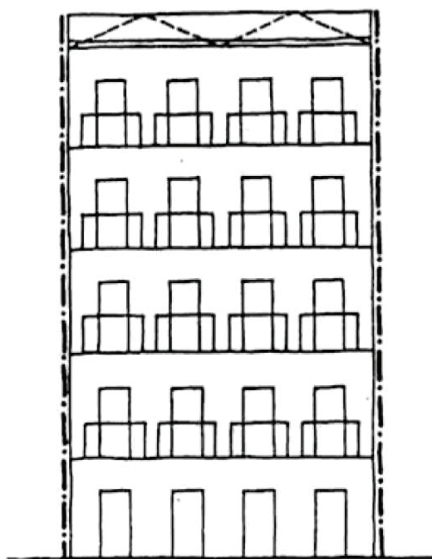
La casa a schiera, nella sua forma base, è costituita da due setti longitudinali portanti in muratura calcarea, raramente da muri di spina trasversali o da archi, e da un fronte molto stretto su strada. Una scala su un'unica rampa, molto ripida ed appoggiata ai muri maestri, collega il piano terra, talvolta nato per gli usi più vari (cantina, cisterna, deposito provviste, ricovero per animali) e successivamente utilizzato per lo svolgimento di diverse attività lavorative (botteghe o laboratori artigiani), col piano superiore destinato ad abitazione. Le coperture sono costituite da un tetto a capanna (con doppia falda ortogonale alla strada e realizzato in legno, canne e in coppi) generalmente nascosto da un elemento frontale di chiusura in fregio all'edificio, realizzato in muratura.

Internamente la pianta rettangolare risulta vincolata alla forma del lotto, articolandosi lungo un andito che mette in relazione i due vani prospettanti sulle due strade.

Sovente, però, l'andito non risulta presente e il disimpegno dei vani si realizza con soluzioni che prevedono camere interne passanti.

I solai sono generalmente realizzati con travi di legno lasciate a vista nella parte sottostante; ugualmente in legno sono le capriate e l'arcarecciatura di sostegno del tetto, sulla quale si aprono spesso lucernari o prese d'aria, necessari per l'abitabilità degli ambienti "ciechi". Esternamente i prospetti intonacati sono caratterizzati da una architettura semplice, con bucaure regolari, finestrate molto fitte, soprattutto a balcone (con piano di calpestio in marmo o ardesia e parapetto in ferro battuto o ghisa). Spesso si riscontra la presenza di fasce o cornici marcapiano di ispirazione piemontese, o cornicioni sormontati da elementi frontali di chiusura che nascondono, talvolta solo parzialmente, i timpani dei tetti. Le zoccolature degli edifici sono spesso messe in risalto dall'utilizzo della pietra o dalla finitura dell'intonaco, così come gli stipiti. Talvolta, nei secoli scorsi, due o più lotti contigui venivano accorpati per dare vita ad una nuova tipologia abitativa che, attraverso una serie di modifiche interne, era destinata alle classi più abbienti: il palazzotto (fig. 88).

Fig. 87: La casa a shiera.



Tale tipologia edilizia, derivante da un cambiamento intervenuto nelle esigenze abitative degli abitanti del quartiere, risulta sempre dall'accorpamento di due edifici minori e si caratterizza per la presenza di un setto portante centrale e una copertura a doppia capanna.

In taluni casi si assiste alla quasi totale scomparsa della strutture originaria delle due schiere accorpate, delle quali permane solo il setto centrale, con funzione portante, che spesso separa due abitazioni site allo stesso piano. In questi casi neppure il prospetto mostra tracce della fusione tra le schiere originarie.

La scala interna assume forme maggiormente evolute e articolate (più ampia, su tre o quattro rampe), tipiche di organismi edilizi più importanti, di tipo condominiale.

Le dimensioni del fronte strada variano dai 9,00 agli 11,00 metri; a volte si raggiungono i cinque piani d'altezza, eventualmente coronati da un attico. Il palazzotto rappresenta il modello architettonico tuttora più frequente in Castello, anche in virtù dell'originaria destinazione del quartiere, scelto per accogliere le funzioni civili, militari e religiose della città e, quindi, prevalentemente abitato da famiglie nobili feudali e dai funzionari del regno.

Nella sua forma più articolata, il palazzotto si sviluppa su un impianto costituito da tre o quattro lotti gotici affiancati, presentando, di solito, un doppio affaccio su strada.

Di questi lotti, leggibili nelle planimetrie catastali, spesso conserva la matrice muraria dei setti portanti longitudinali e delle murature di spina trasversali, riscontrabili anche nella configurazione delle coperture.

Il palazzo gentilizio rappresenta l'esempio più raffinato di tale tipologia edilizia, caratterizzato da grandi facciate simmetriche, di gusto spiccatamente neoclassico.

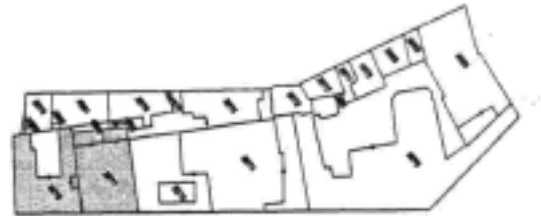
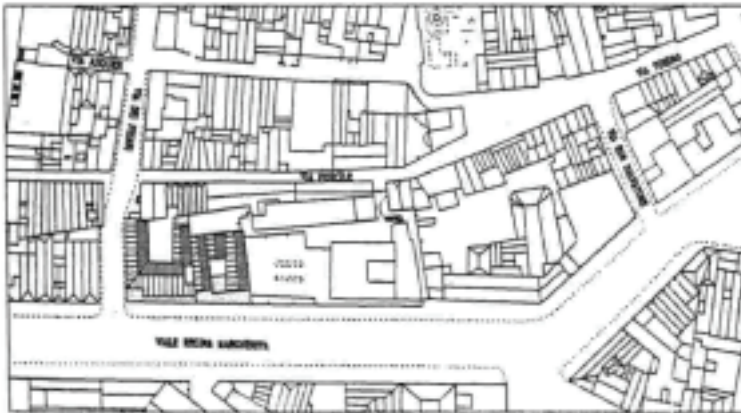
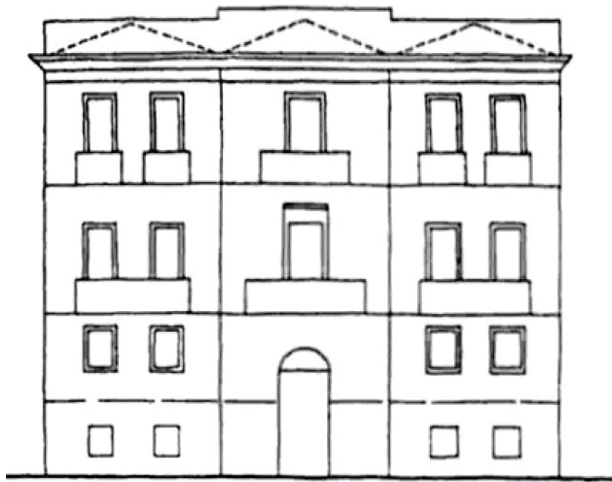
I molti esempi, che ancora permangono nel quartiere, si distinguono per il notevole pregio architettonico e per il loro interesse storico-culturale.

Solitamente articolati su tre o quattro piani, tali edifici poggiano su un basamento che comprende il piano terra ed un piano ammezzato.

Generalmente rivestito da fasce orizzontali ad intonaco liscio, o con finte bugne, e sormontato da una cornice aggettante, questo livello accoglie l'androne di ingresso ed altri locali adibiti, un tempo, a magazzini, stalle e rimesse per le carrozze.

Proprio l'androne costituisce uno degli elementi più caratteristici di que-

Fig. 88: Il palazzotto.



sti palazzi.

Ad esso si accede, al livello del piano terra, tramite un grande portale di ingresso, talvolta ad arco con cornici bugnate, talvolta invece inquadrato da colonne sormontate da un architrave, con timpano di coronamento arricchito da fregi, decorazioni a festoni o stemmi nobiliari.

Lo spazio adibito ad androne, generalmente voltato a botte, a padiglione oppure a vela, a volte affrescato, si presenta quindi con forme più particolari ed elaborate rispetto a quanto succede nel resto dell'edilizia tipica di Castello.

L'intero il piano terra risulta generalmente voltato a botte o a crociera, mentre i solai dei piani superiori sono realizzati con travi in legno, mascherate all'intradosso da controsoffitti di canne e intonaco.

Dal vasto atrio di ingresso si accede ai piani superiori tramite un'ampia scala disposta centralmente rispetto alla pianta, con rampe che poggiano su ulteriori volte a botte o a crociera e con ringhiere in ferro battuto.

In numerosi casi tale scalinata prosegue, ai livelli successivi, seguendo lo schema a giorno tipico della tradizione piemontese, cioè con quattro rampe sorrette da pilastri.

Altre volte essa è disposta con tre

rampe su volte a botte fino al primo piano, oppure con uno scalone centrale che, suddividendosi in due rampe su volte, dopo il primo pianerottolo raggiunge il primo piano, per proseguire poi con una scala più semplice a rampe parallele.

Nei prospetti è ancora particolarmente evidente l'ispirazione alla tradizione del gusto neoclassico; in essi, spesso simmetrici, le partiture sono scandite da una successione ritmica di pieni e vuoti: i pieni delle murature esterne, segnate da cornici marcapiano, che si concludono con un cornicione modanato e di notevole aggetto, e i vuoti delle finestre, riquadrate e sormontate da timpani, cornici o fregi.

Le finestre sono spesso balconate ed i balconi, aggettanti e su mensole, hanno i parapetti in ferro battuto o ghisa finemente lavorati.

Le coperture, schermate alla vista tramite un parapetto continuo, sono impostate su capriate in legno di tipo palladiano.

Attualmente, molti dei palazzi gentili del centro storico versano in condizioni di forte degrado a causa della cattiva gestione e manutenzione degli immobili, spesso abbandonati dai proprietari e successivamente frazionati in diverse unità abitative.



Un'ulteriore tipologia abitativa presente all'interno del tessuto urbano della città storica è sicuramente rappresentata dalle ricostruzioni post-belliche (fig. 89) degli anni '60 e '70, rese necessarie dopo i bombardamenti della Seconda Guerra mondiale.

A questa categoria appartengono edifici plurialloggio, inseriti nei vuoti urbani creati dal conflitto, ma anche ricostruzioni parziali, su lotti danneggiati.

La struttura delle nuove costruzioni rappresenta un edificio multipiano, con un corpo scala che distribuisce due o tre appartamenti per piano.

Generalmente la fabbrica occupa una posizione centrale all'interno del lotto, spesso indifferente ad allineamenti ed orientamenti dell'edificato circostante; l'area esterna è organizzata per consentirne un uso promiscuo: parcheggio riservato ai soli condomini, aree verdi collettive o con pertinenze degli appartamenti situati al piano terra, tra cui si snodano i camminamenti privati di accesso agli alloggi dotati di ingresso indipendente.

Fig. 89: La ricostruzione post-bellica.



## 2.4 Le tecniche costruttive

«Interrogare la città attraverso le sue forme materiali costituisce un modo per interpretare la sua natura cercando in essa ciò che vi è di permanente e riconoscibile nel diverso e nel mutevole»<sup>36</sup>.

La ricerca documentaria, quindi, a supporto di quanto si è conservato all'interno del tessuto storico del quartiere e risulta tuttora visibile, ha permesso di ricostruire i caratteri principali dell'architettura cagliarita a partire dal XVIII secolo, fondamentali per la comprensione di quanto può essere fatto per preservarli e adeguarli alle mutate esigenze abitative.

### Le fondazioni.

La maggior parte degli edifici di Castello poggia sul cosiddetto “Rocco”, lo strato di roccia calcarea che caratterizza buona parte della città. Probabilmente per questo motivo le fondazioni risultano spesso del tutto mancanti o carenti. La statica degli

edifici è stata quindi storicamente affidata quasi completamente ai muri portanti, le “muraglie maestre laterali”, che, non essendo ammortate con i prospetti, diventavano spesso soggette a distacco dagli stessi. Per evitare ciò si faceva largo uso di chiavi in ferro e sottomurazioni, ovvero contrafforti in grado di sostenere i muri, dalla base fino all'altezza delle finestre. Per via della mediocre professionalità delle maestranze, anche le aperture potevano rappresentare un problema: talvolta, nel tentativo di far entrare quanta più luce all'interno delle buie abitazioni, venivano ravvicinate tanto da compromettere la funzione di sostegno del paramento murario che le separava. I balconi risultavano inoltre spesso troppo pesanti per i deboli sostegni di ferro che li reggevano.

### Le murature.

Le pareti laterali destinate alle sezioni portanti presentavano un impor-

36. R. BOBBIO, S. MUSSO, *Siena conservazione e trasformazione della città murata*, Legoprint, Genova 1990, p. 63.

37. Archivio Storico Comunale, sezione antica, *Atti pubblici*, vol. 240, carta 13.

38. P. MELIS, op. cit., p. 10.

39. M. CADINU, *Wood structures in traditional random rubble wall construction in Cagliari*, in *Construction History, Proceedings of the First International Congress, Madrid, 20th -24th January 2003*, edited by Santiago Huerta, Instituto Juan de Herrera, COAM, Vol. I, pp. 453-460. ISBN 84-9728-071-7.

40. Dallo spagnolo *tabique*: «muro divisorio intelaiato con travicelli», da M. L. WAGNER, *Dizionario etimologico sardo*, Heidelberg 1960.

41. Dal piemontese *stibi*: tramezzo, da C. ZALLI, *Dizionario piemontese*.

42. Archivio Storico Comunale, sezione antica, *Atti pubblici*, vol. 245, carta 12.

tante spessore.

Il materiale adoperato per realizzarle aveva varia provenienza: si trattava per lo più di massi, irregolari e disuguali, e pietrame incerto.

Tali massi venivano allettati con una notevole quantità di calce e ben connessi con le pietre limitrofe tramite scaglie dello stesso materiale, in modo tale da eliminare qualsiasi vuoto<sup>37</sup>.

Il paramento esterno veniva realizzato con maggiore cura, con blocchi squadri di “pietra cantone” e “tramezzario” e rinforzi angolari di “pietra forte” (fig. 90). La buona lavorazione delle pietre era fondamentale per consentire un contatto ottimale fra le facce di blocchi attigui che, disposti a filari sovrapposti, presentavano commissure mai corrispondenti. La documentazione archivistica assicura l’uso di strumenti quali il filo a piombo, la livella e lo squadro<sup>38</sup>. Nei quartieri storici della città risulta frequente l’impiego del legno nei muri a pietrame misto, non solo con funzione di architrave per le aperture ma anche come catena o irrigidimento strutturale privo di capochiave. Nelle murature interne, specialmente se portanti, veniva realizzato un graticcio in legno, spesso controventato e riempito con mattoni, di chiara

origine medievale<sup>39</sup>.

La stessa tecnica veniva impiegata per i tramezzi, generalmente non più spessi di 6 cm. Questi venivano distinti in “tabicchi”<sup>40</sup> e “stibbi”<sup>41</sup>: i primi erano realizzati con la stessa tecnica a graticcio utilizzata per i muri portanti, con struttura lignea a maglie regolari tamponata con mattoni pieni di dimensioni 4x10x26 cm, gli stibbi avevano invece un telaio costituito da travicelli e canne legate con giunchi e fissate con cerchi e brocchettoni ai travicelli.

Tali manufatti erano poi rifiniti con l’intonaco.

Un trattamento particolare era infine usato per la realizzazione delle aperture necessarie all’alloggiamento di porte e finestre: le mazzette, le spalle e gli spigoli potevano essere realizzati in mattoni, legati con calce e sabbia, o con cantoni di “tramezzario”, senza dubbio più resistente rispetto alla “pietra cantone”.

L’apertura superiore dei vani era caratterizzata dalla presenza di voltini, realizzati con mattoni disposti a coltello, o da architravi lignei, preferibilmente di ginepro, cui venivano sovrapposte delle tavole per regolarizzare la posa della muratura; tali tavole venivano talvolta posizionate anche al di sotto dell’architrave<sup>42</sup>.

### **Gli intonaci.**

Secondo quanto riportato da Melis, la tecnica di finitura delle murature diffusa a Cagliari prevedeva tre diversi passaggi<sup>43</sup>: inizialmente si stendeva un primo strato di intonaco, detto “rinzafo”, ottenuto con malta grassa costituita prevalentemente da calce e in minor misura da sabbia; successivamente veniva applicata l’“arriciatura” che constava di più strati di malta: il primo costituito da un sottile strato di malta lasciata grezza, il secondo si applicava quando il primo incominciava a presentare piccole crepe, il terzo consisteva in un intonaco ancora più sottile, accuratamente liscio.

L’ultima fase prevedeva la cosiddetta “imbianchita” della superficie.

Questa era fatta con calce disciolte in acque dolci, fino ad un massimo di tre passate.

Nel caso di vecchie murature si doveva procedere alla fase di pulitura e imboccatura delle commessure, necessaria a reintegrare le parti deteriorate prima della stesura del rinzafo.

Presumibilmente le pareti venivano lasciate bianche: nel testo anonimo “Descrizione dell’isola di Sardegna”, manoscritto conservato nella Biblio-

teca Comunale cittadina, si afferma che, per evitare che gli abitanti si sporcassero gli abiti di calce poggiandosi alle murature, queste «fossero coperte all’altezza di un uomo di mediocrestatura, con una tappezzeria di paglia disegnata e dipinta»<sup>44</sup>.

Attualmente le finiture esterne in calce risultano per buona parte sostituite dall’intonaco di cemento.

Questo ha favorito la presenza, in tutto il quartiere, di fenomeni di distacco dovuti sia all’umidità presente nella muratura sottostante, come detto particolarmente igroscopica, sia alla scarsa compatibilità fisico-chimica fra supporto e finitura (fig. 91).

### **Le volte.**

Le volte rappresentano un elemento ricorrente in tutto il centro storico cagliaritano.

Secondo quanto riportato nei preziosi<sup>45</sup> queste venivano realizzate con mattoni disposti a coltello, per uno spessore che andava dai 18 sino ai 38 cm. La procedura prevedeva che i mattoni, ben cotti, prima della posa in opera venissero immersi nell’acqua per almeno un quarto d’ora<sup>46</sup>.

Il rinfiacco era generalmente costituito di terra fina ben cospiata o mu-

43. P. MELIS, op. cit., p. 11.

44. ANONIMO, *Descrizione dell’isola di Sardegna*, Manoscritti, libreria Ballero, n. 3.

45. Archivio Storico Comunale, sezione antica, *Atti pubblici*, vol. 245, carta 64.

46. Ibidem.

47. Ibidem.

ratura ordinaria.

La realizzazione delle volte prevedeva l'impiego di centine in legno da posizionare all'imbotte. La costruzione procedeva contemporaneamente dalle due opposte estremità della linea d'imposta per poi arrivare alla chiave.

I mattoni, precedentemente bagnati, venivano rivestiti di malta e i giunti derivanti risultavano, generalmente, particolarmente sottili.

Una volta che la malta era indurita si procedeva al disarmo.

Per la realizzazione delle volte in pietra si utilizzava lo stesso materiale impiegato per le murature, con l'unica avvertenza di adoperare cantoni di "pietra forte" o "tramezzario" non troppo "molli", e quindi non in grado di reggere il peso della struttura soprastante, e nemmeno troppo lisci, per consentire una migliore presa della malta. Questa era ottenuta da un impasto di calce e sabbia di cava.

I piedritti erano di "pietra forte" e i rinfianchi venivano talvolta portati sino al livello del pavimento.

Particolarmente diffuse risultavano essere anche le "false volte", strutture non portanti realizzate con la tecnica della camera-canna: la struttura principale della volta veniva realizzata con un'intelaiatura lignea di tavole

e listelli ancorati al solaio soprastante; tale impalcato veniva ricoperto da un incannucciato simile a una stuoia, successivamente rivestito di malta secondo diversi strati, l'ultimo dei quali finemente lisciato.

Per ottenere una buona malta, non soggetta a screpolature, sabbia e calce venivano impiegato in una proporzione, rispettivamente, di  $2/5$  e  $3/5$ <sup>47</sup>.

### **I solai.**

Il solaio tipico si presenta a doppia o singola orditura, impostato su travi rustiche di ginepreo, talvolta sorrette da piccole mensole in pietra ma generalmente direttamente poggianti sui muri di spina.

L'orditura semplice era normalmente destinata alla copertura di locali di servizio: il tavolato poggiava direttamente su travi di recupero e scarsamente rifinite.

I solai a doppia orditura erano invece costituiti da una prima tessitura di travi maestre cui veniva sovrapposta una seconda orditura di travicelli.

Il tavolato era realizzato con tavole spianate e rifinite solo sulla faccia che doveva rimanere a vista, incollate fra loro e successivamente chiodate ai travicelli sottostanti. Il tipo di tavola

48. P. MELIS, op. cit., p. 13.

49. Dal piemontese *sterni*: «coprire il suolo di pietre o di mattoni in superficie unita per renderlo stabile e comodo, selciare, lastricare, ammattonare», da C. ZALLI, *Dizionario piemontese*.

50. P. MELIS, op. cit., p. 13.

51. «I pavimenti delle case sogliono essere di mattoni, ossia piastrelle quadrate di mattoni che fanno anche in paese, ma il più vengono dall'estero» da F. D'AUSTRIA ESTE, *Descrizione della Sardegna* (1812), Roma 1932.

52. Archivio Storico Comunale, sezione antica, *Atti pubblici*, vol. 245, carta 64.

53. M. CADINU, L. ZANINI in E. DE MINICIS E E. GUIDONI (a cura di), *Case e torri medievali*, Edizioni Kappa, Roma 1996, p. 55.

54. P. GENNARI, *Itinerario litologico sardo*, Cagliari 1872.

55. P. MELIS, op. cit., p. 14.

56. M. CADINU, L. ZANINI in E. DE MINICIS E E. GUIDONI (a cura di), op. cit., p. 55.

57. «per le serrature i documenti prevedono molte varianti; la più ricorrente è la serratura alla francese con chiave femmina completamente realizzata in ferro battuto che presentava tutti i meccanismi a sporgere, e veniva fissata tramite viti a testa piatta (chiodi vinati). Altri tipi menzionati nei documenti sono le serrature con piastre copritoppa. Altri comuni accessori delle porte erano le maniglie, i batenti, lo spioncino comunemente realizzato con un piccolo foro ricavato nello spessore della porta» da P. MELIS, op. cit., p. 16.

più diffuso era la cosiddetta “tavola di Corsica”, in abete, larga 25 cm e lunga fino a 4 m.

La realizzazione del solaio vedeva l'alternarsi di diverse maestranze specializzate: i muratori si occupavano della posa in opera delle travi mentre le opere di finitura erano a carico dei falegnami, incaricati anche della lavorazione degli infissi<sup>49</sup>.

### I pavimenti.

La pavimentazione più diffusa nel XVIII secolo nell'area cittadina risulta essere, secondo le fonti, lo “sternito”<sup>50</sup> di mattoni o piastrelle<sup>51</sup>, spesso proveniente dalla produzione estera<sup>52</sup>.

I laterizi, di forma quadrata (once 6x6, spessore punti 10) o rettangolare (once 5 in 4)<sup>53</sup>, venivano posti su un sottofondo di malta di calce e sabbia vagliata. La superficie veniva poi levigata e rifinita tramite la stesura di un sottilissimo strato di intonaco di calce mescolato a polvere di mattone.

La pavimentazione del pianterreno era realizzata in pietra, posata su uno strato impermeabilizzante di bitume spesso un'oncia (0,043 cm), generalmente costituito da calce e pozzola-

na e necessario a contrastare l'umidità del terreno sottostante.

### Le coperture.

La struttura dei tetti cagliaritari storici è sempre costituita da capriate lignee realizzate secondo lo schema classico<sup>54</sup>. Su di esse veniva posato un manto di canne (spesso provenienti dalla zona dell'Ogliastra) e legate fra loro con giunchi, o un tavolo chiodato all'orditura sottostante; raramente si aveva l'impalcato costituito di apposite tavole laterizie<sup>55</sup>.

La campata strutturale era coperta a doppia falda, con un timpano sul fronte strada mascherato da parapetti e cornicioni.

Era diffuso l'uso del controsoffitto in listelli lignei appesi alle travi, sui quali veniva fissato un fitto incannucciato che aveva il compito di isolare l'ambiente sottostante e fungere da supporto per l'intonaco<sup>56</sup>.

Il manto era costituito da coppi posati su uno strato di calcina, con tegole distanziate fra loro di almeno mezzo palmo (13 cm) e imboccate di malta<sup>57</sup>. La connessione alla muratura avveniva generalmente tramite l'incastro diretto della trave all'interno dei muri laterali. Erano tuttavia frequen-

ti problemi di infiltrazioni d'umidità derivanti dal sistema di raccolta delle acque piovane; i rari tetti a terrazza risultavano essere, da questo punto di vista, indubbiamente più efficienti poiché impermeabilizzati con uno strato a base di calcina, minuti rottami di coppi, smalto e pozzolana.

### **Gli infissi.**

Gli infissi erano realizzati con tavole lignee, a struttura semplice o doppia (fig. 92).

La prima, a battente singolo o doppio, prevedeva un unico strato di tavole poste in verticale e irrigidite da poche altre poste di traverso; l'imposta a struttura doppia era invece data dalla sovrapposizione di un ulteriore strato al tavolato semplice.

Le tavole venivano generalmente incollate e chiodate ad una cornice di traverse e montanti, utile a irrigidire il sistema.

Una traversa intermedia consentiva l'installazione dei ferramenti di chiusura<sup>1</sup>.

L'imposta a doppio tavolato, essendo più solida e robusta, veniva impiegata generalmente come portoncino d'ingresso all'edificio o come porta d'ingresso alle singole unità abitati-

ve. Prima della posa in opera i serramenti venivano rifiniti tramite piattatura e stuccatura dei giunti e, infine, con l'applicazione di strati di pittura protettiva e decorativa a base di calce, latte, gesso, biacca e olio di lino. Le finestre, anch'esse con telaio interamente in legno e scuri interni, erano generalmente dotate di parapetto in ghisa o ferro battuto, con davanzali o mensole in marmo (fig. 93).

Fig. 90: Muratura in “pietra cantone” e “pietra forte”. Castello, Cagliari.



Fig. 91 : Degrado degli intonaci. Castello, Cagliari.





Fig. 92: Finestra con parapetto. Castello, Cagliari.



Fig. 93: Portoncino d'ingresso. Castello, Cagliari.



## 2.5 L'analisi ambientale del sito e del microclima

L'analisi del sito rappresenta una fase fondamentale non solo per una progettazione *ex novo* a basso carico ambientale, ma anche per la comprensione dei fattori climatici e ambientali che influenzano il comportamento di una fabbrica storica da riqualificare.

Tale indagine prevede il reperimento e la valutazione dei dati relativi ad una serie di fattori fisici caratteristici del sito.

Alcuni sono dovuti alla localizzazione geografica (latitudine, longitudine e altezza media sul livello del mare), altri dipendono dalle condizioni climatiche e sono:

- l'andamento della temperatura dell'aria: massime, minime, medie, escursioni termiche;
- l'andamento della velocità e la direzione del vento;
- l'andamento della radiazione solare diretta e diffusa sul piano orizzontale (diagrammi solari);
- l'andamento della radiazione solare per diversi orientamenti di una superficie;

- la caratterizzazione delle ostruzioni alla radiazione solare (esterne o interne all'area/comparto oggetto di intervento).

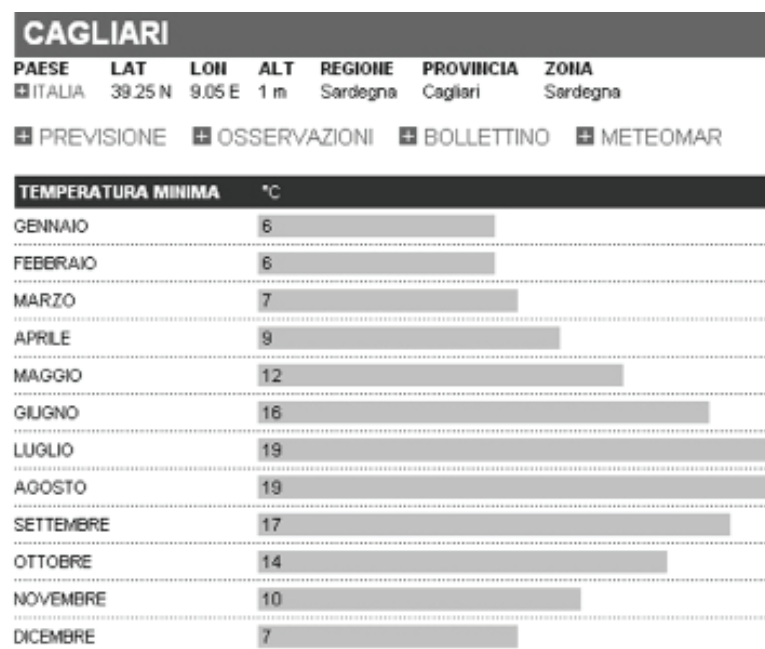
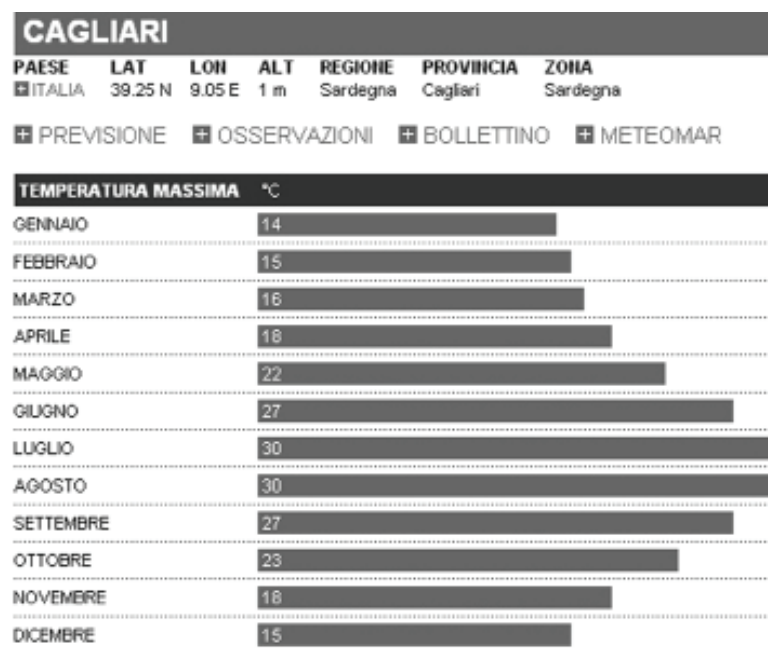
- l'andamento della pressione parziale del vapore nell'aria (umidità);
- la piovosità media annuale e media mensile.

Per quanto riguarda le temperature, un'indicazione di massima, fondamentale nelle procedure di verifica dei requisiti termici dei componenti dell'involucro e dei consumi per il riscaldamento, ci viene data dai Gradi Giorno (GG).

Il loro valore è definito come la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo dell'anno convenzionale, delle sole differenze positive (o negative) giornaliere tra la temperatura convenzionale, fissata in Italia a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera.

Un valore di Gradi Giorno basso indica un breve periodo di riscaldamento (o raffreddamento) e temperature medie giornaliere prossime alla temperatura fissata per l'ambiente

Fig. 94: Temperature medie massime e minime della città di Cagliari, anno 2013. Fonte EuroMETEO.



da riscaldare. Al contrario, valori di Gradi Giorno elevati, indicano periodi di riscaldamento (o raffreddamento) prolungati e temperature medie giornaliere nettamente inferiori (o superiori) rispetto alla temperatura convenzionale di riferimento.

Lo studio dei venti prevalenti riveste un'importanza fondamentale: la ventilazione rappresenta, infatti, non solo un agente da cui difendersi durante la stagione invernale, ma anche, soprattutto, un importante ausilio per il raffrescamento passivo degli edifici nella stagione estiva, particolarmente importante per le condizioni climatiche del sito oggetto di studio. Solitamente le informazioni raccolte, relative a direzione di provenienza, intensità e frequenza, vengono rappresentate in un grafico che proietta in un piano i punti cardinali (fig. 95).

L'analisi ha consentito di evidenziare per la città di Cagliari un vento freddo prevalente, proveniente da Nord-Ovest, particolarmente frequente nel periodo che va da novembre a marzo, il Maestrone; per quanto riguarda i mesi più caldi sembra essere dominante lo Scirocco, caldo e ricco di umidità, proveniente da Sud-Est. Le strette strade di Castello risultano perlopiù protette da tali venti, sia a

causa dell'orientamento del quartiere, allineato lungo la direttrice Nord-Ovest-Sud-Est, sia per via della fitta conformazione del costruito che funge da barriera.

Per quanto concerne l'andamento della radiazione solare e la presenza di ostruzioni, come detto al paragrafo 1.3.1 della seconda parte del presente lavoro, è possibile utilizzare degli strumenti di rappresentazione grafica, quali i diagrammi solari e le assonometrie solari, generati attraverso un *software* di simulazione sul quale vengono caricati i dati geografici e climatici del sito.

Tali strumenti hanno messo in evidenza i problemi di soleggiamento del quartiere di Castello, all'interno del quale i raggi solari penetrano a fatica a causa del denso tessuto urbano, rendendo difficile il raggiungimento del comfort termico all'interno delle abitazioni, specialmente se poste ai piani più bassi.

Anche la conoscenza del tasso di umidità relativa è molto importante nella definizione delle condizioni di benessere termometrico.

Per interpretare in maniera precisa i dati finora elencati, è necessario contestualizzare ulteriormente il sito in relazione ad alcuni fattori che possono influenzarne il microclima.

La topografia (ovvero l'altezza relativa, la pendenza del terreno e l'orientamento) è sicuramente il carattere invariante maggiormente influente: il colle su cui sorge il quartiere di Castello risulta libero da ostruzioni, in quanto più alto della zona circostante; ciò lo rende particolarmente esposto ai venti, sebbene il fitto tessuto degli isolati funga da protezione.

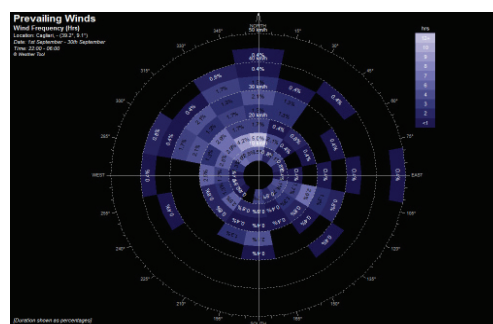
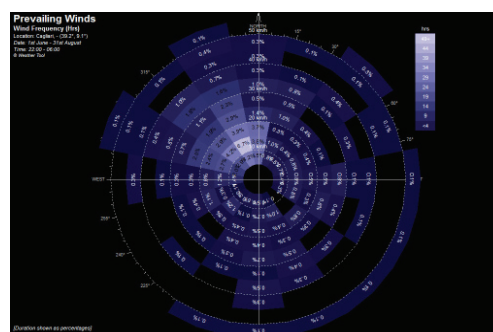
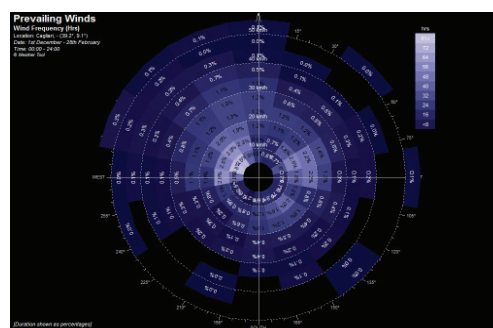
Un altro importante fattore da tenere in considerazione è la presenza di grosse masse d'acqua nei pressi del sito analizzato.

Cagliari si affaccia sul Golfo degli Angeli e, senza dubbio, risente del benefico influsso del mare: la forte inerzia termica dell'acqua permette infatti di stabilizzare le temperature dell'aria. Tale effetto è molto marcato in prossimità del mare, ma tale influenza si mantiene, seppur attenuata, anche ad una certa distanza dalla costa.

L'inerzia termica è uno dei fattori che influenzano la formazione di brezze locali legate alle variazioni di temperatura che si verificano nel ciclo giornaliero (diurno e notturno).

Queste brezze risultano essere particolarmente efficaci per il raffrescamento passivo durante la stagione calda.

Fig. 95: Diagrammi dei venti prevalenti a Cagliari:  
 - 1 dicembre-28 febbraio;  
 - 1 giugno-31 agosto  
 - 1 settembre-30 settembre.



## 2.6 Gli accorgimenti bioclimatici tradizionali

Durante la ricostruzione dell'evoluzione morfologica dell'impianto urbanistico e costruttivo del quartiere Castello è emersa una serie di accorgimenti adottati nel corso dei secoli per far fronte alle limitazioni conseguenti alle caratteristiche climatiche proprie del sito.

Già durante la fase di fondazione della cittadella, nel XIII secolo, si può riscontrare una certa attenzione per quanto riguarda il disegno della rete stradale che, con le sue direttrici principali caratterizzate da un andamento curvilineo, come sottolinea Cadinu<sup>57</sup> (cfr § 2.1 della seconda parte), risultò essere funzionale a migliorare il soleggiamento dei prospetti delle abitazione, nonché utile a placare i venti.

Durante tutto il Medioevo, come testimoniato dalla documentazione archivistica presa in esame, risultò frequente l'utilizzo di tettoie lignee mobili, utilizzate soprattutto durante i mercati all'aperto e necessarie a schermare i forti raggi del sole che colpivano gli spazi aperti nei quali ve-

nivano svolte tali attività.

Si può quindi pensare che in quel periodo il tessuto costruito fosse meno fitto, con ampi spazi liberi ed edifici sviluppati su altezze minori e che i raggi solari potessero più facilmente penetrare fra le vie del quartiere.

Conseguentemente all'aumento demografico intervenuto nel Cinquecento, si rese necessario accrescere le abitazioni secondo uno schema modulare che spinse prima a sacrificare le piccole corti ubicate fra due edifici posti alle estremità dello stesso lotto gotico, poi ad innalzarsi in verticale, fino a raggiungere i tre o quattro piani di altezza.

L'effetto di tali modificazioni fu quello di rendere particolarmente difficoltoso l'ingresso della luce e la ventilazione naturale all'interno degli edifici. Risale infatti a quel periodo la necessità di aprire nuove finestre e pozzi di luce<sup>58</sup>.

Tuttavia, nonostante le facciate degli edifici risultassero in ombra per la maggior parte del giorno, le coperture subivano l'effetto continuo dell'ir-

57. M. CADINU, op. cit. (2009), p.42.

58. G. TODDE, op. cit., p. 454.

raggiamento solare diretto che, se durante la stagione fredda poteva contribuire a migliorare le condizioni di benessere degli occupanti, durante i mesi più caldi incrementava la temperatura interna agli ambienti immediatamente sottostanti.

A tale inconveniente si cercava di porre rimedio tramite la realizzazione di “sottotetti” realizzati con una stuoia di canne intonacata, che fungeva da isolamento termico.

In merito all'utilizzo degli ambienti sottostanti la copertura non è stato possibile, dall'analisi delle fonti, ricostruire l'uso che ne veniva fatto, ovvero se questi fossero abitati o se, al contrario, venissero esclusivamente adibiti alla conservazione e stoccaggio delle provviste di cereali, come avveniva nel resto dell'Isola.

Sappiamo però con certezza che i piani terra, più bui e umidi, venivano generalmente destinati al ricovero degli animali mentre le residenze erano allocate ai piani superiori, più salubri.

Un'altra particolarità emersa durante lo studio delle fonti riguarda la tecnica di approvvigionamento delle acque meteoriche per far fronte alla scarsità d'acqua diffusa in tutto il centro cittadino: negli spessi muri laterali delle schiere comuni trovava

Fig. 96: Elemento in terracotta interno alla muratura per la canalizzazione delle acque meteoriche.



Fig. 97: Canne fumarie con uscita sul fronte di un edificio.



alloggiamento un sistema di canali, composto da elementi impilabili in terracotta (fig. 96), che convogliava ad una cisterna interrata l'acqua meteorica raccolta grazie alla particolare disposizione delle coperture, con il colmo del tetto ortogonale alla strada.

Tale tecnica, diffusa nel centro storico cittadino almeno dal XIV secolo, rende le schiere cagliaritaniche uniche rispetto al resto del costruito medievale di impronta pisana, caratterizzato da colmi posti in posizione parallela rispetto ai fronti<sup>59</sup>.

Tuttavia i documenti riferiscono anche notizie relative alla cattiva realizzazione e manutenzione di tali canalizzazioni, sovente soggette ad ostruzioni, causa di pericolosi ristagni d'acqua e infiltrazioni all'interno delle murature e delle strutture lignee su di esse poggiate.

L'utilizzo di sistemi di riscaldamento a caminetto o stufa prevedeva l'uso di canne fumarie in terracotta con uscita, originariamente, sul fronte strada<sup>60</sup> (fig. 97).

Il passaggio di tali elementi all'interno dell'abitazione, attraverso i solai lignei, rese indispensabile normare la loro installazione e manutenzione in modo che queste non causassero problemi relativi alla sicurezza antin-

endio. Nel 1856 fu infatti reso obbligatorio rivestire le canne fumarie con guaine di metallo o terracotta e, nel caso di passaggio presso le travi o i travetti della copertura, l'intersezione dei due elementi doveva essere schermata tramite delle lastre di vetro<sup>61</sup>.

Le continue modificazioni subite nel corso dei secoli dal costruito di Castello hanno fatto sì che ben poco delle tecniche sopra esposte si conservasse.

È tuttavia ovvio che la riproposizione *tout court* di esse potrebbe risultare anacronistica e fuori luogo in un periodo storico caratterizzato da nuove tecnologie sostenibili, in grado di migliorare le prestazioni degli edifici e il comfort degli occupanti.

Ciò non toglie che il recupero e ripristino di alcuni di questi accorgimenti bioclimatici, in affiancamento alle nuove tecniche, come proposto in seguito, possa essere quantomeno auspicabile nell'ottica di una riqualificazione energetica sostenibile.

59. M. CADINU, L. ZANINI in E. DE MINICIS E E. GUIDONI (a cura di), op. cit., p. 54.

60. M. CADINU, op. cit. (2003), p. 457.

61. Archivio Comunale di Cagliari, *Regolamento di Polizia Urbana e Rurale*, 1856, sez. II, vol. 1855-1924, cl. 2, cat. 3, capo 6.







### 3 I CASI STUDIO

#### Premessa

Lo studio analitico delle *performance* energetiche degli edifici analizzati è stato preceduto, come anticipato nel § 1.2, da una serie di indagini strumentali utili a comprendere il comportamento termico dell'involucro.

Tuttavia le peculiarità del quartiere Castello hanno reso complicato effettuare delle misure dirette sulle murature, considerata la difficoltà di individuare, e quindi analizzare, delle pareti esterne esposte a Nord considerate ottimali per le indagini termoflussimetriche.

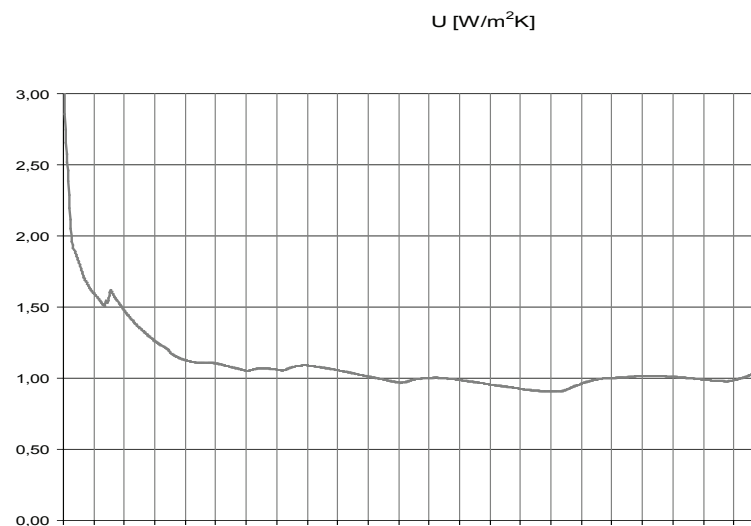
Un'ulteriore incertezza nella misura è data dalla limitata differenza di temperatura fra interno ed esterno delle abitazioni, dovuta alla presenza di ambienti sottoriscaldati.

Tali fattori hanno portato all'individuazione di valori di trasmittanza variabili caso per caso, probabilmente anche a causa delle diverse quantità di malta impiegata per le murature dei diversi edifici.

Non disponendo di specifiche notizie in merito alle caratteristiche termiche della "pietra cantone", si è quin-

di deciso di procedere per confronto fra i dati ricavati tramite flussimetria e quelli dichiarati in letteratura per materiali calcarei con densità vicina a quella del lapideo in oggetto<sup>62</sup>.

Fig. 98: Valori di trasmittanza ricavati nella muratura esterna dell'abitazione sita in via Lamarmora 115.



62. Pietra calcarea:  $\rho$  2,4 ;  $\gamma$  1,2 (fonte U. WIENKE, *Manuale di bioedilizia*, Dei, Roma 2004, p.196);

Pietra cantone:  $\rho$  1,95 (fonte G. BARROCCU, T. CRESPELLANI, A. LOI, *Caratteristiche geologico-tecniche dei terreni dell'area urbana di Cagliari*, Settembre 1979, p.18).



### 3.1 Il palazzotto: palazzo Floris Thorel

Al civico 90-96 di via Lamarmora sorge il palazzo Floris-Thorel, un palazzotto chiaramente derivato dalla fusione di due case a schiera su lotto gotico.

Esso presenta infatti tutte le caratteristiche del caso, sia per l'estensione planimetrica, sia per la cura della facciata, sulla quale si apre un portale ligneo inquadrato da cornici.

L'atrio voltato è dominato da una imponente scala monumentale a forbice, opera dell'architetto Viana.

La chiara origine nobiliare dell'edificio sembra essere confermata dalle notizie che lo individuano quale antica sede della Procura del re.

La struttura è in muratura, con blocchi squadrati di pietra cantone e finitura delle pareti in intonaco di calce. I solai sono in legno.

All'interno il vano scala è aperto su un pozzo luce vetrato, di epoca recente, che illumina l'ambiente di luce naturale.

La copertura è a falda, con coppi tradizionali, schermata alla vista da un cornicione.

Fig. 99: Palazzo Floris Thorel, inquadramento all'interno del quartiere Castello.



## DATI GENERALI

Indirizzo	Via Lamarmora n° 90-96
Tipologia	Palazzotto
Anno di costruzione	1700 circa
Destinazione urbanistica	Alloggi e attività commerciali

## CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E COSTRUTTIVE

Superficie	516 m <sup>2</sup>
Volume	8360 m <sup>3</sup>
n. piani	4
Muratura portante	Pietra cantone
Copertura	Tetto a falde
Finitura esterna	Intonaco di calce

Fig. 101: Palazzo Floris Thorel, pianta. Datazione sconosciuta. Archivio di Stato, Cagliari.

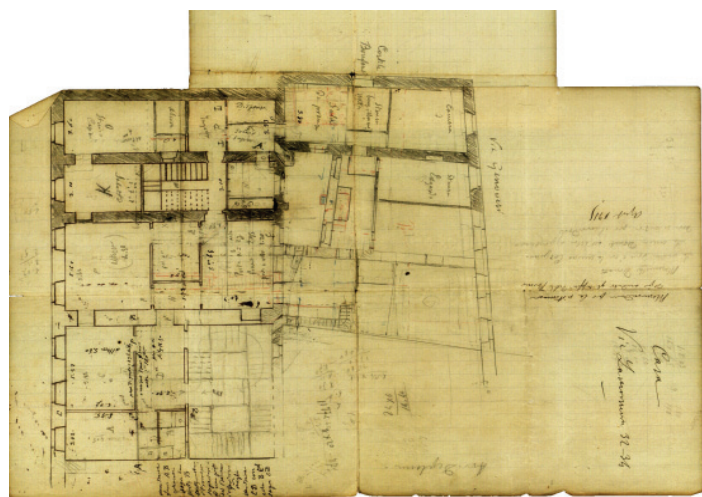


Fig. 100: Palazzo Floris Thorel, prospetto su via Lamarmora.



Fig. 102: Palazzo Floris Thorel, pozzo di luce nell'atrio.

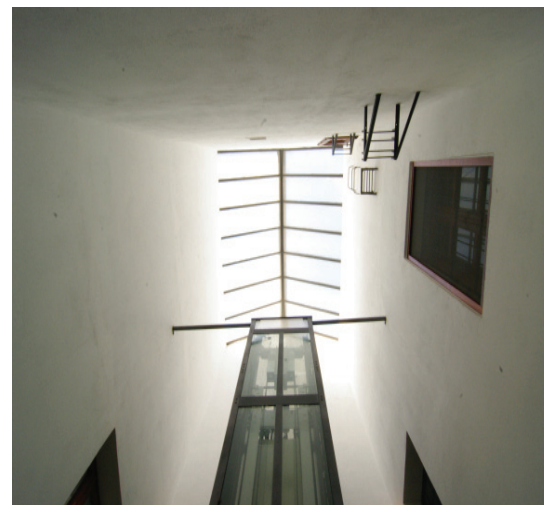


Fig. 103: Edifici a palazzotto riscontrati nel quartiere.



Fig. 104: Palazzo Floris Thorel, Prospetto su via Lamarmora. Nel riquadro rosso è evidenziata l'unità abitativa analizzata.





Fig. 105: Palazzo Floris Thorel, pianta Piano Terra.

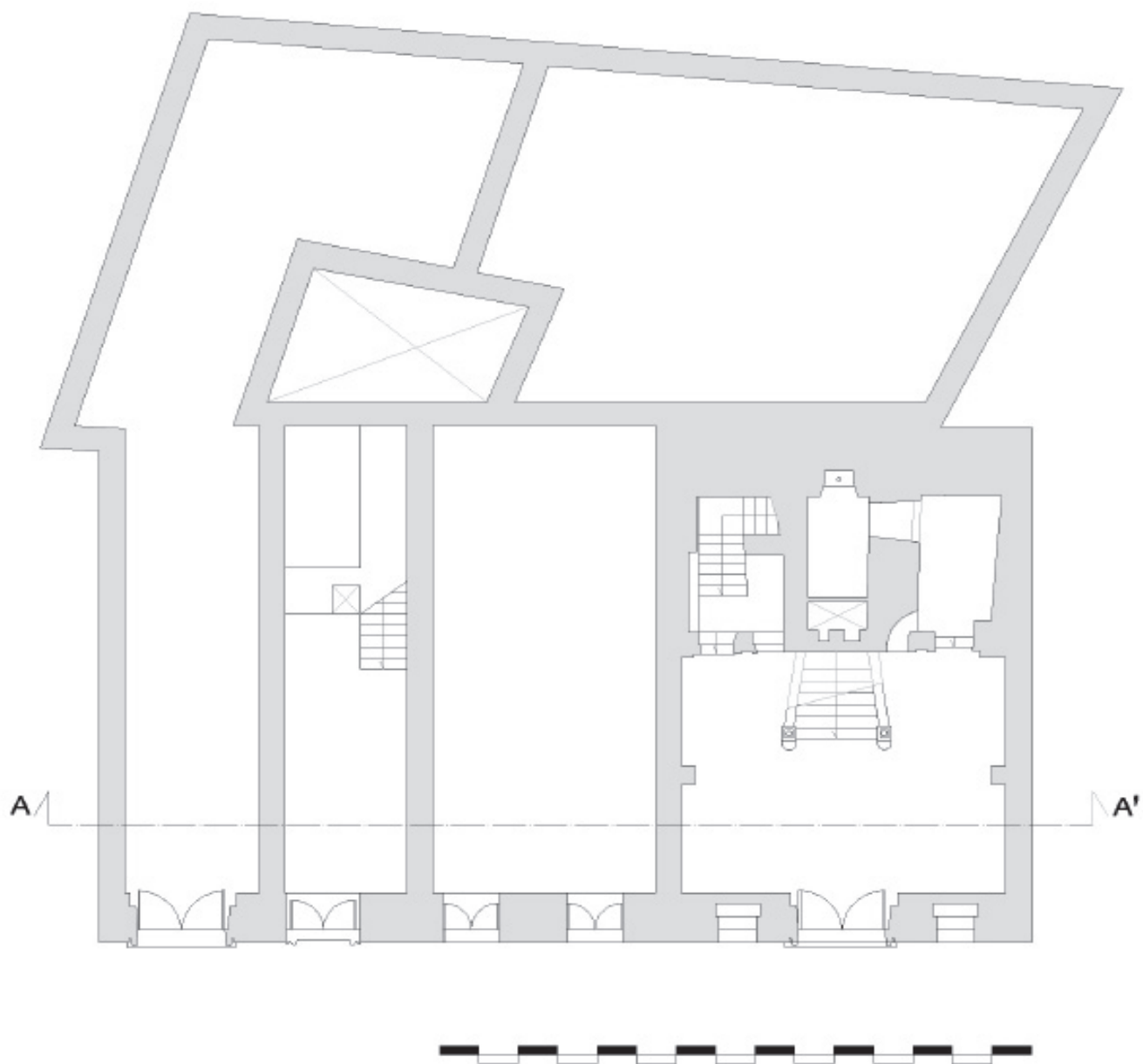


Fig. 106: Palazzo Floris Thorel, pianta abitazione oggetto di studio, secondo piano.

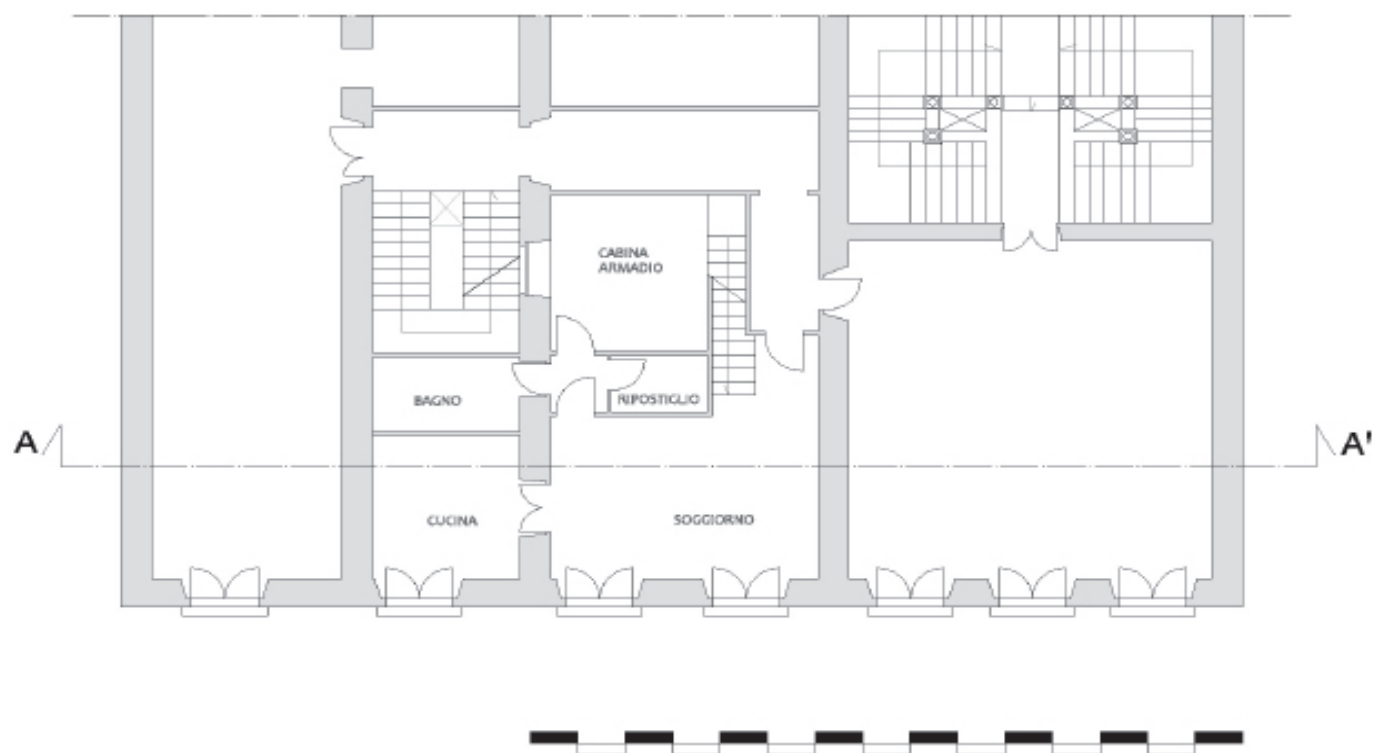
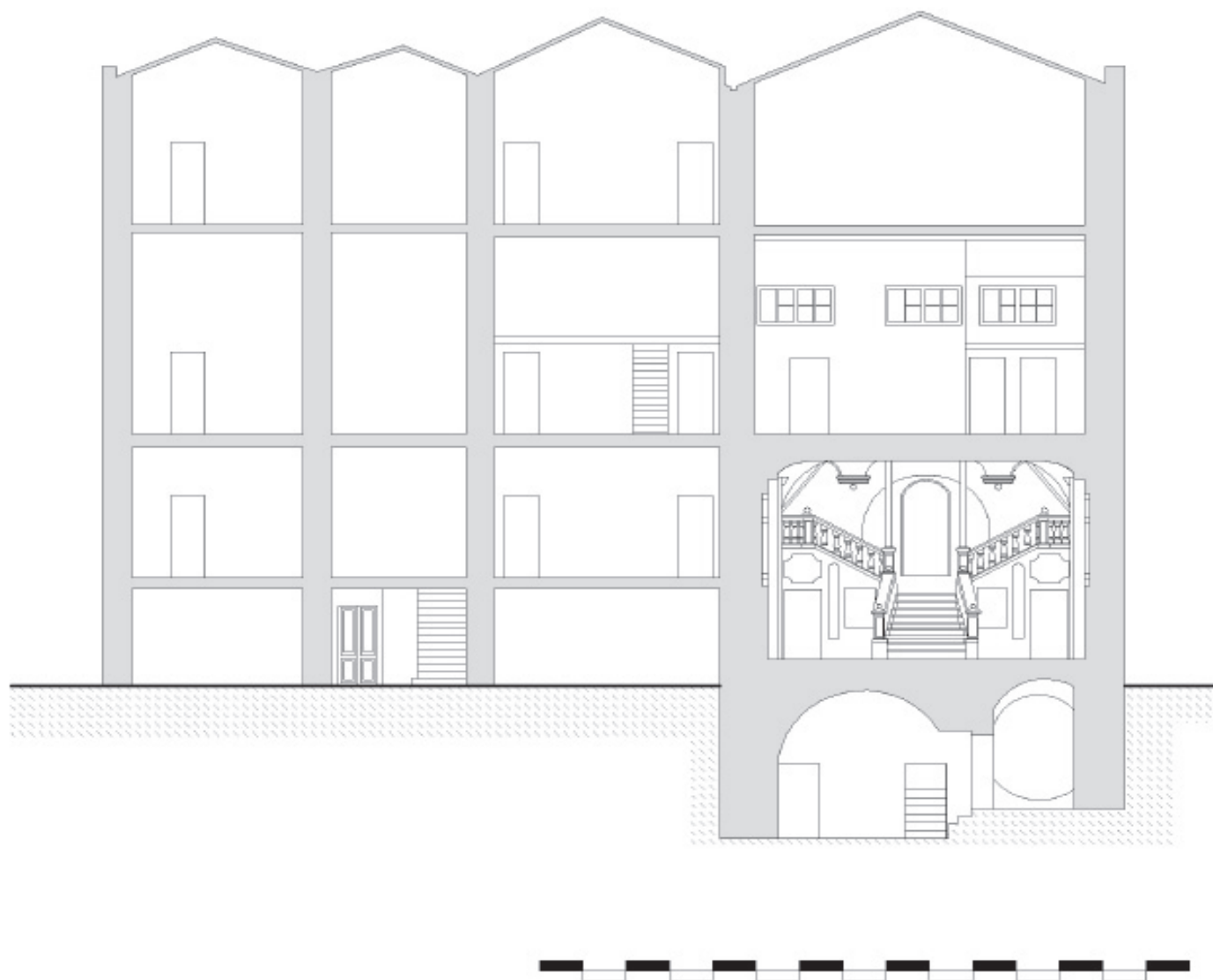


Fig. 107: Palazzo Floris Thorel, sezione.



## La prestazione energetica.

La residenza analizzata è situata al secondo piano dell'edificio, con un unico affaccio su via Lamarmora.

L'analisi ambientale del sito ha messo in evidenza le criticità derivanti dal soleggiamento della parete esterna possibile, a causa delle ostruzioni dovute al costruito circostante, solamente durante le ore centrali della giornata; ciò risulta penalizzante sia durante l'inverno, per via dell'apporto solare limitato, sia durante la stagione estiva per via della radiazione incidente durante le ore più calde del giorno (circa 17 kWh/m<sup>2</sup> nel mese di giugno).

L'involucro edilizio è rappresentato da una muratura di 60 cm in blocchi di "pietra cantone" e finiture in intonaco di calce di 2 cm, sia all'interno che all'esterno dell'edificio.

Sono presenti tre ampie finestre con telaio in legno duro e doppio vetro.

Essendo l'abitazione ubicata al secondo piano dell'edificio, sono stati trascurati i valori relativi a pavimento e solaio poichè entrambi confinanti con locali abitati, dunque presumibil-

mente riscaldati; si è invece tenuto conto della parete adiacente al vano scala condominiale privo di impianti per la climatizzazione.

Il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento dell'appartamento ha tenuto conto degli scambi termici attraverso l'involucro, degli apporti interni e degli effettivi apporti solari.

È quindi risultato un consumo pari a 52,32 kWh/m<sup>2</sup>a.

Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria è stato invece stimato un consumo pari a 18,63 kWh/m<sup>2</sup>a, considerando una temperatura di ingresso dell'acqua pari a 15°C e di erogazione pari a 40°C.

Fig. 108: Andamento della temperatura interna all'abitazione nell'arco di tempo rilevato (1 febbraio 2012 ore 19:35/ 6 febbraio 2012 ore 19:35).

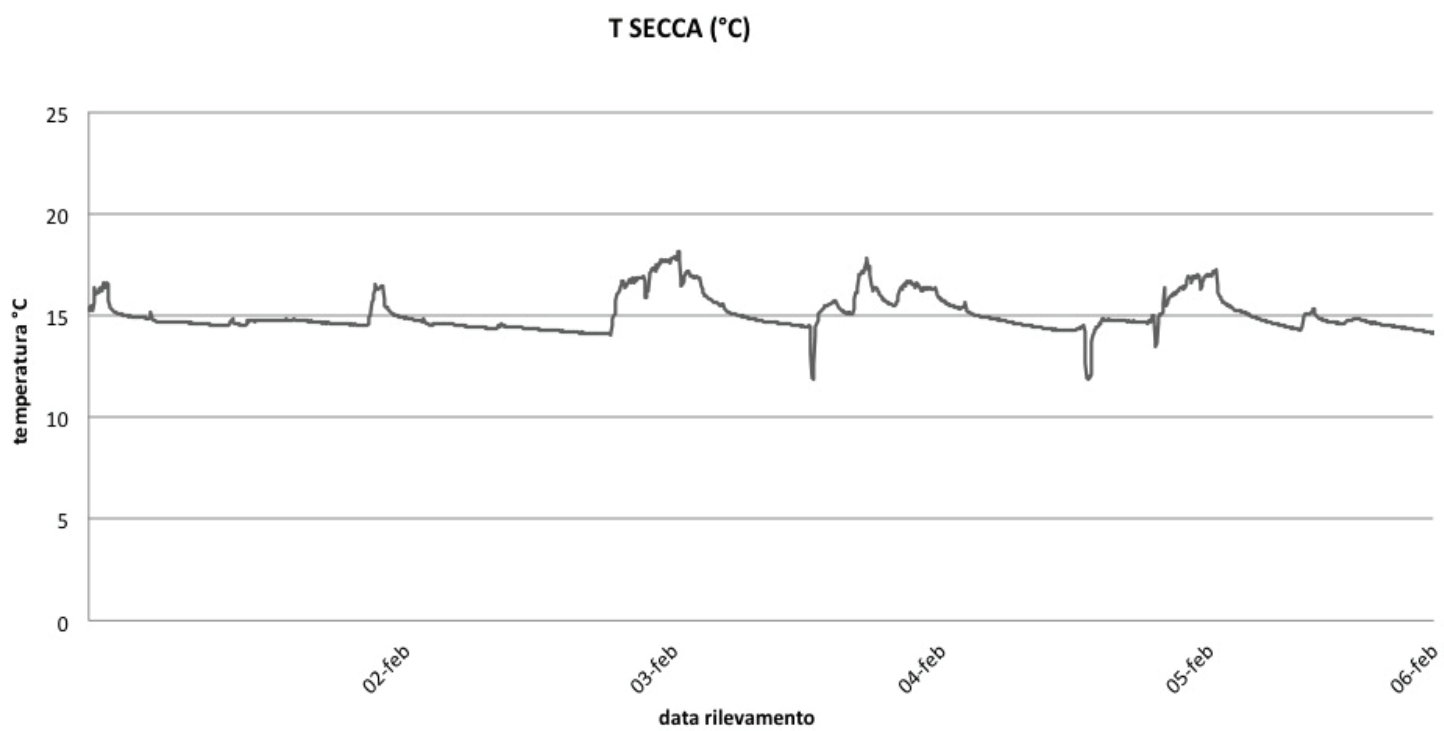
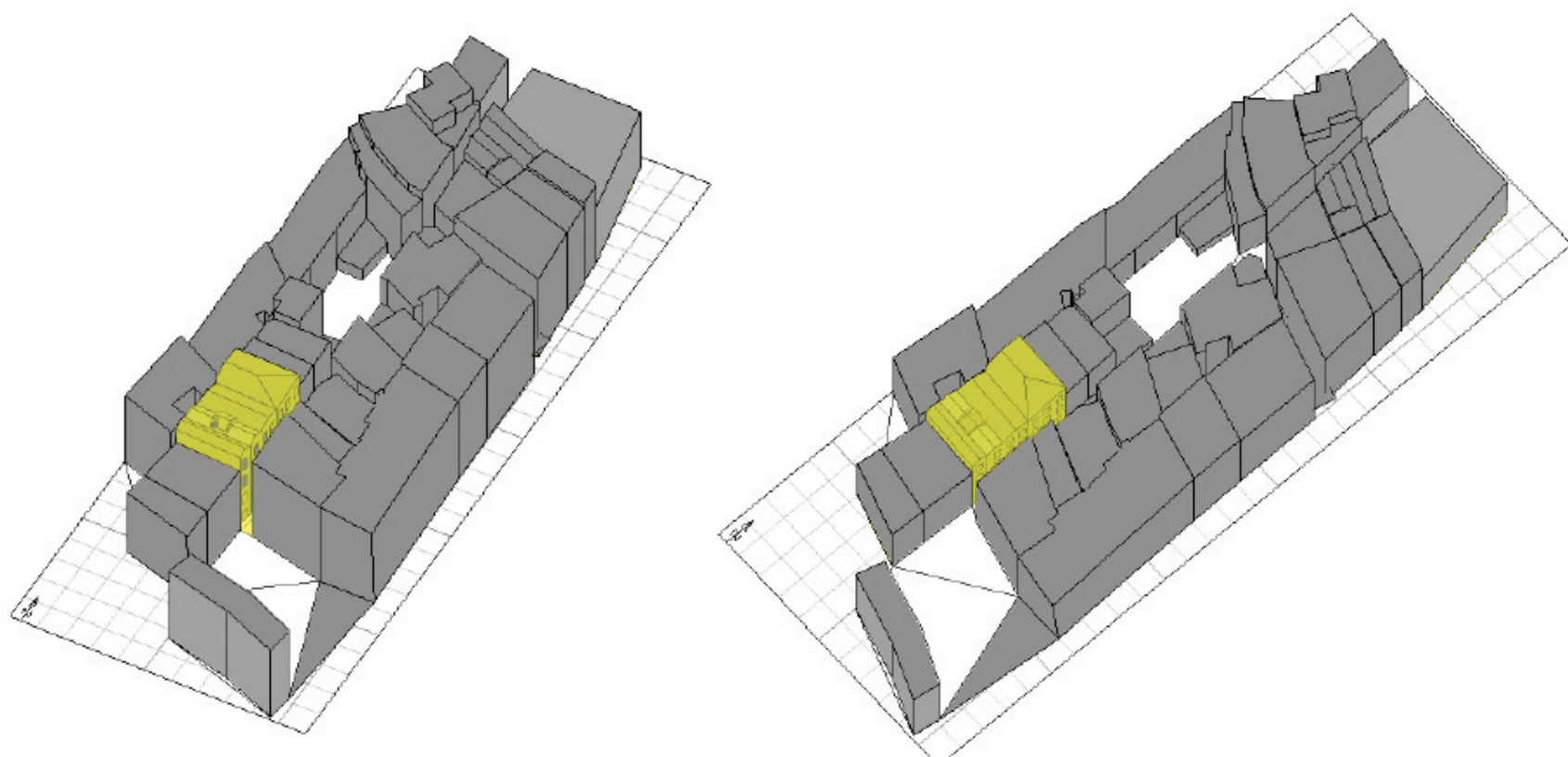


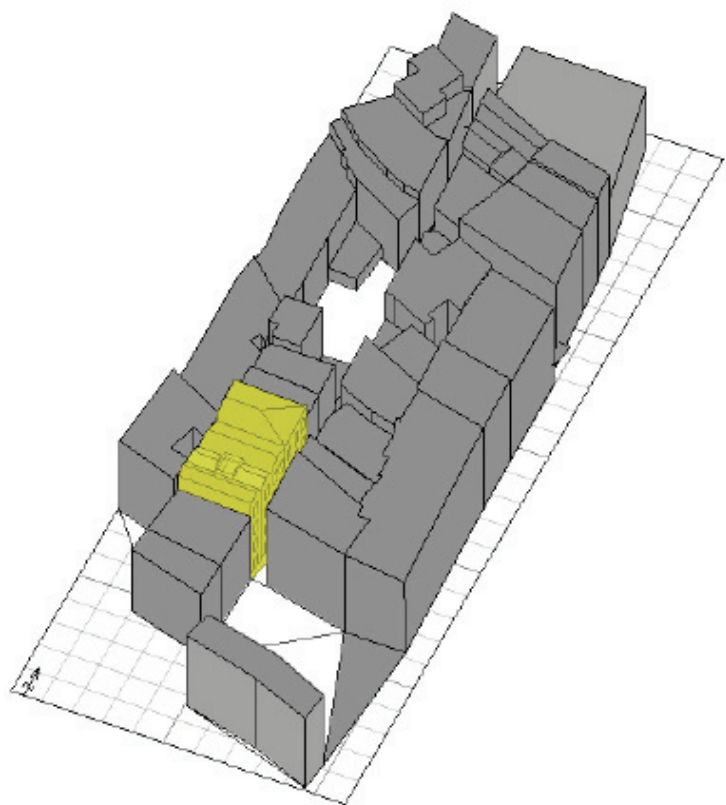
Fig. 109: Assonometrie solari del palazzo Floris-Thorel alle 15:00 del pomeriggio.

21 marzo

21 giugno



21 settembre



21 dicembre

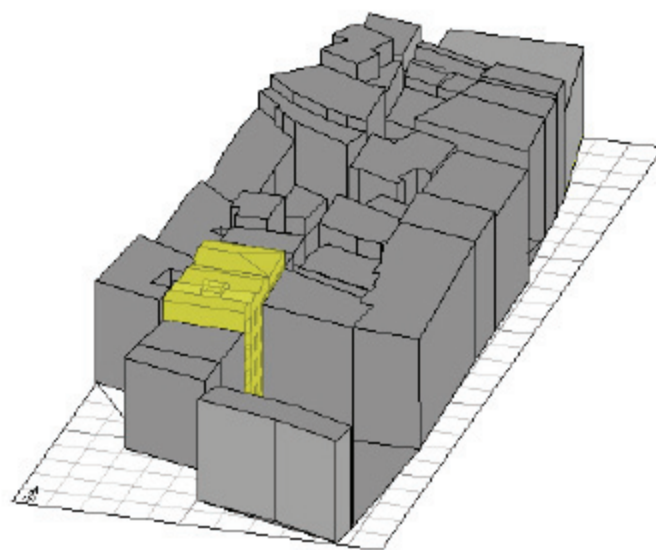
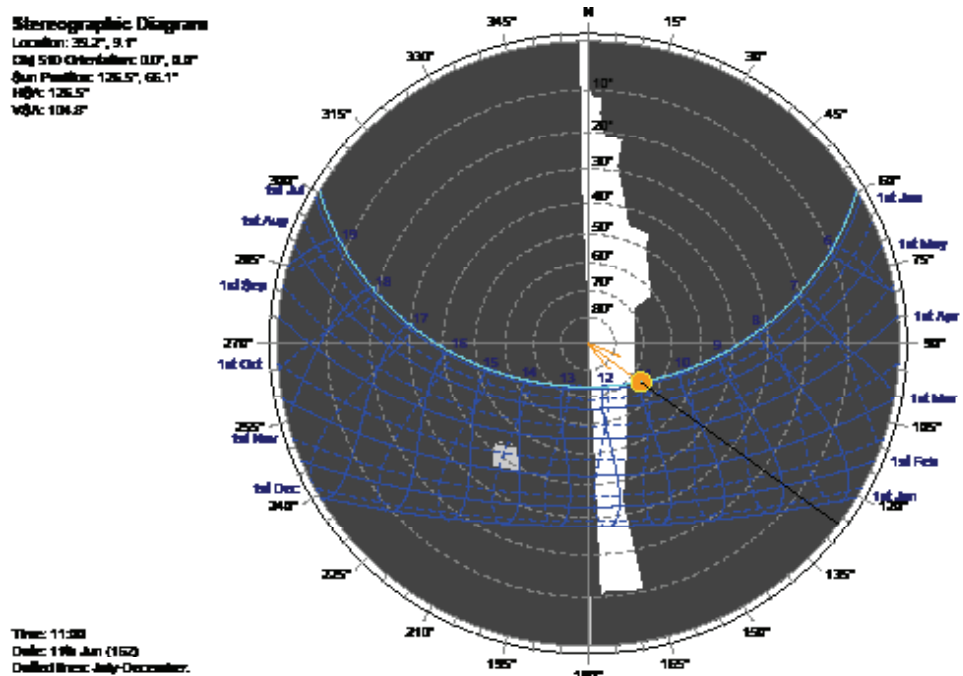
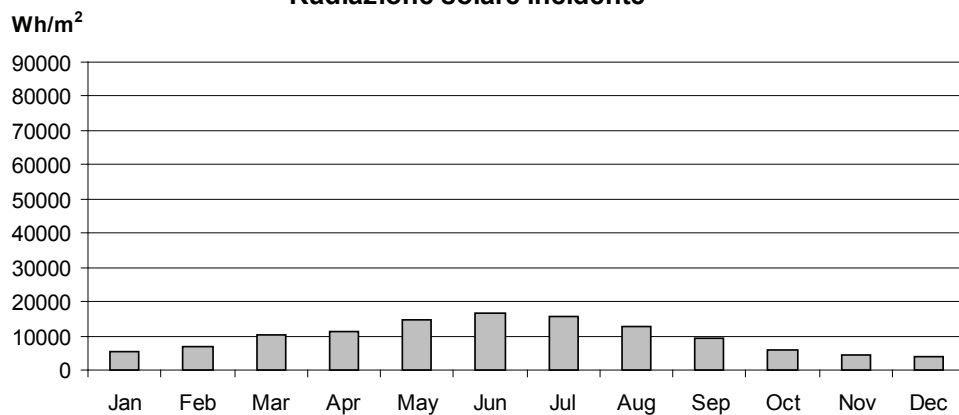


Fig. 110: Diagramma solare e grafico della radiazione solare incidente su una finestra dell'abitazione oggetto di studio.



### Radiazione solare incidente









### 3.2 La casa a schiera: l'abitazione sita in via Lamarmora 115

L'edificio si presenta come una schiera nata dall'unione di due lotti di impianto medievale, lunghi e stretti sul fronte strada.

Lo sviluppo in altezza su cinque livelli suggerisce la sopraelevazione di uno o più piani rispetto all'impianto originario.

La facciata presenta la tipica partitura simmetrica di pieni e vuoti, con le ampie finestre dotate di parapetto in ferro battuto e davanzale in marmo, sorretto da mensoline in materiale lapideo. Gli infissi sono caratterizzati da un telaio in legno dal disegno particolarmente diffuso all'interno del quartiere. Il vetro è singolo.

Il portone d'ingresso è inquadrato da una cornice che richiama le fasce marcapiano e il cornicione.

L'intonaco di calce presenta chiari segni di degrado dovuti alla risalita capillare dal terreno, ad un'altezza superiore rispetto alla zoccolatura in pietra forte.

La copertura è a falde ortogonali rispetto all'asse viario, con coppi tradizionali.

Fig. 111: Via Lamarmora 115, inquadramento all'interno del quartiere Castello.



## DATI GENERALI

Indirizzo	Via Lamarmora n° 115
Tipologia	Residenziale a schiera
Anno di costruzione	1700 circa
Destinazione urbanistica	Alloggi e attività commerciali

## CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E COSTRUTTIVE

Superficie	187 m <sup>2</sup>
Volume	3927 m <sup>3</sup>
n. piani	5
Muratura portante	Pietra cantone
Copertura	Tetto a falde
Finitura esterna	Intonaco di calce

Fig. 112: Prospetto dell'edificio sito in via Lamarmora 115.



Fig. 113-115: Particolari del prospetto dell'edificio sito in via Lamarmora 115.



Fig. 116: Edifici a schiera riscontrati nel quartiere.



Fig. 117: Prospetto dell'edificio sito in via Lamarmora 115. Nel riquadro rosso è evidenziata l'unità abitativa analizzata.



Fig. 117: Piante dell'edificio sito in via Lamarmora 115: piano quarto (sinistra) e piano quinto (destra).

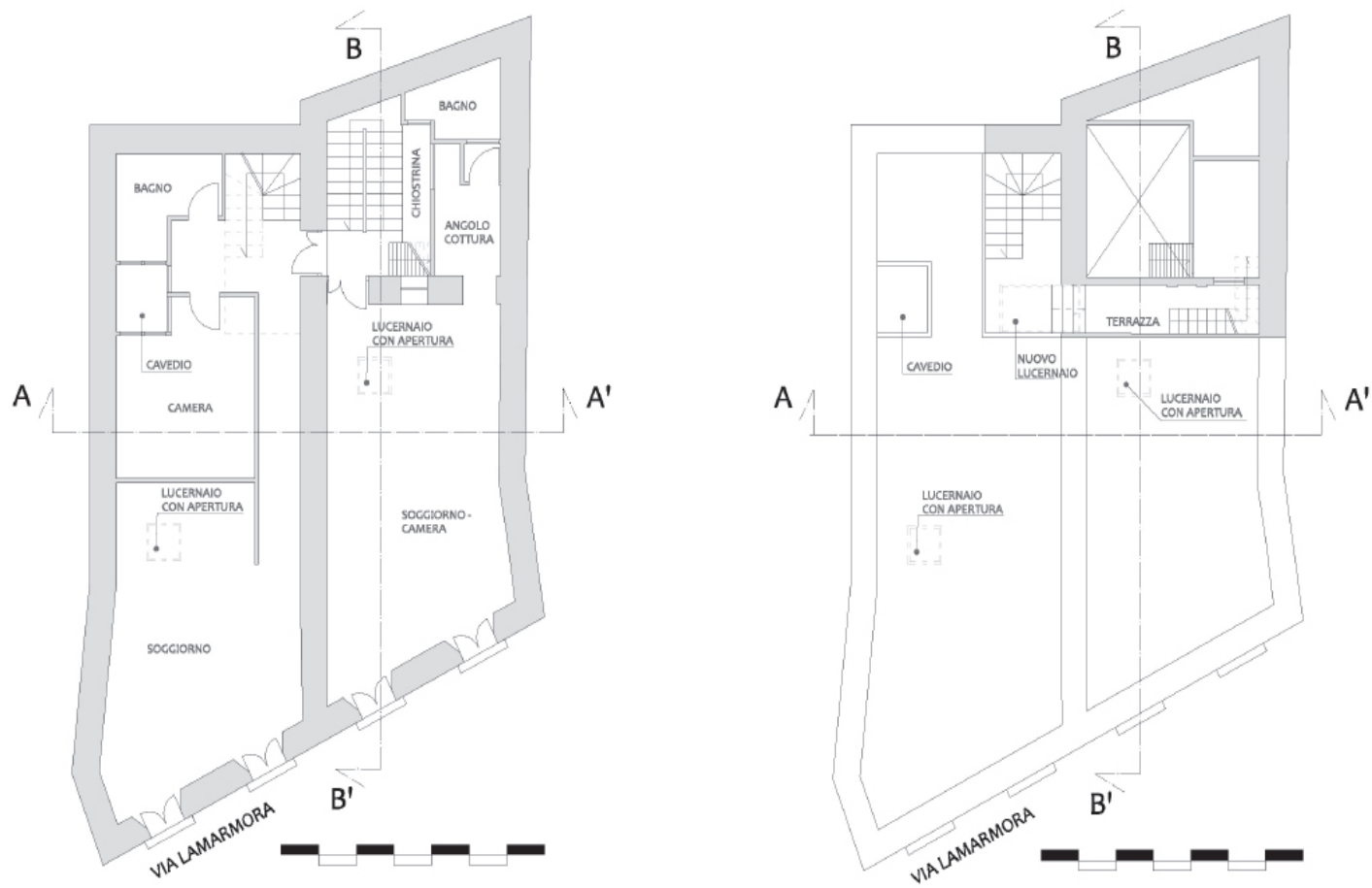


Fig. 118: Sezioni dell'edificio sito in via Lamarmora 115: sezione A-A' (sinistra) e sezione B-B' (destra).





## La prestazione energetica.

La residenza è situata all'ultimo piano dell'edificio e si sviluppa su due livelli grazie ad un soppalco nel quale trova spazio la zona notte; l'unico affaccio dà su via Lamarmora.

L'analisi ambientale ha evidenziato delle condizioni di soleggiamento più favorevoli rispetto al caso precedente, con la facciata colpita dai raggi solari per diverse ore durante il pomeriggio (dalle 13 alle 19 circa), nell'arco di tutto l'anno.

Lo spessore della muratura in "pietra cantone" è di 70 cm, con intonaco di calce.

Gli infissi delle due uniche finestre presentano un telaio in legno tenero e vetro singolo.

Nello svolgimento del calcolo del fabbisogno energetico si è considerata, oltre alla quantità di calore dispersa attraverso la muratura confinante con il vano scala, anche l'energia dispersa attraverso la copertura, realizzata con capriate lignee e manto esterno di coppi tradizionali.

L'edificio, insistente su una porzione di lotto gotico di origine medievale,

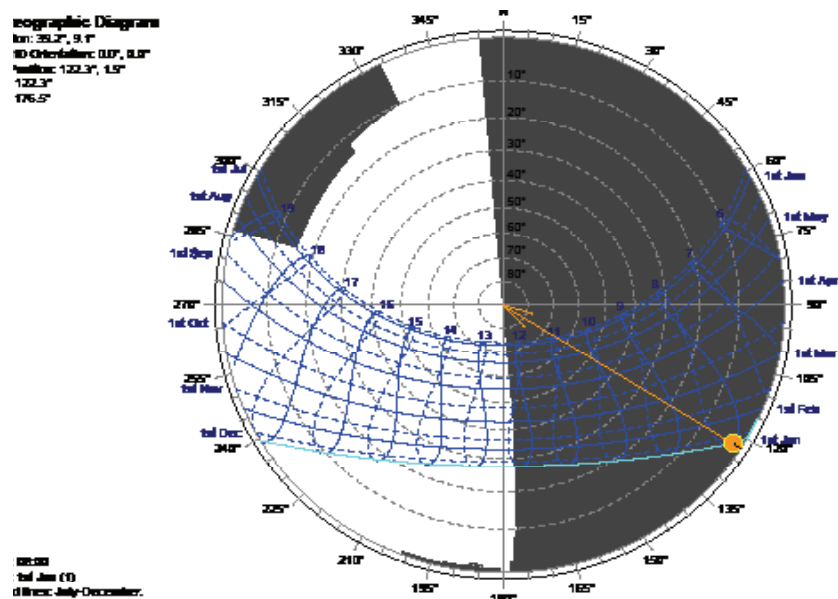
presenta un cavedio coperto da un lucernaio nella parte retrostante il prospetto principale.

Il fabbisogno energetico richiesto per il mantenimento di una temperatura interna costante pari a 20°C, nella stagione invernale, è pari a circa 47 kWh/m<sup>2</sup>a, per una superficie calpestabile di 75 m<sup>2</sup>.

Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria il consumo risulta pari a 17,31 kWh/m<sup>2</sup>a, con una temperatura di ingresso dell'acqua pari a 15°C e di erogazione pari a 40°C.



Fig. 120: Diagramma solare e grafico della radiazione solare incidente su una finestra dell'abitazione oggetto di studio.



### Radiazione solare incidente

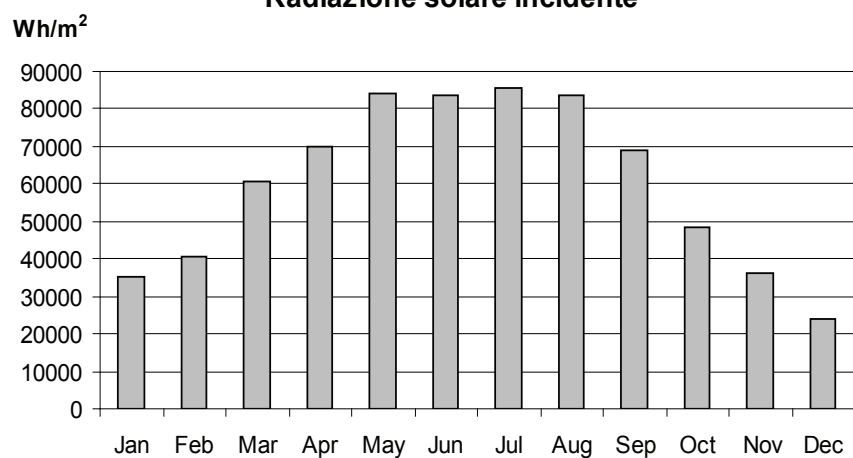
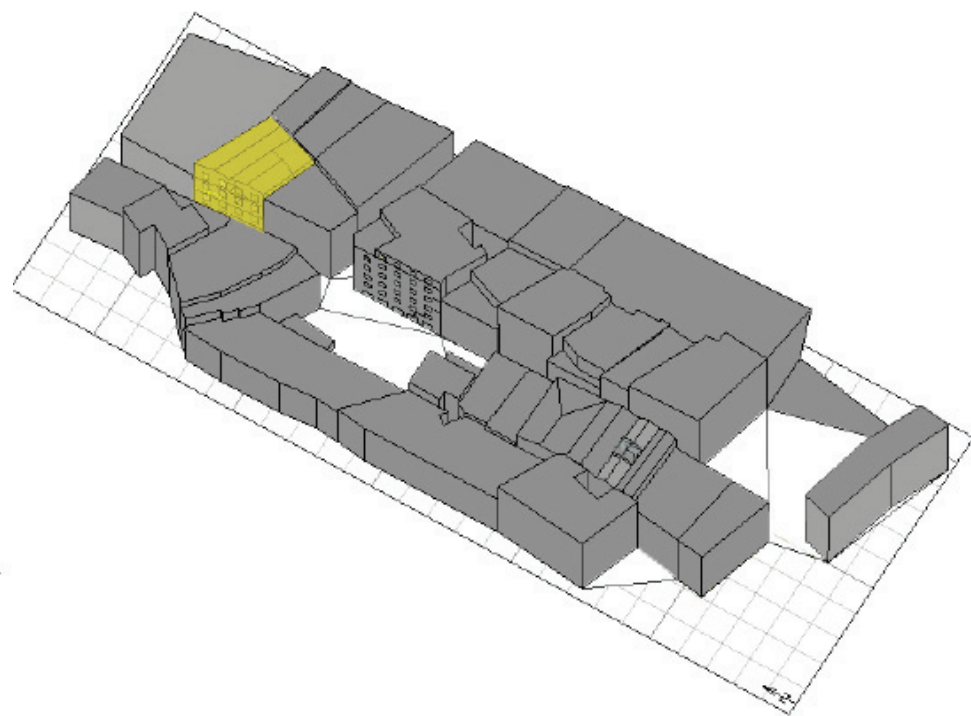
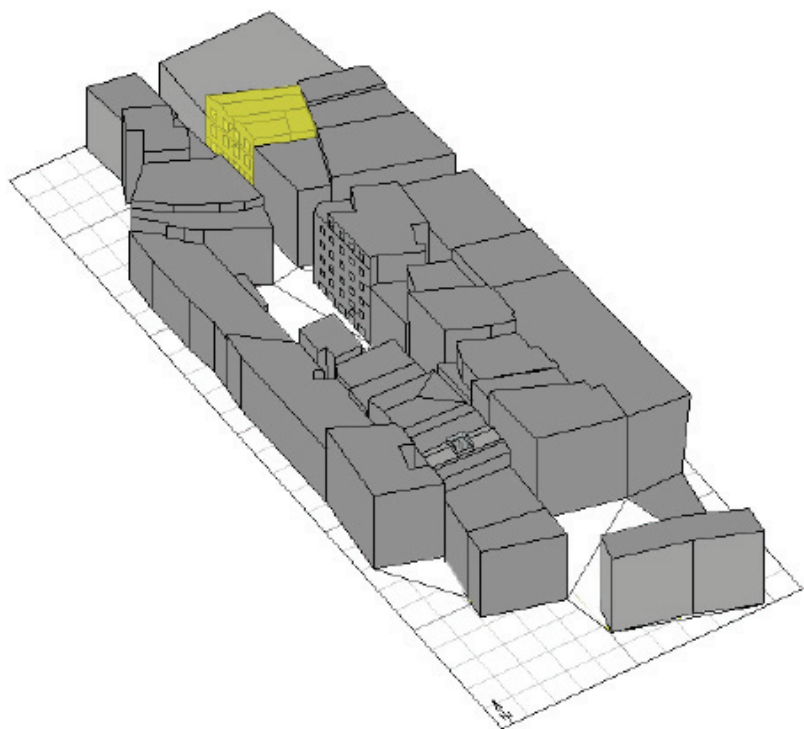


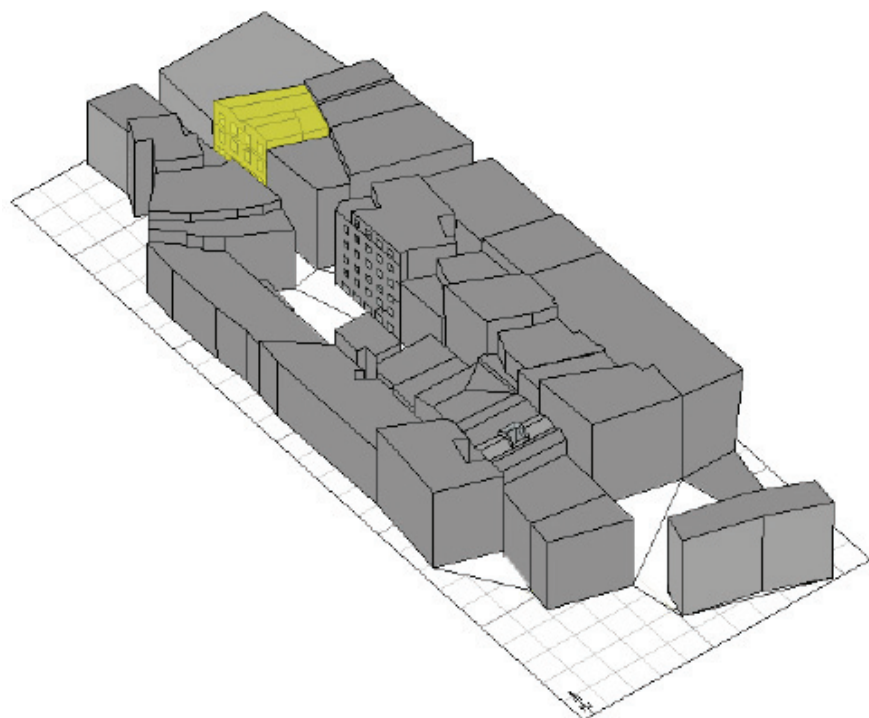
Fig. 121: Assonometrie solari dell'edificio sito in via Lamarmora 115 alle 14:00 del pomeriggio.

21 marzo

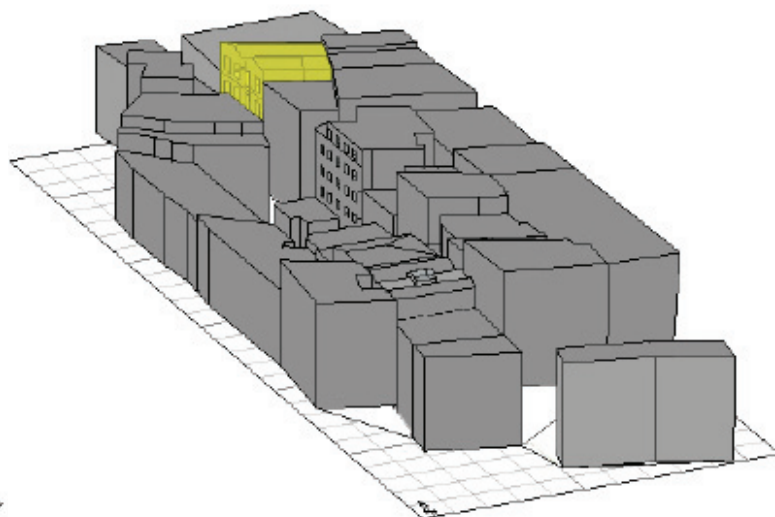
21 giugno



21 settembre



21 dicembre





### 3.2 La ricostruzione post bellica: l'abitazione sita in vico II Lamarmora 2

L'edificio presenta caratteristiche differenti rispetto ai precedenti, trattandosi di una costruzione relativamente recente, risalente ad un periodo compreso fra il 1960 e il 1970, secondo quanto testimoniato dalle foto aeree relative a quegli anni.

Trattandosi di una ricostruzione avvenuta a seguito dei danni causati dai bombardamenti sulla città in occasione della Seconda Guerra mondiale, presenta i caratteri costruttivi tipici del periodo, con solai realizzati in tecnica mista laterocementizia e tamponature in pietra cantone, come emerso in fase di indagine termografica. La fabbrica si articola su cinque piani serviti da un unico corpo scala centrale. È presente una piccola corte retrostante sulla quale si affaccia solo una parte delle unità abitative; l'edificio ha un doppio affaccio, su vico II Lamarmora e su via Lamarmora; tuttavia ciò non apporta notevoli benefici in termini di apporti solari per via delle ostruzioni presenti. La copertura è a terrazza, le finiture esterne in intonaco cementizio.

Fig. 122: Vico II Lamarmora 2, inquadramento all'interno del quartiere Castello.



## DATI GENERALI

Indirizzo	Vico II Lamarmora n° 2
Tipologia	Ricostruzione post-bellica
Anno di costruzione	1960/70
Destinazione urbanistica	Alloggi e attività commerciali

## CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E COSTRUTTIVE

Superficie	236 m <sup>2</sup>
Volume	4970 m <sup>3</sup>
n. piani	5 + sopraelevazione
Scheletro portante in c.a.	
Tamponature	Pietra cantone
Copertura	Tetto piano con terrazza praticabile
Finitura esterna	Intonaco di cemento

Fig. 123: Prospetto dell'edificio su via Lamarmora



Fig. 124: Prospetto dell'edificio all'incrocio fra via Lamarmora e vico II Lamarmora.



Fig. 125: Prospetto dell'edificio su vico II Lamarmora.





Fig. 126: Ricostruzioni post belliche riscontrate nel quartiere.



Fig. 127: Prospetto dell'edificio sito in vico II Lamarmora 2.

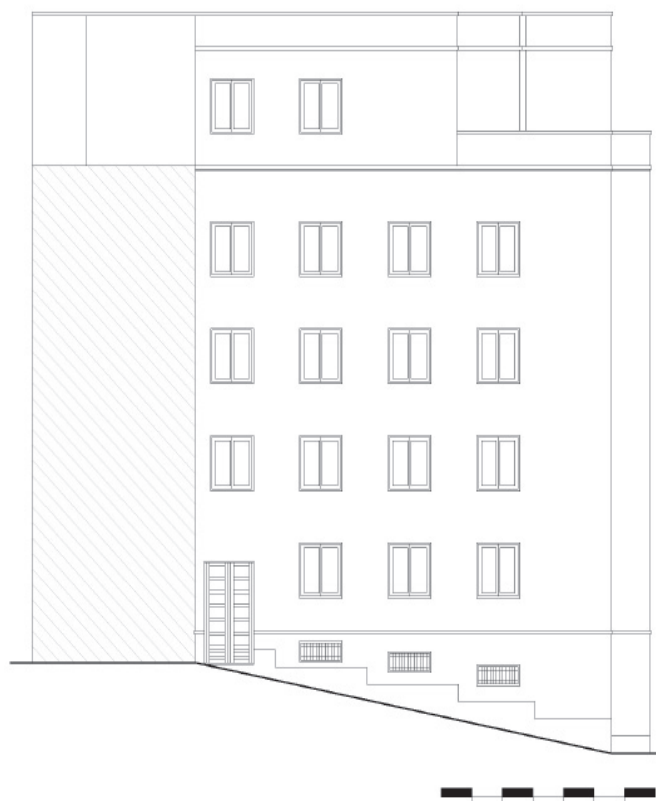


Fig. 128: Prospetto su via Lamarmora dell'edificio sito in vico II Lamarmora 2. Nel riquadro rosso è evidenziata l'unità abitativa analizzata.



Fig. 129: Pianta dell'edificio sito in vico II Lamarmora 2.

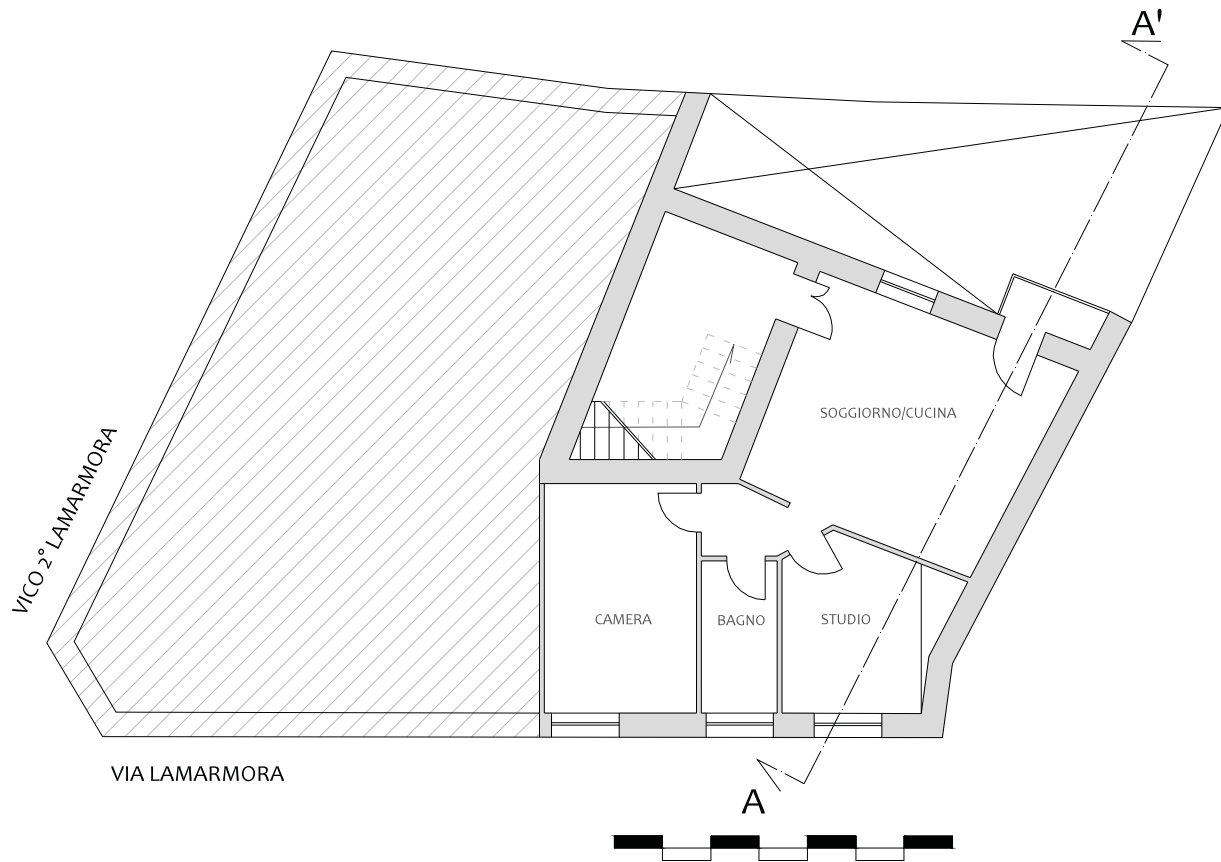


Fig. 130: Pianta delle coperture dell'edificio sito in vico II Lamarmora 2.

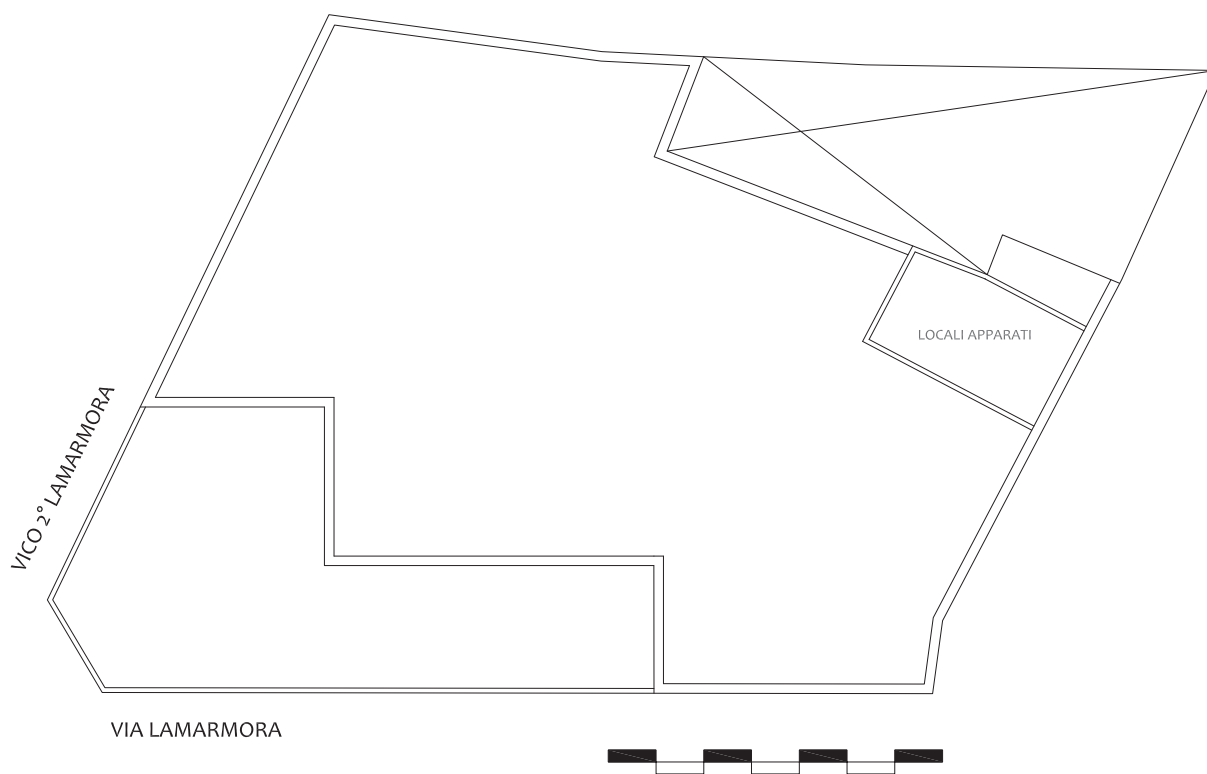


Fig. 131: Sezione dell'edificio sito in vico II Lamarmora 2.



## La prestazione energetica.

La fabbrica in oggetto, come precedentemente anticipato, si differenzia dalle precedenti quanto a epoca di realizzazione e tecniche costruttive adoperate<sup>63</sup>.

Beneficiando di un vuoto urbano derivante dai bombardamenti del secondo conflitto mondiale, l'edificio presenta un soleggiamento della facciata su via Lamarmora che, iniziando alle 12 e 30 circa, colpisce il prospetto fino al tramonto, durante tutto l'anno. Del tutto diversa risulta essere la situazione sul prospetto che si affaccia sullo stretto vico Il Lamarmora che, a causa delle ostruzioni circostanti, permane all'ombra per la quasi totalità delle ore diurne.

L'unità abitativa analizzata è situata al primo piano e si affaccia sul vuoto sopra citato tramite 3 finestre, realizzate con telaio metallico e vetro singolo, con tapparella esterna.

Le murature hanno uno spessore di 46 cm.

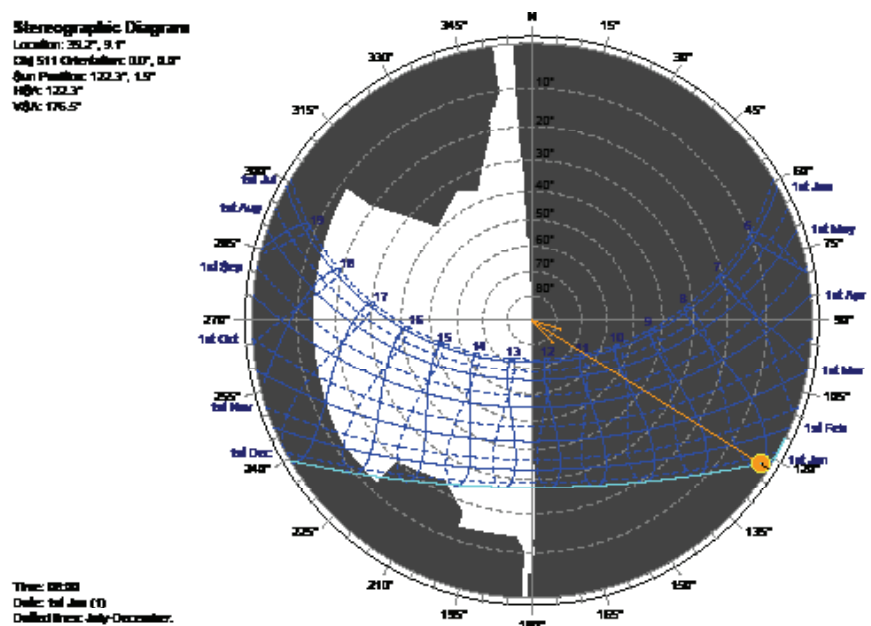
Non sono presenti impianti di riscaldamento condominiali, ma solamente un sistema di climatizzazione a

pompa di calore, direttamente regolabile dall'utente.

Tramite il calcolo del fabbisogno energetico sono stati stimati un consumo per il riscaldamento pari a 48,55 kWh/m<sup>2</sup>a e per la produzione di acqua calda sanitaria di 18,17 kWh/m<sup>2</sup>a, per 61 m<sup>2</sup> di superficie calpestabile.

63. Nonostante la ricerca di fonti documentarie attraverso i diversi archivi cittadini, non è stato possibile reperire notizie sull'edificio in questione. L'analisi conoscitiva e la restituzione grafica sono basate esclusivamente su una planimetria dell'unità residenziale analizzata e sul rilievo diretto.

Fig. 132: Diagramma solare e grafico della radiazione solare incidente su una finestra dell'abitazione oggetto di studio.



### Radiazione solare incidente

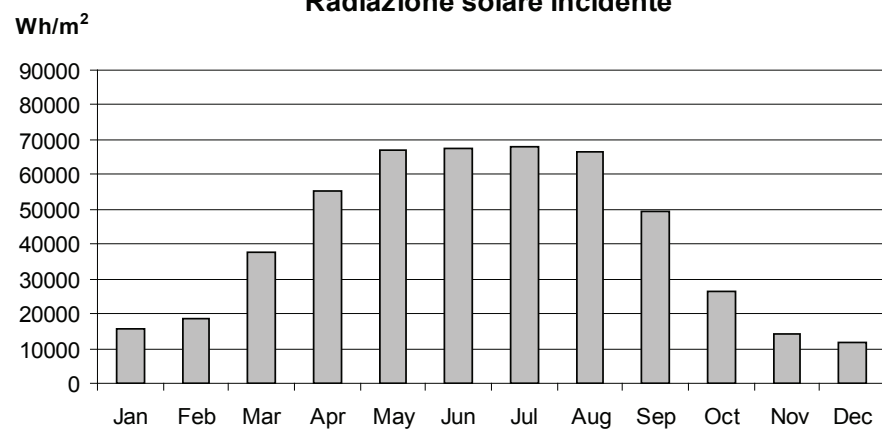
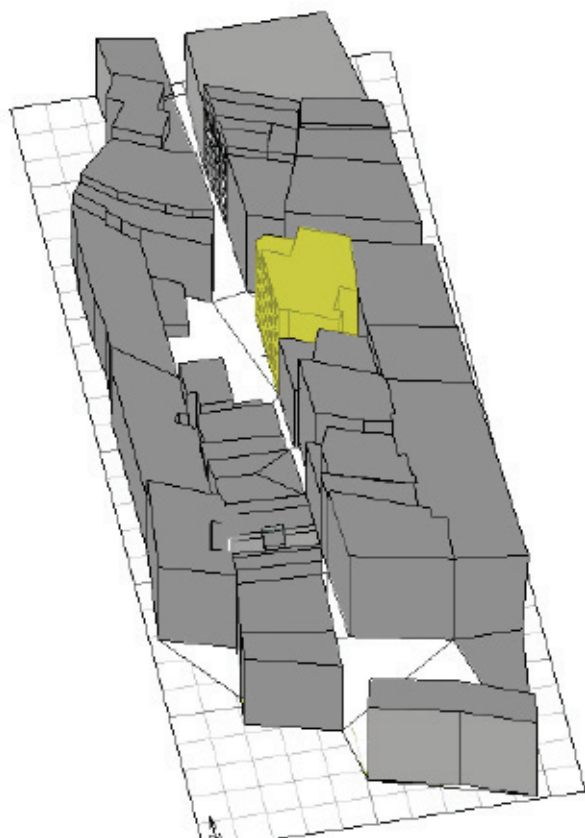
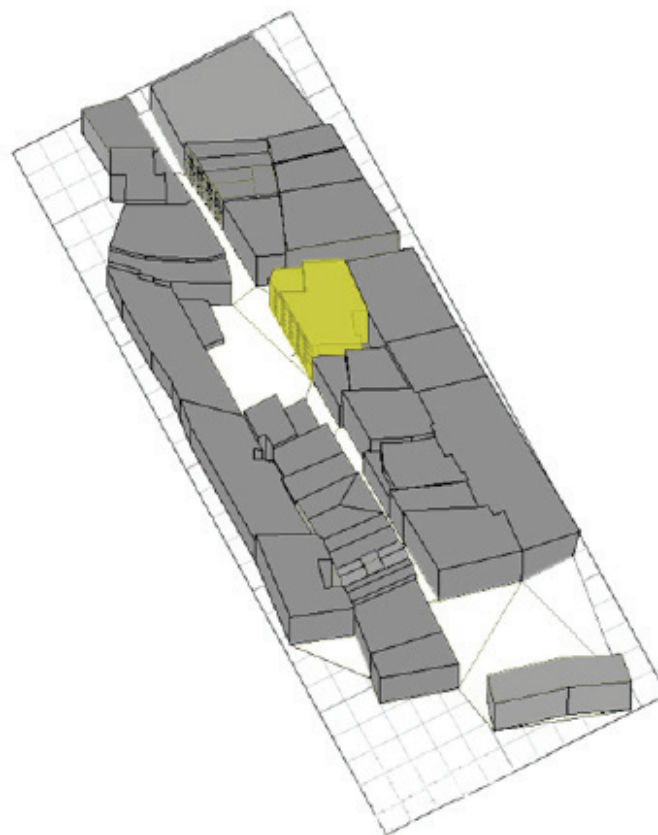


Fig. 133: Assonometrie solari dell'edificio sito in vico II Lamarmora alle 13:00.

21 marzo

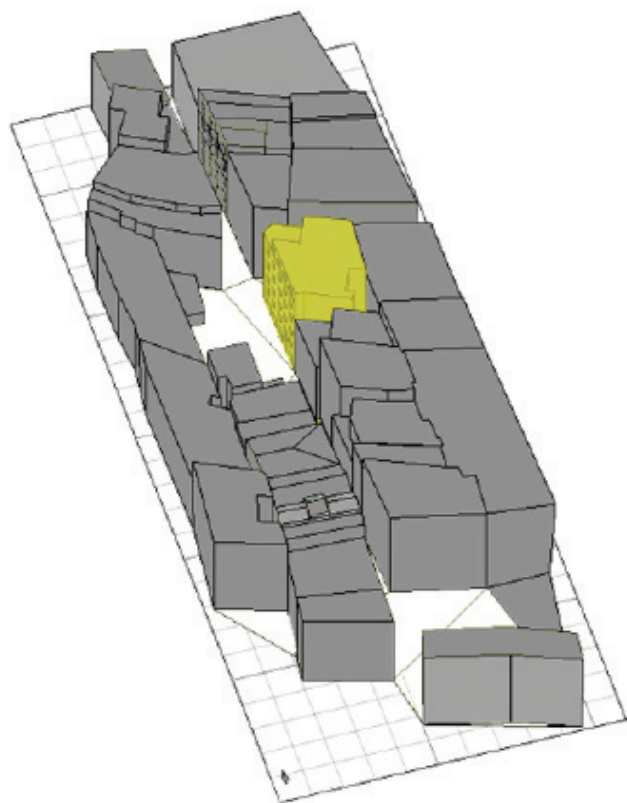


21 giugno





21 settembre



21 dicembre

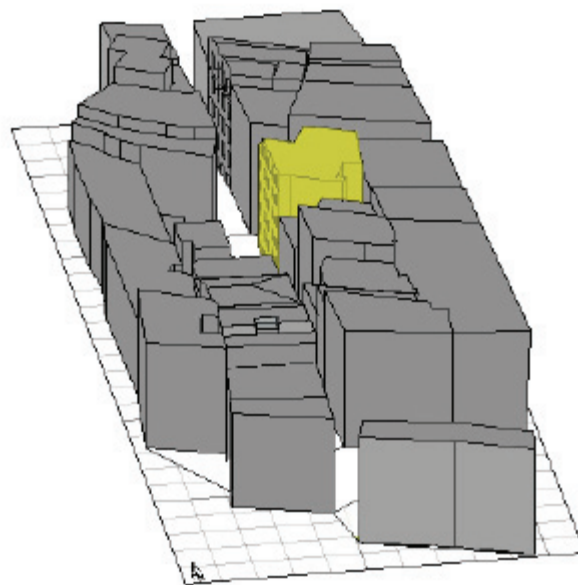


Fig. 134: Andamento della temperatura interna all'abitazione nell'arco di tempo rilevato (9 marzo 2012 ore 16:00/ 19 marzo 2012 ore 16:00).

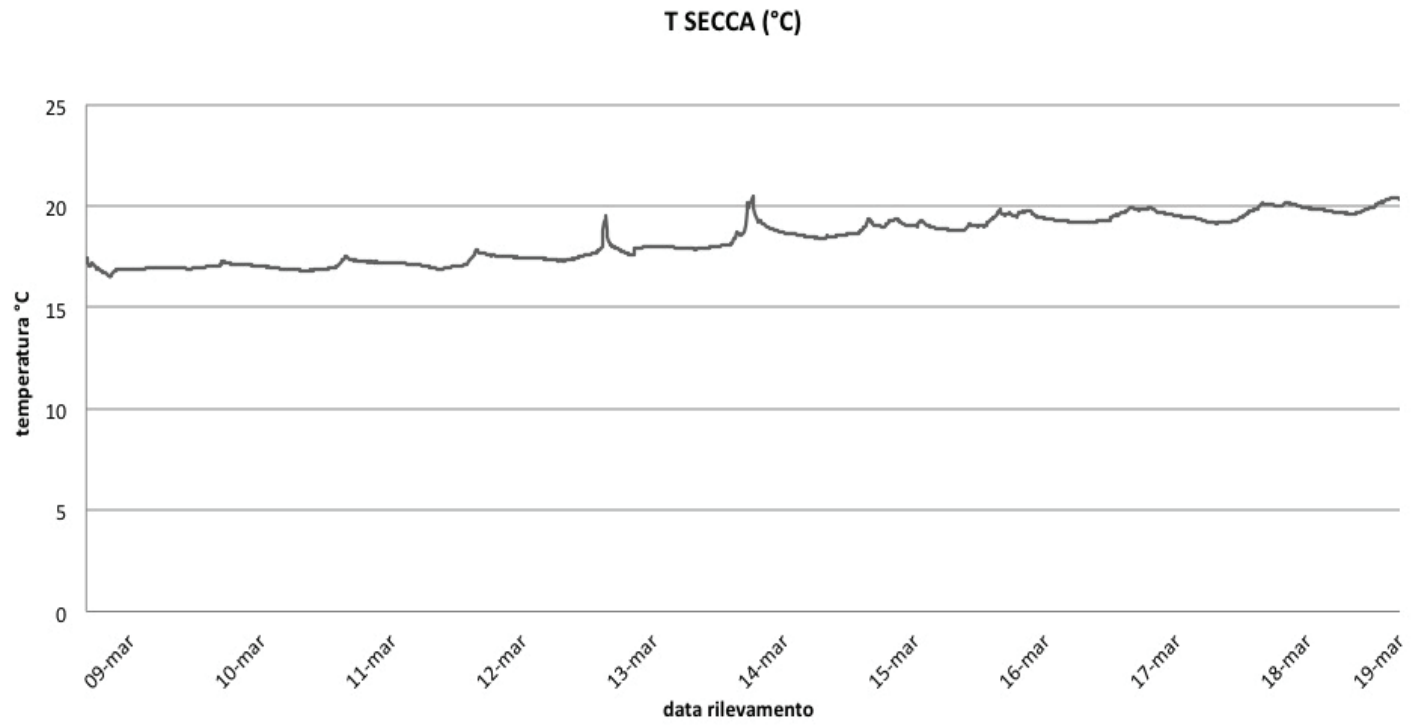
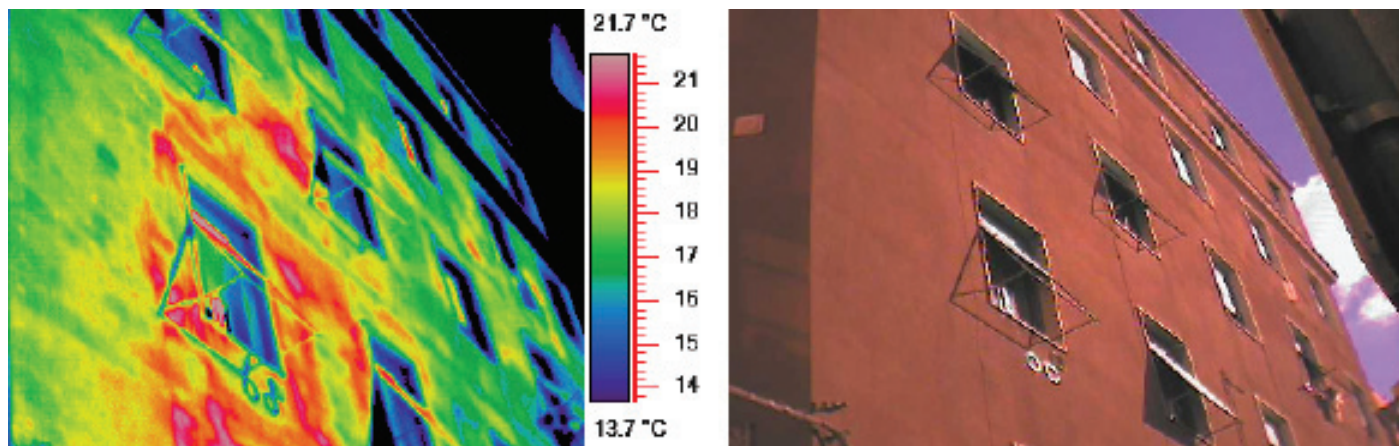


Fig. 135: Termografia del prospetto su via Lamarmora.





### 3.4 Gli interventi proposti e i risultati ottenuti

Nonostante le tipologie edilizie analizzate siano differenti, esse risultano accomunate dalle medesime criticità energetiche dovute alla difficoltà di soleggiamento delle facciate e all'assenza di isolamento dell'involucro. Tale somiglianza ha portato alla formulazione di analoghe ipotesi di intervento, utili a fornire delle indicazioni di massima facilmente applicabili a tutto il contesto costruito di Castello, pressoché omogeneo per quanto riguarda tali peculiarità.

Trattandosi di edifici non sottoposti a vincolo ma comunque ricadenti all'interno del nucleo storico di prima edificazione della città, essi risultano tutelati limitatamente all'aspetto esteriore, quindi ai prospetti.

Rimane tuttavia doveroso operare una riqualificazione capace di rispettare l'equilibrio statico della fabbrica nonché le sue caratteristiche spaziali e materiche.

I criteri adoperati nella scelta delle ipotesi di intervento hanno inoltre tenuto conto dei limiti di prestazione energetica imposti dalla vigente nor-

mativa e degli standard di comfort abitativo attualmente ritenuti ottimali. Per il fondamentale miglioramento delle *performance* dell'involucro si è quindi deciso di operare principalmente dall'interno, tramite la realizzazione di un cappotto isolante che, seppure non efficiente come quello esterno, limita sensibilmente la dispersione di calore attraverso le murature, configurandosi come intervento ottimale nei contesti tutelati caratterizzati da facciate decorate da fregi e modanature o profili su strada che non consentono ulteriori sporgenze. Spesso, inoltre, le murature storiche presentano irregolarità che rendono particolarmente difficile la realizzazione di un cappotto esterno che, aderendo perfettamente al supporto murario, richiede la presenza di murature perfettamente omogenee e rettilinee.

Le ipotesi avanzate nel presente lavoro prevedono l'impiego di materiali naturali ed ecologici che, pur assicurando ottime prestazioni, presentano una totale compatibilità con

il supporto materico.

La scelta è quindi ricaduta sui pannelli coibenti in lana di pecora, dimensionati in base alle diverse murature, che presentano una conduttività  $\gamma$  pari a 0,04 W/mK.

Gli interventi sulla facciata sono limitati alla realizzazione di un termointonaco a base di calce che, con  $\gamma$  uguale a 0,075, agisce in sinergia con l'isolamento interno, contribuendo a migliorare ulteriormente le caratteristiche termiche dell'involucro, senza alterare in alcun modo la facciata.

La sostituzione degli infissi si è mostrata indispensabile alla luce delle insufficienti prestazioni valutate per i serramenti attualmente in opera.

Si è quindi proposto l'impiego di infissi che mantengano i materiali tradizionali e il disegno del telaio originale, optando tuttavia sull'inserimento di una vetrocamera 4-16-4 con Argon.

Tenendo in considerazione la necessità di assicurare un costante ricambio d'aria all'interno dell'abitazione, indispensabile per scongiurare la formazione di fenomeni di condensa e umidità, risulta tuttavia consigliato l'inserimento, nello stesso telaio ligneo, di specifiche bocchette dotate di insonorizzazione e filtri per polvere e insetti che, tramite una diretta

regolazione da parte dell'utente, consentano il mantenimento del giusto grado di salubrità dell'aria.

Tale dispositivo consente inoltre di compensare, almeno parzialmente, l'effetto dato dal cappotto interno che, seppure particolarmente efficace durante la stagione fredda per trattenere il calore all'interno dell'abitazione, potrebbe risultare problematico durante i mesi caldi, impedendo al calore di fuoriuscire dall'abitazione anche durante la notte.

Un ulteriore accorgimento in grado di favorire la circolazione dell'aria senza ricorrere all'installazione di impianti di ventilazione meccanica controllata, invasivi poichè necessitano di canalizzazioni dedicate, risulta essere, senza dubbio, quello di ripristinare il flusso d'aria naturale generato dall'effetto camino sugli spazi originariamente aperti verso l'esterno.

Lo sfruttamento di tale tecnica bioclimatica di ventilazione, le cui tracce sono state riscontrate nel costruito storico del quartiere, è stata infatti, nel corso dei secoli, abbandonata a favore di una densificazione del costruito che ha portato alla saturazione delle piccole corti poste fra due unità contrapposte (con affaccio su due assi stradali paralleli) ma insistenti sullo stesso lotto gotico.

Fig. 136: Interventi proposti per l'abitazione sita in palazzo Floris Thorel.

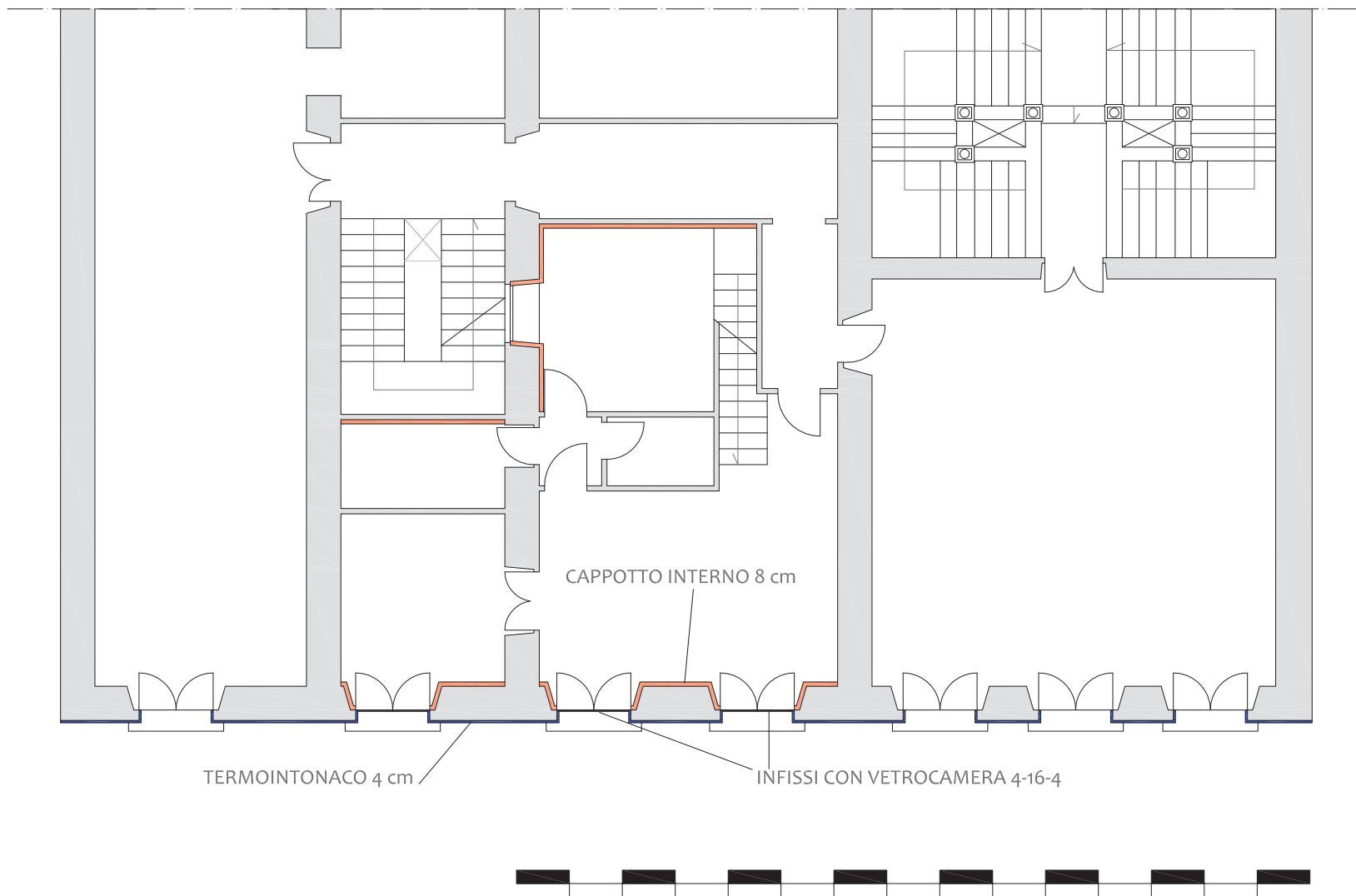


Fig. 137: Interventi proposti per l'abitazione sita in via Lamarmora 115.

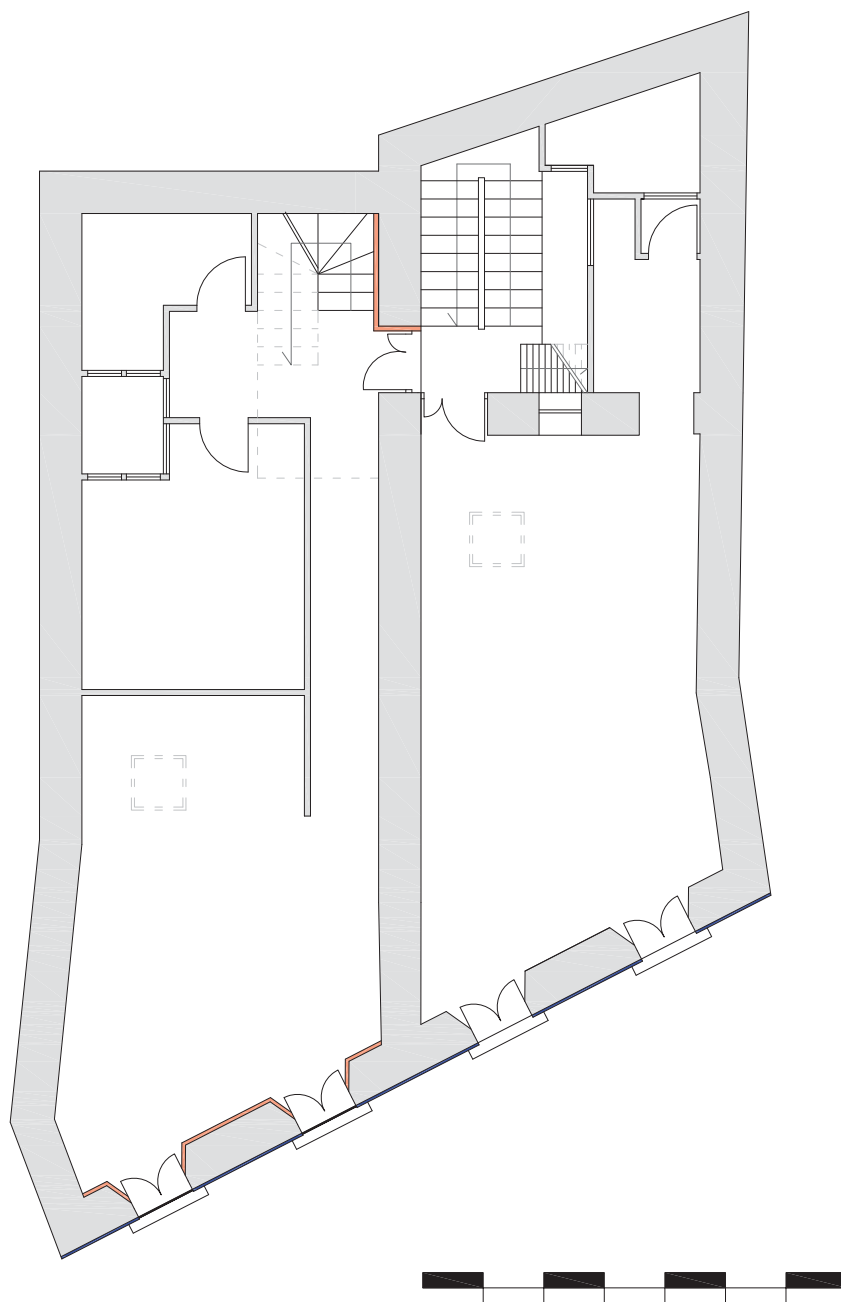
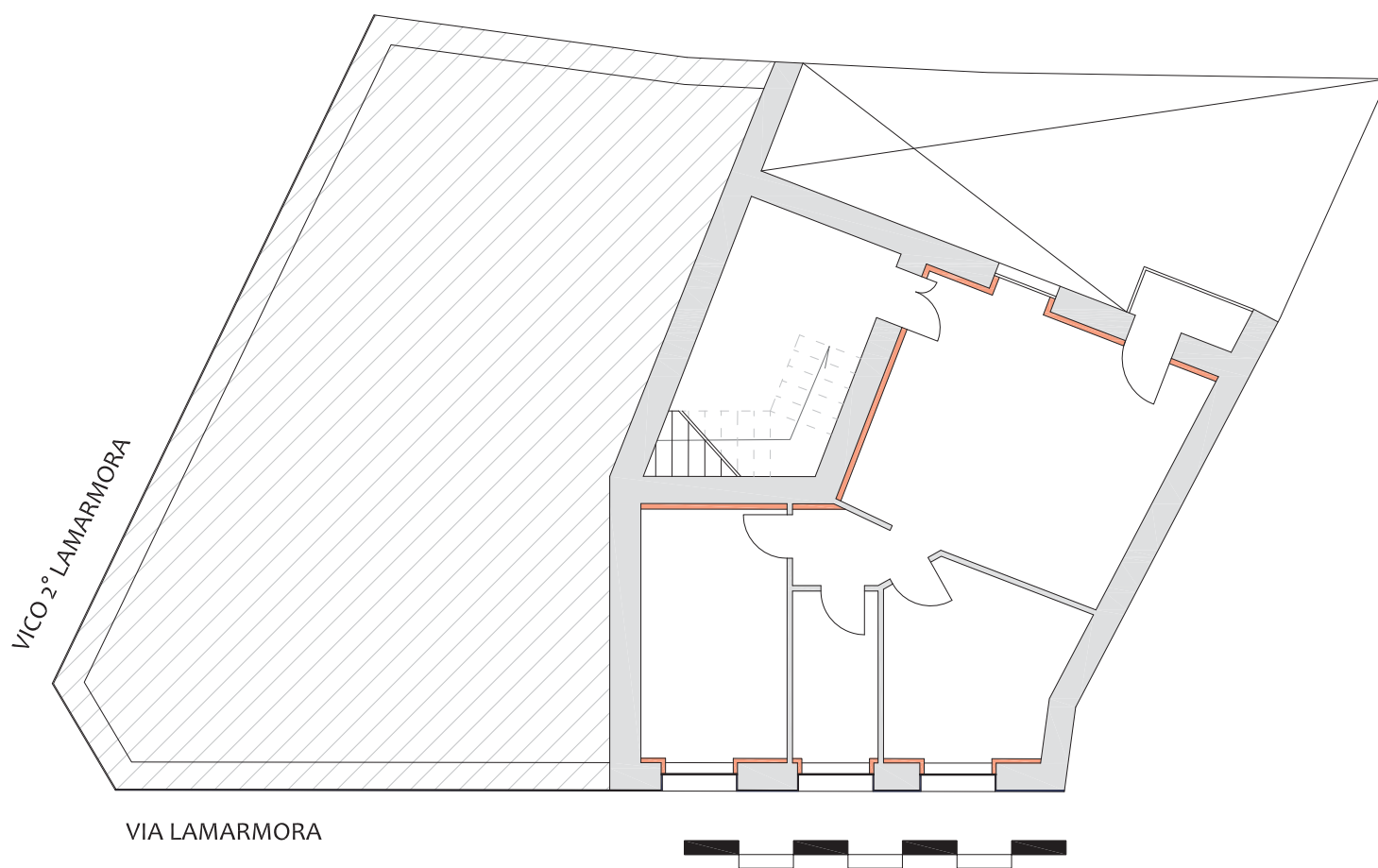


Fig. 138: Interventi proposti per l'abitazione sita in vico II Lamarmora.





I tre edifici analizzati, come tuttavia un gran numero delle fabbriche situate in Castello, offrono la possibilità di ripristinare la ventilazione naturale grazie allo sfruttamento dei pozzi luce posti sul vano scala (come nel caso di palazzo Floris Thorel e dell'edificio sito in via Lamarmora 115), o grazie alla presenza di un cavedio utilizzato a livello condominiale come deposito (in vico Il Lamarmora).

L'apertura controllata di tali spazi, ottenibile tramite specifici infissi facilmente regolabili dall'utente, potrebbe quindi favorire un flusso d'aria ascensionale capace di mitigare le calde temperature estive e assicurare un corretto ricambio d'aria, necessario alla salubrità degli ambienti.

Intervenire sull'involucro della fabbrica non risulta tuttavia sufficiente ad assicurare un adeguato livello di benessere abitativo; diventa quindi indispensabile integrare delle opportune tecnologie impiantistiche in grado di soddisfare le esigenze di comfort richieste dall'utente, nel pieno rispetto delle peculiarità caratteristiche dell'edificio.

Nello specifico si è scelto di intervenire in relazione agli impianti di riscaldamento e di produzione dell'acqua calda sanitaria, valutando con attenzione i macchinari in base alle loro

prestazioni, alla loro efficienza energetica e alla loro invasività rispetto alla fabbrica storica.

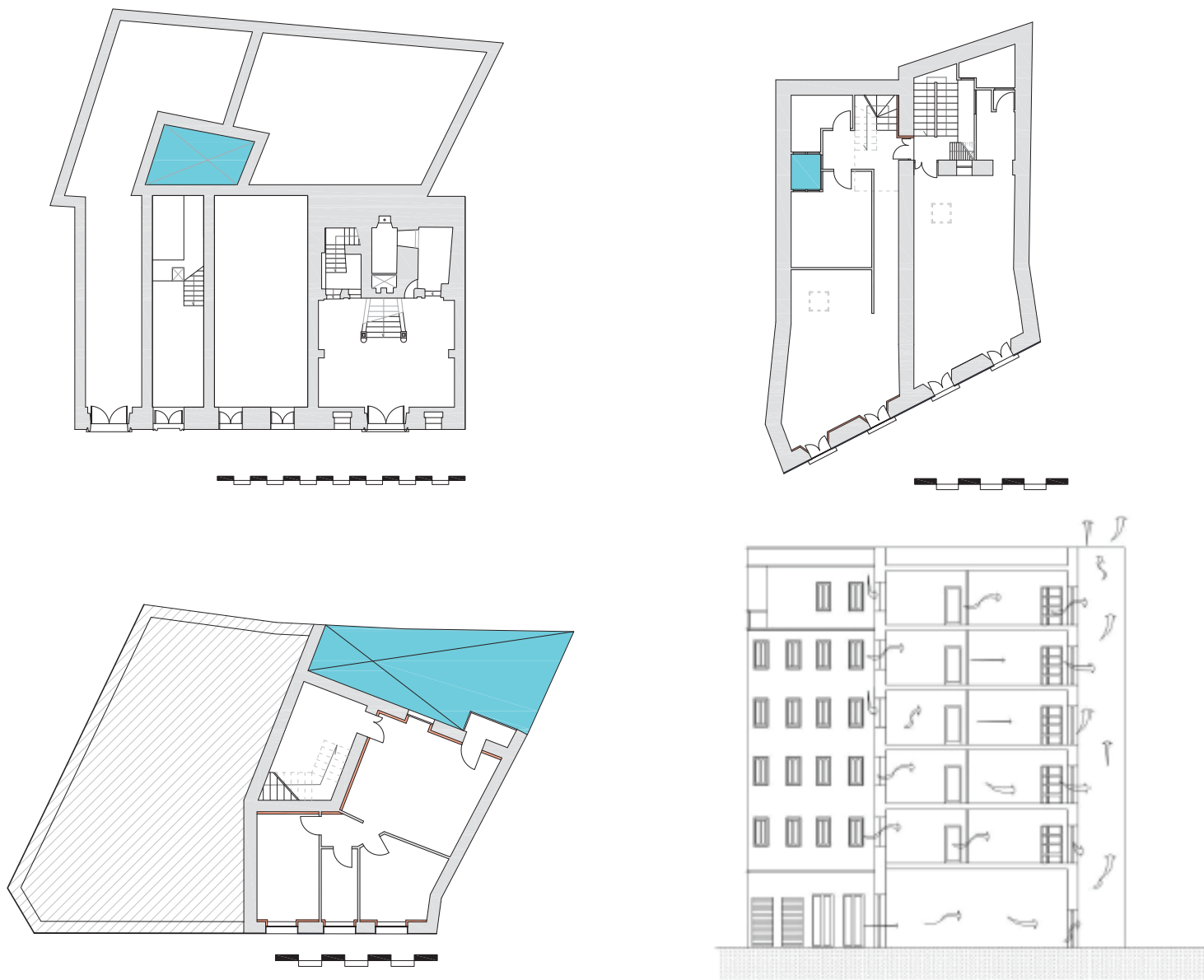
Il calcolo del fabbisogno energetico necessario per tali servizi ha consentito di operare una scelta in base alle effettive necessità derivanti dal comportamento termico dei diversi edifici analizzati.

Il criterio che ha guidato la scelta è stato sicuramente quello del minore impatto, sia estetico che statico, volto a limitare al massimo la visibilità all'esterno delle varie componenti impiantistiche nonché la riduzione di canalizzazioni e, quindi, demolizioni murarie.

La densità del tessuto edilizio del quartiere è risultata vincolante per quanto riguarda la scelta di macchinari da posizionare all'esterno, seppure in posizione non visibile, per via della necessità di limitare al massimo il rumore, portando quindi all'esclusione dell'utilizzo delle pompe di calore.

L'esigenza di installare impianti autonomi, quindi non centralizzati a livello condominiale, per via del gran numero di appartamenti disabitati presenti nel centro storico, ha inoltre indirizzato la scelta verso un sistema di produzione dell'acqua calda facilmente installabile all'interno delle

Fig. 139: Ipotesi di ripristino della ventilazione naturale nei tre edifici analizzati.



abitazioni, quindi caratterizzato da dimensioni ridotte e che non necessiti di serbatoi di accumulo o di stoccaggio del combustibile.

Si è quindi proposto l'utilizzo di un sistema a pavimento radiante a bassa temperatura per il riscaldamento, verificata la presenza di pavimentazioni non di pregio (comunque non originali), servito da una caldaia a condensazione alimentata con il gas derivante dalla rete cittadina, utilizzata anche per la produzione dell'acqua calda sanitaria.

Il confronto fra i dati relativi al fabbisogno energetico richiesto per il riscaldamento degli edifici analizzati, prima e dopo gli interventi proposti, ha messo in evidenza un rilevante miglioramento delle prestazioni in tutti e tre i casi.

Tab. 10: Tabelle riepilogative dei fabbisogni energetici prima e dopo gli interventi.

Riepilogo prestazioni energetiche prima dell'intervento		Riepilogo prestazioni energetiche dopo l'intervento di recupero	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	51,35	Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	21,97
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,63	Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,63
		Fabbisogno di energia primaria [kWh/m <sup>2</sup> a]	38,36

Riepilogo prestazioni energetiche prima dell'intervento		Riepilogo prestazioni energetiche dopo l'intervento di recupero	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	42,24	Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	16,89
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	17,31	Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	17,31
		Fabbisogno di energia primaria [kWh/m <sup>2</sup> a]	39,08

Riepilogo prestazioni energetiche prima dell'intervento		Riepilogo prestazioni energetiche dopo l'intervento di recupero	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	47,15	Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	8,33
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,17	Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,17
		Fabbisogno di energia primaria [kWh/m <sup>2</sup> a]	24,61

ABITAZIONE SITA IN  
PALAZZO FLORIS-THOREL

ABITAZIONE SITA IN  
VIA LAMARMORA 115

ABITAZIONE SITA IN  
VICO II LAMARMORA

Fig. 140: Grafico degli apporti e delle dispersioni nell'abitazione sita a palazzo Floris-Thorel.

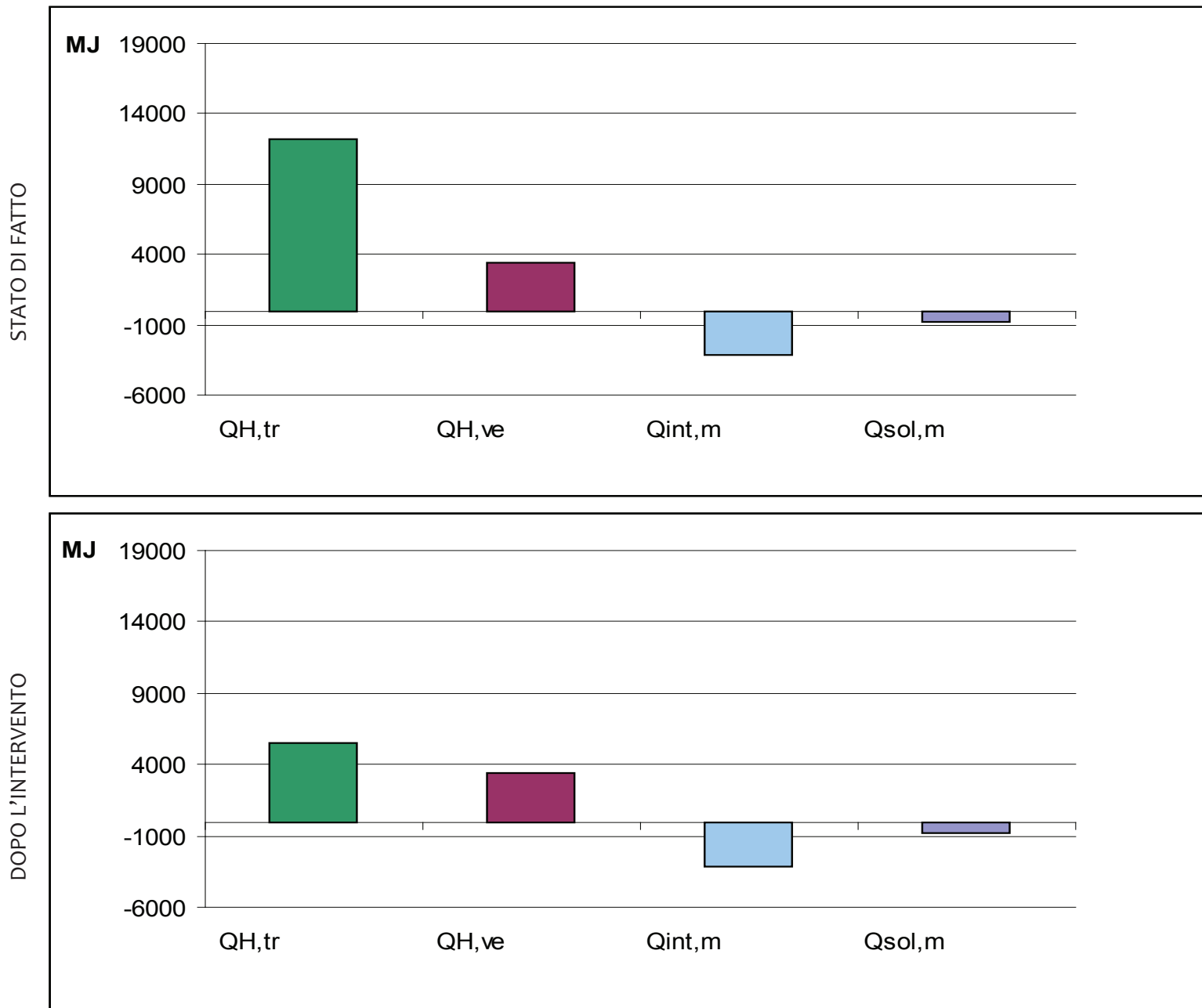


Fig. 141: Grafico degli apporti e delle dispersioni nell'abitazione sita in via Lamarmora 115.

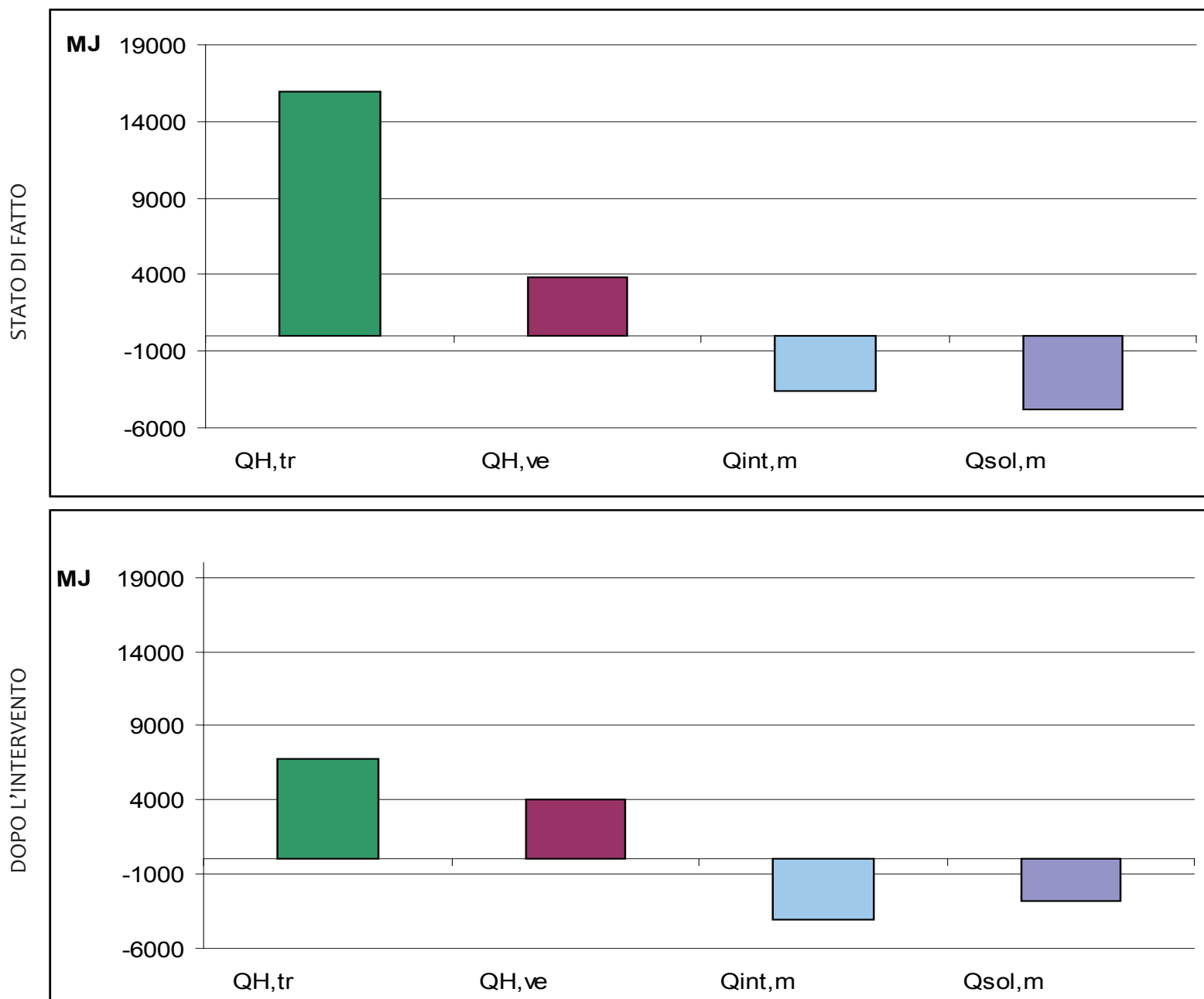


Fig. 142: Grafico degli apporti e delle dispersioni nell'abitazione sita in vico Il Lamarmora.













## Bibliografia

AA. VV., *Architettura di base*, Alinea Editrice, Firenze 2007.

AA. VV., *Cagliari quartieri storici Castello*, Cagliari 1985.

G. ANGIONI, A. SANNA, *L'architettura popolare in Italia - Sardegna*, Laterza, Bari 1996.

ANONIMO, *Descrizione dell'isola di Sardegna*, Manoscritti, libreria Ballero, n. 3.

F. ARTIZZU, *Documenti inediti relativi ai rapporti economici tra la Sardegna e Pisa nel medioevo*, Cedam, Padova 1961.

F. ARTIZZU, *Gli ordinamenti pisani per il porto di Cagliari*, Roma 1979.

O. BALDACCI, *La casa rurale in Sardegna*, Centro di Studi per la Geografia Etnologica, Firenze 1952.

C. BENEDETTI, *Manuale di architettura bioclimatica*, Maggioli, Rimini 1994.

R. BOBBIO, S. MUSSO, *Siena conservazione e trasformazione della città murata*, Legoprint, Genova 1990.

M. CADINU, *Cagliari forma e progetto della città storica*, Cagliari 2009.

M. CADINU, L. ZANINI in E. DE MINICIS E E. GUIDONI (a cura di), *Case e torri medievali*, Edizioni Kappa, Roma 1996.

M. CADINU, *Urbanistica medievale in Sardegna*, Roma 2001.

M. CADINU, *Wood structures in traditional random rubble wall construction in Cagliari*, in *Construction History, Proceedings of the First International Congress, Madrid, 20th -24th January 2003*, edited by Santiago Huerta, Instituto Juan de Herrera, COAM, Vol. I, pp. 453-460. ISBN 84-9728-071-7.

C. CAMPANELLA, *Nuovi impianti antichi edifici. Approccio al progetto impiantistico nell'esistente*, in "Recupero e Conservazione" n. 103 e 104 (2013), Edizioni Delettera.

- R. COPEZ (a cura di), *Architettura senza architetti*, Scuola Sarda, Cagliari 1994.
- F. D'AUSTRIA ESTE, *Descrizione della Sardegna (1812)*, Roma 1932.
- G. DALL'Ò, *Gli impianti nell'architettura e nel restauro*, UTET, Torino 2003.
- F. R. D'AMBROSIO ALFANO, *Il progetto e la misura del comfort termico*, atti del convegno *Oltre la certificazione energetica: progettazione e gestione del sistema edificio-impianto per ottimizzare il comfort e i consumi energetici reali*, AICARR, Bologna 2012.
- P. DAVOLI, *Il restauro energetico ambientale degli edifici storici. Un percorso progettuale tra antichi saperi, costruzioni tutelate e tecnologie innovative*, in "Recupero e conservazione", 90(2010).
- R. DE DEAR, G. BRAGER, D. COOPER, *Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*, ASHRAE RP- 884, marzo 1997.
- L. DE SANTOLI, *I sistemi impiantistici per il controllo del microclima negli edifici storici*, tratto da *Antincendio : la rivista italiana della prevenzione incendi e della protezione civile*, 58(2006), Gruppo EPC.
- ENGLISH HERITAGE BUILDING CONSERVATION E RESEARCH TEAM, *Building Regulations and Historic Buildings: Balancing the needs for energy conservation with those of building conservation, An Interim Guidance Note on the application of Part L*, Maggio 2002.
- C. FEIFFER, *Compatibilità tra conservazione e sostenibilità*, in "Recupero e conservazione", Ed. De Lettera, n. 87 e 88(2009), Milano.
- E. FRATEILI, A. COCITO, *Architettura e comfort. Il linguaggio architettonico degli impianti*, Clup di Città Studi, Milano 1991.
- P. GENNARI, *Itinerario litologico sardo*, Cagliari 1872.
- M. LE LANNOU, *Patres et paysans de la Sardeigne*, Arrault, Tours 1941.
- E. LUCCHI, V. PRACCHI (a cura di), *Efficienza energetica e patrimonio costruito. La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli Editore, Milano 2013.

- E. LUCCHI, *Tutela e valorizzazione. Diagnosi energetica e ambientale del patrimonio culturale*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna 2009.
- A. MAGRINI, L. CATTANI, L. MAGNANI, P. ZAMPIERO, *Prestazioni energetiche degli edifici residenziali*, EPC Libri, Roma 2009.
- F. MANCONI, *La società sarda in età spagnola*, Cagliari 2003.
- M.R. MARCHI, *Urbanistica in Sardegna, dalla legge “Salvacoste” al Testo Unico dell’edilizia*, Marchi Editrice Sarda, Cagliari 2005.
- S. MARTELLI, F. MASALA, A. ROMAGNINO, A. SANNA, *Cagliari alle soglie del Novecento*, Cagliari 1996.
- P. MELIS, *L’arte di costruire a Cagliari*, CUEC, Cagliari 1999.
- S. MUSSO, *Recupero e restauro degli edifici storici : guida pratica al rilievo e alla diagnostica*, EPC Libri, Roma 2010.
- S. MUSSO (diretto da), *Tecniche di restauro : aggiornamento*, UTET, Torino 2013.
- V. OLGYAY, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, F. Muzzio, Padova 1981.
- G. G. ORTU, A. SANNA (a cura di), *Atlante delle culture abitative e costruttive della Sardegna*, Regione Autonoma della Sardegna, Cagliari 2008.
- A. PASTA, *Ristrutturazioni ed impianti: l’impiantistica moderna nella ristrutturazione edilizia*, Kappa, Roma 1982.
- A. PASTA, *L’impiantistica nel recupero dei vecchi edifici*, in A. ABRIANI (a cura di), *Restauro architettonico e recupero edilizio*, Celid, Torino 1985.
- F. PIANEZZE, *L’obiettivo del miglioramento dell’efficienza energetica nel processo di conservazione del costruito storico*, tesi di dottorato in Progetto e tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali, Politecnico di Milano, XXIV ciclo, tutor S. DELLA TORRE, V. PRACCHI.
- A. SANNA (a cura di), *Architetture in terra: tipologia, tecnologia, progetto*, CUEC, Cagliari 1993 .

A. SANNA, *Caratteri tipologici e costruttivi dell'architettura tradizionale della Sardegna. Materiali per un manuale del recupero*, Cuccu, Cagliari 1992.

A. SANNA, *La casa*, in A. ASOLE (a cura di), *Il territorio, la natura, l'uomo*, Pizzi, Cinisello Balsamo 1989, pp. 166-178.

F. SARTOGO, M. BASTIANI, *Manuale metodologico per il recupero della struttura bioclimatica della città storica di Perugia*, Edizioni Guerra, Perugia 1998.

D. SCANO, *Forma Kalaris*, rist. anastatica ed. Cagliari 1934.

M. SCHIRRU, *Palazzi e dimore signorili nella Sardegna del XVIII secolo*, tesi di dottorato, XX ciclo, Università degli Studi di Cagliari, tutor prof. G. CAVALLO, settore disciplinare ICAR18.

B. P. TORSELLO, S. MUSSO, *Tecniche di restauro architettonico*, UTET, Torino 2003.

G. TODDE, *Strutture abitative a Cagliari dal Quattrocento al Seicento*, in *La famiglia e la vita quotidiana in Europa dal '400 al '600*, Roma 1986.

M. VALDES, *Disposizioni legislative sull'edilizia a Cagliari nel '600 e nel '700*, Napoli 1984.

U. WIENKE, *Aria calore luce. Il comfort ambientale negli edifici*, DeI, Roma 2005.

U. WIENKE, *Manuale di bioedilizia*, DeI, Roma 2004.







## CONCLUSIONI



## Conclusioni

Partendo dalla stringente necessità di ridurre i consumi energetici dovuti all'uso dell'edilizia storica, la ricerca condotta ha messo in evidenza le criticità d'approccio tuttora esistenti fra conservazione e riqualificazione energetica del patrimonio architettonico.

Il relativo contesto si presenta infatti come ancora non completamente maturo e perlopiù fondato su una visione prettamente economica del recupero, ben lontana dal considerare il valore culturale del bene come risorsa non rinnovabile. Al contrario, qualsiasi intervento volto a promuovere l'uso di un bene e quindi, di conseguenza, a conservarlo si configura a pieno come un atto di sostenibilità, in linea con la necessità di soddisfare i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri, come riportato nel Rapporto Brundtland.

Approcciarsi al recupero energetico del costruito secondo tale ottica consente, quindi, di operare inter-

venti sostenibili validi sia per quanto riguarda il presente, consentendo la fruizione del patrimonio culturale e la conservazione della sua testimonianza storica, sia in una prospettiva futura di trasmissione delle risorse ambientali (energetiche e di suolo).

L'approfondimento delle iniziative, a livello europeo, di riqualificazione del costruito portate avanti negli ultimi anni ha messo in evidenza la necessità di operare a partire da una solida base di conoscenza dell'edificio e dei condizionamenti ambientali che il contesto apporta su di esso.

In particolare per quanto riguarda il recupero del patrimonio storico, viene data nuova attenzione allo studio e alla riscoperta delle culture costruttive e degli accorgimenti bioclimatiche tradizionali.

Lo studio di tali tecniche, esteso all'ambito del bacino del Mediterraneo, ha portato alla comprensione di quali siano effettivamente le criticità ambientali cui far fronte nei diversi contesti geografici, e quali siano gli accorgimenti più validi per contra-

starle.

Sulla base di tali osservazioni è stato possibile osservare il costruito tradizionale, con particolare riferimento a quello locale, secondo una nuova ottica che vede l'edificio storico come modello progettuale, testimone della possibilità di interagire con il contesto climatico nel quale si trova e dal quale attingere validi suggerimenti per la riproposizione "attualizzata" di alcune tecniche che potrebbero consentire un miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio, con una conseguente riduzione delle tecnologie impiantistiche utilizzate per la climatizzazione.

Lo studio del comportamento termico delle fabbriche storiche ha infatti messo in evidenza come sia oggi indispensabile, per cercare di raggiungere gli standard di comfort attuali, fare uso di opportuni impianti di riscaldamento, raffrescamento e trattamento dell'aria, originariamente non presenti nel costruito preindustriale.

Le caratteristiche costruttive e materiche degli edifici storici, realizzati per soddisfare esigenze abitative diverse da quelle odierne, forniscono infatti prestazioni termoigrometriche lontane da quelle considerate oggi fondamentali per la loro fruizione.

Questo a causa di fenomeni di di-

scomfort locale dovuti ad un involucro non coibentato particolarmente permeabile al passaggio del calore, alla presenza di umidità, ponti termici e infissi non a tenuta d'aria, nonché alla presenza di sistemi di riscaldamento rappresentati, quasi esclusivamente, da singole sorgenti di calore, quali camini o stufe, non sufficienti al raggiungimento di una temperatura confortevole e omogenea all'interno dell'ambiente.

Lo studio comparato fra antiche e nuove tecnologie impiantistiche ha tuttavia messo in luce le criticità derivanti dall'innervamento impiantistico di una fabbrica storica, vulnerabile sia sotto il profilo estetico che sotto quello statico.

Se, infatti, in una nuova costruzione la progettazione degli elementi impiantistici va di pari passo con quella architettonica, nel caso di riadeguamento di un vecchio edificio diventa spesso difficoltoso inserire nuovi elementi tecnologici, del tutto estranei alla fabbrica.

L'installazione di nuovi macchinari nonché la realizzazione (o sostituzione) di impianti elettrici e idrico-sanitari, richiede infatti, necessariamente, appositi spazi nei quali far passare tubi e cavi. Qualora però non sia possibile sfruttare i cavedi e i condotti

già presenti, è compito del progettista cercare la soluzione strutturalmente e visivamente meno invasiva. Per ottenere tale obiettivo, in merito alla climatizzazione degli ambienti, si è evidenziato come risulti particolarmente utile agire su diversi fronti, il primo dei quali deve essere l'involucro. Dopo aver analizzato le criticità di quest'ultimo, sotto il profilo termo-igrometrico, risulta infatti evidente come agire su di esso, coibentandolo ed eliminando l'eventuale umidità presente nelle murature, possa migliorare le condizioni microclimatiche interne e avere come conseguenza un ridimensionamento della potenza degli impianti di riscaldamento e raffrescamento e quindi, conseguentemente, una diminuzione nella dimensione delle macchine e delle relative condotte.

Come evidenziato nel presente lavoro, la necessità di migliorare le prestazioni dell'esistente per limitare i consumi energetici e favorire il benessere degli abitanti, si scontra tuttavia con una carenza normativa che, come visto, affronta tale problematica in maniera semplicistica e lontana dai temi del restauro.

La disamina dell'articolato corpo legislativo inerente il risparmio energetico ha messo in evidenza come le

indicazioni fornite dal legislatore siano frammentate all'interno di diverse norme, risultando spesso poco chiare e suscettibili di continui aggiornamenti. La definizione di requisiti sempre più stringenti e perlopiù pensati per edifici di nuova realizzazione rende poi, di fatto, problematico applicare le norme alle architetture storiche. La scarsa attenzione riposta dal legislatore nei confronti di queste ultime risulta inoltre evidente dalla superficialità con cui viene trattato lo spinoso tema della deroga, resa automatica dal decreto 63/2013, salvo poi diventare, pochi mesi dopo, soggetta al parere vincolante della Soprintendenza.

L'approccio normativo portato avanti a partire dal recepimento della Direttiva 2002/91/CE, non riesce inoltre a cogliere la visione sistemica edificio-impianto prospettata dalla stessa direttiva, focalizzandosi sul miglioramento delle prestazioni dei singoli elementi. Tale visione parziale, che non considera il comportamento globale dell'edificio, spesso comporta interventi invasivi o drastiche sostituzioni con elementi più performanti, colpevoli di snaturare il carattere testimoniale del bene.

Un ulteriore punto critico evidenziato nel presente studio riguarda la

differenziazione degli interventi che, anziché tener conto del valore storico-culturale del bene, basano la loro applicazione esclusivamente in relazione alla dimensione degli interventi da effettuare; l'introduzione della deroga per gli edifici sottoposti a vincolo ha, poi, annullato la possibilità di graduare gli interventi per un'ampia fetta del patrimonio architettonico mentre, con tutta probabilità, sarebbe stato sufficiente prevedere una regolamentazione degli interventi, rendendoli facilmente adattabili alla varietà dei casi reali. Il ricorso alla possibilità di andare in deroga ai limiti imposti ha quindi favorito, di fatto, l'immobilismo di una cospicua parte del costruito storico che, non assicurando il soddisfacimento degli attuali requisiti di comfort, è destinata ad essere rimpiazzata da edifici nuovi e più performanti.

Le considerazioni scaturite dalla prima parte della ricerca hanno rappresentato la base conoscitiva da cui partire per affrontare la problematica della riqualificazione energetica del costruito tradizionale del centro storico della città di Cagliari.

La ricostruzione delle vicende storiche e dell'evoluzione morfologica del quartiere Castello, nucleo storico di primo insediamento, ha fornito le

informazioni necessarie all'analisi del costruito e del suo rapporto col sito, consentendo di evidenziarne le criticità ambientali.

La scelta di analizzare tre edifici caratterizzati da differenti tipologie costruttive (palazzotto, casa a schiera e ricostruzione post bellica), considerate rappresentative dell'edilizia abitativa non monumentale del quartiere, ha permesso poi di individuare dei punti di forza e di debolezza facilmente estendibili al resto del costruito, in relazione sia all'orientamento e alle criticità di esposizione, sia alle caratteristiche delle tecniche costruttive e dei materiali utilizzati.

L'analisi ambientale, supportata dall'utilizzo di uno specifico software di simulazione, ha infatti consentito di quantificare l'incidenza degli apporti solari sull'intero bilancio termico degli edifici in oggetto, facendo emergere la loro esiguità, a causa della conformazione particolarmente densa del tessuto urbano circostante.

Il calcolo del fabbisogno energetico necessario per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria ha infine consentito di individuare le criticità cui porre rimedio tramite una serie di interventi, sia di tipo attivo che passivo, capaci di migliorare

le prestazioni della fabbrica nel pieno rispetto del suo valore storico-culturale.

Senza scendere nel dettaglio tecnico dell'applicazione delle soluzioni prospettate, il presente lavoro fornisce delle indicazioni metodologiche su come affrontare l'intervento di recupero del bene storico, fondate su un quadro di conoscenze che va dalla ricostruzione dell'evoluzione morfologica del contesto urbano alla comprensione dei condizionamenti climatici del sito, fino all'analisi energetica della singola fabbrica.

Il risultato o finale è quindi quello di fornire delle indicazioni che, seppure studiate in base alle caratteristiche dei diversi casi studio, possano venire replicate all'interno dello stesso contesto (a livello di quartiere ma anche di intero centro storico cittadino), una volta riscontrate delle matrici comuni relative alle caratteristiche ambientali, alle tecniche costruttive e ai materiali utilizzati.

Questo modo di operare, pur evitando quella standardizzazione degli interventi in qualche modo favorita dalla normativa sul risparmio energetico, grazie all'indicazione di una serie di interventi applicabili a edifici simili supera il criterio del "caso per caso" che vede ogni fabbrica storica

come unica e del tutto differente dalle altre, sulla quale ogni intervento diventa suscettibile del giudizio soggettivo del tecnico deputato al rilascio dell'autorizzazione, diventando spesso oggetto di deroga.

Al contrario, definire un quadro operativo generale, completo di un ventaglio di indicazioni compatibili per diverse tipologie costruttive, caratterizzate da elementi comuni, potrebbe scongiurare il ricorso immotivato allo strumento della deroga.

Una possibile evoluzione della ricerca potrebbe quindi riguardare l'individuazione di linee guida specifiche per le tipologie costruttive tradizionali nei diversi contesti geografici regionali, che tengano presente i condizionamenti climatici del sito e che si fondino su una accurata conoscenza delle tecniche costruttive e dei materiali utilizzati per l'edificazione.









**APPENDICE:  
FOGLI DI CALCOLO**



## **Dati climatici della città di Cagliari**



Dati Climatici	
Città	Cagliari
Gradi giorno	990
Zona climatica	C
Temperatura esterna di progetto	3

Valori medi mensili della temperatura esterna [UNI10349]												
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
$Q_e$ [°C]	10,3	10,8	12,8	15,1	18,4	22,9	25,5	25,5	23,3	19,4	15,5	11,7
Giorni di funzionamento impianto di riscaldamento [t]												
Zona climatica	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
C	31	28	31	0	0	0	0	0	0	0	16	31

Durata della stagione di riscaldamento		
Climatizzazione invernale		
Zona climatica	inizio	fine
C	15-nov	31-mar

Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento	
$Q_{int,set,H}$ [°C]	20





**Abitazione sita in palazzo Floris-Thorel**



## Lo stato di fatto

Dati Generali	
Indirizzo	Via Lamarmora 90-96
Comune	Cagliari
Anno di costruzione	1700 circa
Destinazione d'uso	Residenziale

Caratteristiche tipologiche dell'edificio		
numero di piano fuori terra	/	4
numero di piano interrati	/	1
altezza media piano	[m]	5,5
volume lordo climatizzato	$V_l$ [m <sup>3</sup> ]	377,3
volume netto climatizzato	$V$ [m <sup>3</sup> ]	354,2
superficie utile di pavimento	$A_f$ [m <sup>2</sup> ]	63
superficie finestrata	$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	13,65

ZONA TERMICA 1	Dati generali	
	Dato	Valore
Proprietà geometriche	A [m <sup>2</sup> ]	77
	A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ]	65,72
	V <sub>i</sub> [m <sup>3</sup> ]	377,3
	V [m <sup>3</sup> ]	354,2
	H <sub>f</sub> [m]	4,6
	H <sub>i</sub> [m]	4,9

ZONA TERMICA 1	Dati calcolati			
	Dato	Valore	Dato	Valore
Parametri termici della zona	F <sub>cielo</sub> [W]	75,31	q <sub>ve,mn</sub> [m <sup>3</sup> /h]	106,26
	H <sub>D</sub> [W/K]	97,23	b <sub>tr,x</sub>	0,4
	H <sub>g</sub> [W/K]	0,00	b <sub>ve,k</sub>	1
	H <sub>U</sub> [W/K]	21,50	q <sub>ve,k</sub> [vol/h]	0,3
	H <sub>A</sub> [W/K]	0,00	C <sub>m</sub> [J/K]	30911100
	H <sub>tr,adj</sub> [W/K]	118,74	r <sub>a</sub> *c <sub>a</sub> [J/(m <sup>3</sup> K)]	1200
	H <sub>ve,adj</sub> [W/K]	35,42	τ [h]	55698,89

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{D,i}$	
Area A al netto dei serramenti	29,54
Trasmittanza parete	1,61
Maggiorazione ponte termico 5%	1,05
$H_D = U_i * F_{pt} * A$	49,94

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{D,serr}$	
Area serramenti	13,65
Trasmittanza serramento	3,3
Maggiorazione ponte termico 5%	1,05
$H_D = U_i * F_{pt} * A$	47,30

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{iu}$	
Area A	31,8
Trasmittanza parete	1,61
Maggiorazione ponte termico 5%	1,05
$H_{iu} = U_i * F_{pt} * A$	53,76

Extra flusso verso la volta celeste	
Pareti esterne	
Area pareti $A_i$	29,54
$F_r$ correzione	0,50
$A_{i,c} = A_i * F_r$	14,77
Resistenza superficiale $R_{se}$	0,04
Trasmittanza	1,61
$h_r = 5 * \varepsilon = 5 * 0,9$	4,5
$D_{Qer} = 11K$	11
$F_{cielo} = R_{se} * U_i * A_{i,c} * h_r * D_{Qer}$	47,08
Superfici vetrate	
Area $A_i$	13,65
$F_r$ correzione	0,32
$A_{i,c} = A_i * F_r$	4,37
Resistenza superficiale $R_{se}$	0,04
Trasmittanza	3,3
$h_r = 5 * \varepsilon = 5 * 0,89$	4,45
$D_{Qer} = 11K$	11
$F_{cielo} = R_{se} * U_i * A_{i,c} * h_r * D_{Qer}$	28,22

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso l'esterno				
Parete 1	Trasmittanza	1,23 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	blocco di pietra	0,6	1	0,60
3	intonaco di calce	0,02	0,87	0,02

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso il vano scala				
Parete 2	Trasmittanza	1,23 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	blocco di pietra	0,6	1	0,60
3	intonaco di calce	0,02	0,87	0,02

COMPOSIZIONE COMPONENTI VETRATE				
	Trasmittanza	3,30 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]

Resistenze termiche superficiali [m <sup>2</sup> K/W]			
	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R <sub>si</sub>	0,10	0,13	0,17
R <sub>se</sub>	0,04	0,04	0,04

ELEMENTO TRASPARENTE														
DEFINIZIONE		AMB. CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	b <sub>tr</sub>	A <sub>w</sub> [m <sup>2</sup> ]	F <sub>w</sub>	A <sub>sol,w</sub> [m <sup>2</sup> ]	F <sub>F</sub>	F <sub>sh,gl</sub>	F <sub>r</sub>	U <sub>w</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>w+shut</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	g <sub>gl,in</sub>	g <sub>gl</sub>	e
1	porta finestra	esterno	0,6	13,65	0,9	6,68	0,2	1	0,32	3,3		0,8	0,72	0,89
Irradianza solare globale media mensile diretta I <sub>sol,h</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		18,69	24,18	36,85	40,77	53,67	60,44	56,32	45,39	32,59	21,36	7,78	13,73	
Φ <sub>sol,k</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		124,94	161,60	246,29	272,47	358,67	403,95	376,40	303,36	217,78	142,74	51,98	91,74	

ELEMENTO OPACO CONFINANTE VERSO L'ESTERNO														
DEFINIZIONE		AMB. CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	b <sub>tr</sub>	A <sub>c</sub> [m <sup>2</sup> ]		A <sub>sol</sub> [m <sup>2</sup> ]		F <sub>sh,ob,k</sub>	F <sub>r</sub>	U <sub>c</sub> [W/m <sup>2</sup> K]		a <sub>sol,c</sub>		e
1	facciata	esterno	0,60	29,54		0,87			0,32	1,23		0,60		0,90
Irradianza solare globale media mensile diretta I <sub>sol,h</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		18,69	24,18	36,85	40,77	53,67	60,44	56,32	45,39	32,59	21,36	7,78	13,73	
Φ <sub>sol,k</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		16,24	21,01	32,02	35,42	46,63	52,52	48,94	39,44	28,31	18,56	6,76	11,93	

Apporti interni F <sub>int</sub> [W]	Af ≤ 170m <sup>2</sup>
A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ]	63
A <sub>f</sub> <sup>2</sup>	3969
Φ <sub>int</sub> = 5,294 * A <sub>f</sub> - 0,01557 * A <sub>f</sub> <sup>2</sup>	271,72

		DEFINIZIONE ZONA TERMICA																
		n°	Descrizione															
		1	secondo piano															
		Dato richiesto	Mese												TOTALE			
			Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic				
$\tau$ [h]	55,70	t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	2,68	11,75			
	0,0864	$Q_{H,tr}$ [MJ]	3286,57	2824,89	2491,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	790,08	2841,33	12234,36			
		$Q_{H,ve}$ [MJ]	920,23	788,33	683,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	206,57	787,41	3385,60			
$Q_{int,set,H}$ [°C]	20	$Q_{H,ht}$ [MJ]	4206,80	3613,22	3174,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	996,65	3628,74	15619,96			
		$Q_{int,m}$ [MJ]	727,79	657,36	727,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	352,16	727,79	3192,87			
		$Q_{sol,m}$ [MJ]	141,18	182,61	278,31									58,74	103,66	764,51		
		$Q_{gn,m}$ [MJ]	868,97	839,97	1006,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	410,89	831,45	3957,38		
$a_H$	4,71	$\gamma_H$	0,21	0,23	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,23				
		$\eta_{H,gn}$	1,00	1,00	1,00								0,99	1,00				
		t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	2,68				
		$Q_{H,tr}$ [MJ]	3286,57	2824,89	2491,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	790,08	2841,33	12234,36			
		$Q_{H,ve}$ [MJ]	920,23	788,33	683,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	206,57	787,41	3385,60		
		$Q_{H,ht}$ [MJ]	4206,80	3613,22	3174,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	996,65	3628,74	15619,96		
		$Q_{H,int}$ [MJ]	728,22	657,57	728,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	374,98	728,22	3217,22		
		$Q_{H,sol}$ [MJ]	141,18	182,61	278,31									58,74	103,66	764,51		
		$Q_{H,gn}$ [MJ]	869,40	840,19	1006,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	433,72	831,89	3981,73		
		$Q_H$ [MJ]	3337,80	2773,70	2171,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	566,87	2797,47	11646,92		
																	51,35	kWh/m <sup>2</sup> a



CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ACQUA CALDA SANITARIA	
r [kg/m <sup>3</sup> ]	1000
c [Wh/kg °C]	1,162
V <sub>w</sub> [m <sup>3</sup> /g]	0,1107
a	1,68
Q <sub>er</sub> [°C]	40
Q <sub>o</sub> [°C]	15

	Mese												Totale	
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic		
giorni	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31		
Q <sub>w</sub> [Wh]	99659	90015	99659	96444	99659	96444	99659	99659	96444	99659	96444	99659	1173407	
Q <sub>w</sub> [kWh]	100	90	100	96	100	96	100	100	96	100	96	100	1173	
													kWh/m <sup>2</sup> a	18,63



## Dopo l'intervento

ZONA TERMICA 1	Dati generali	
	Dato	Valore
Proprietà geometriche	A [m <sup>2</sup> ]	77
	A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ]	65,72
	V <sub>i</sub> [m <sup>3</sup> ]	377,3
	V [m <sup>3</sup> ]	354,2
	H <sub>f</sub> [m]	4,6
	H <sub>i</sub> [m]	4,9

ZONA TERMICA 1	Dati calcolati			
	Dato	Valore	Dato	Valore
Parametri termici della zona	F <sub>cielo</sub> [W]	75,31	q <sub>ve,mn</sub> [m <sup>3</sup> /h]	106,26
	H <sub>D</sub> [W/K]	43,42	b <sub>tr,x</sub>	0,4
	H <sub>g</sub> [W/K]	0,00	b <sub>ve,k</sub>	1
	H <sub>U</sub> [W/K]	5,42	q <sub>ve,k</sub> [vol/h]	0,3
	H <sub>A</sub> [W/K]	0,00	C <sub>m</sub> [J/K]	25290900
	H <sub>tr,adj</sub> [W/K]	48,84	r <sub>a</sub> *c <sub>a</sub> [J/(m <sup>3</sup> K)]	1200
	H <sub>ve,adj</sub> [W/K]	35,42	τ [h]	83378,52

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso l'esterno				
Parete 1	Trasmittanza	0,30 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	Isolamento LANA di PECORA	0,08	0,04	2,00
3	Blocco di pietra	0,6	1	0,60
4	Termointonaco	0,04	0,075	0,53

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso il vano scala				
Parete 2	Trasmittanza	0,36 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	isolamento LANA di PECORA	0,08	0,04	2,00
3	blocco di pietra	0,6	1	0,60
4	intonaco di calce	0,02	0,87	0,02

COMPOSIZIONE COMPONENTI VETRATE				
	Trasmittanza	2,00 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Vetro	0,04		
2	Argon	0,16		
3	Vetro	0,04		

ELEMENTO TRASPARENTE														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	$b_{tr}$	$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	$F_w$	$A_{sol,w}$ [m <sup>2</sup> ]	$F_F$	$F_{sh,gl}$	$F_r$	$U_w$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{w+shut}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$g_{gl,n}$	$g_{gl}$	e
1	porta finestra	esterno	0,6	13,65	0,9	4,18	0,2	1	0,32	2,00		0,50	0,45	0,89
Irradianza solare globale media mensile diretta $I_{sol,h}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		18,69	24,18	36,85	40,77	53,67	60,44	56,32	45,39	32,59	21,36	7,78	13,73	
$\Phi_{sol,k}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		124,94	161,60	246,29	272,47	358,67	403,95	376,40	303,36	217,78	142,74	51,98	91,74	

ELEMENTO OPACO CONFINANTE VERSO L'ESTERNO														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	$b_{tr}$	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]		$A_{sol}$ [m <sup>2</sup> ]		$F_{sh,ob,k}$	$F_r$	$U_c$ [W/m <sup>2</sup> K]		$a_{sol,c}$		e
1	facciata	esterno	0,6	29,54		0,21			0,32	0,30		0,6		0,9
Irradianza solare globale media mensile diretta $I_{sol,h}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		18,69	24,18	36,85	40,77	53,67	60,44	56,32	45,39	32,59	21,36	7,78	13,73	
$\Phi_{sol,k}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		16,24	21,01	32,02	35,42	46,63	52,52	48,94	39,44	28,31	18,56	6,76	11,93	

DEFINIZIONE ZONA TERMICA																	
n°		Descrizione															
1		secondo piano															
Dato richiesto		Mese												TOTALE			
		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic				
$\tau$ [h]	83,37852	t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	2,68	11,75		
	0,0864	$Q_{H,tr}$ [MJ]	1470,52	1269,14	1143,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	382,42	1287,39	5552,97		
		$Q_{H,ve}$ [MJ]	920,23	788,33	683,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	206,57	787,41	3385,60		
$Q_{int,set,H}$ [°C]	20	$Q_{H,ht}$ [MJ]	2390,75	2057,47	1826,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	588,99	2074,80	8938,57		
		$Q_{int,m}$ [MJ]	727,79	657,36	727,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	352,16	727,79	3192,87		
		$Q_{sol,m}$ [MJ]	141,18	182,61	278,31									58,74	103,66	764,51	
		$Q_{gn,m}$ [MJ]	868,97	839,97	1006,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	410,89	831,45	3957,38	
$a_H$	6,56	$\gamma_H$	0,36	0,41	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,40			
		$\eta_{H,gn}$	1,00	1,00	0,99									0,97	1,00		
		t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	2,68		
		$Q_{H,tr}$ [MJ]	1470,52	1269,14	1143,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	382,42	1287,39	5552,97	
		$Q_{Hve}$ [MJ]	920,23	788,33	683,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	206,57	787,41	3385,60	
		$Q_{H,ht}$ [MJ]	2390,75	2057,47	1826,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	588,99	2074,80	8938,57	
		$Q_{H,int}$ [MJ]	728,22	657,57	728,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	374,98	728,22	3217,22	
		$Q_{H,sol}$ [MJ]	141,18	182,61	278,31										58,74	103,66	764,51
		$Q_{H,gn}$ [MJ]	869,40	840,19	1006,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	433,72	831,89	3981,73
		$Q_H$ [MJ]	1522,07	1218,68	829,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	168,50	1244,16	4982,59
														kWh/m <sup>2</sup> a	21,97		

Perdite per emissione $Q_{i,e}$ [kWh]	13,08	10,47	7,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,45	10,69	42,81
Fabbisogno emissione TOT $Q_{h,nd}+Q_{i,e}$ [kWh]	435,87	348,99	237,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,25	356,29	1426,86

Perdite per regolazione $Q_{i,rg}$ [kWh]	13,48	10,79	7,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,49	11,02	44,13
Fabbisogno regolazione TOT $Q_{h,nd}+Q_{i,e}+ Q_{i,rg}$ [kWh]	449,35	359,78	244,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,75	367,31	1470,99

Perdite di distribuzione $Q_{i,d}$ [kWh]	19,70	15,77	10,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,18	16,10	64,49
Fabbisogno distribuzione TOT $Q_{h,nd}+Q_{i,e}+ Q_{i,rg}+Q_{i,d}$ [kWh]	469,05	375,56	255,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,93	383,41	1535,48

Perdite di generazione $Q_{i,gn}$ [kWh]	-22,40	-18,38	-14,19	-4,22	-4,36	-4,22	-4,36	-4,36	-4,22	-4,36	-6,21	-19,10	-110,36
Fabbisogno generazione TOT $Q_{h,nd}+Q_{i,e}+ Q_{i,rg}+Q_{i,d}+Q_{i,gn}$ [kWh]	446,66	357,18	241,34	-4,22	-4,36	-4,22	-4,36	-4,36	-4,22	-4,36	45,71	364,31	22,62

MESI	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	
ore	744,0	672,0	744,0	720,0	744,0	720,0	744,0	744,0	720,0	744,0	720,0	744,0	
$Q_{\text{RISC}}_{\text{distr}}$	469,05	375,6	255,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,9	383,4	
$Q_{\text{tot}}(\text{ACS})_{\text{distr}}$	113,30	102,3	113,3	109,6	113,3	109,6	113,3	113,3	109,6	113,3	109,6	113,3	
pot. media mensile [kw]	0,78	0,71	0,50	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,22	0,67	
Fcu	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	
$Q_{\text{aux}}$ [kWh]	5,1	4,2	3,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,4	4,3	
$Q_{\text{tot}}(\text{RISC})$	446,7	357,2	241,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,7	364,3	
$Q_{\text{tot}}(\text{ACS})$	115,6	104,4	115,6	111,9	115,6	111,9	115,6	115,6	111,9	115,6	111,9	115,6	
Fabb. energia primaria [kWh]	575,4	483,6	365,3	113,9	113,8	113,9	113,8	113,8	113,9	113,8	165,0	491,2	38,36
													kWh/m <sup>2</sup> a



Riepilogo prestazioni energetiche prima dell'intervento	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	51,35
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,63

Riepilogo prestazioni energetiche	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	22,34
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,63
Fabbisognodi energia primaria [kWh/m <sup>2</sup> a]	38,71



**Abitazione sita in via Lamarmora 115**



## Lo stato di fatto

Dati Generali	
Nome Edificio	
Indirizzo	Via Lamarmora 115
Comune	Cagliari
Provincia	Cagliari
Anno di costruzione	1700 circa
Destinazione d'uso	Residenziale

Caratteristiche tipologiche dell'edificio		
numero di piano fuori terra		5
numero di piano interrati		0
altezza media piano	[m]	5,5
volume lordo climatizzato	$V_l$ [m <sup>3</sup> ]	475
volume netto climatizzato	$V$ [m <sup>3</sup> ]	399
superficie utile di pavimento	$A_f$ [m <sup>2</sup> ]	75
superficie finestrata	$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	13,2

ZONA TERMICA 1	Dati generali	
	Dato	Valore
Proprietà geometriche	A [m <sup>2</sup> ]	95
	A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ]	75
	V <sub>l</sub> [m <sup>3</sup> ]	475
	V [m <sup>3</sup> ]	399
	H <sub>f</sub> [m]	4,2
	H <sub>l</sub> [m]	5

ZONA TERMICA 1	Dati calcolati			
	Dato	Valore	Dato	Valore
Parametri termici della zona	F <sub>cielo</sub> [W]	83,23	q <sub>ve,mn</sub> [m <sup>3</sup> /h]	119,7
	H <sub>D</sub> [W/K]	113,20	b <sub>tr,x</sub>	0,4
	H <sub>g</sub> [W/K]	0,00	b <sub>ve,k</sub>	1
	H <sub>U</sub> [W/K]	43,22	q <sub>ve,k</sub> [vol/h]	0,3
	H <sub>A</sub> [W/K]	0,00	C <sub>m</sub> [J/K]	46820400
	H <sub>tr,adj</sub> [W/K]	156,42	r <sub>a</sub> *c <sub>a</sub> [J/(m <sup>3</sup> K)]	1200
	H <sub>ve,adj</sub> [W/K]	39,90	τ [h]	66246,90

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{D,i}$	
Area A al netto dei serramenti	39,51
Trasmittanza parete	1,09
Maggiorazione ponte termico 5%	1,05
$H_D = U_i * F_{pt} * A$	45,29

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{D,serr}$	
Area serramenti	13,2
Trasmittanza serramento	4,90
Maggiorazione ponte termico 5%	1,05
$H_D = U_i * F_{pt} * A$	67,91

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{i,u}$	
Area A	94,25
Trasmittanza parete	1,09
Maggiorazione ponte termico 5%	1,05
$H_{i,u} = U_i * F_{pt} * A$	108,04

Extra flusso verso la volta celeste	
<b>Pareti esterne</b>	
Area pareti $A_i$	39,51
$F_r$ correzione	0,50
$A_{i,c} = A_i * F_r$	19,76
Resistenza superficiale $R_{se}$	0,04
Trasmittanza	1,09
$h_r = 5 * \varepsilon = 5 * 0,9$	4,5
$D_{Qer} = 11K$	11
$F_{cielo} = R_{se} * U_i * A_{i,c} * h_r * D_{Qer}$	42,70
<b>Superfici vetrate</b>	
Area $A_i$	13,2
$F_r$ correzione	0,32
$A_{i,c} = A_i * F_r$	4,22
Resistenza superficiale $R_{se}$	0,04
Trasmittanza	4,9
$h_r = 5 * \varepsilon = 5 * 0,89$	4,45
$D_{Qer} = 11K$	11
$F_{cielo} = R_{se} * U_i * A_{i,c} * h_r * D_{Qer}$	40,53

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso l'esterno				
Parete 1	Trasmittanza	1,09 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	blocco di pietra	0,7	1	0,70
3	intonaco di calce	0,02	0,87	0,02

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso il vano scala				
Parete 2	Trasmittanza	1,09 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	blocco di pietra	0,7	1	0,70
3	intonaco di calce	0,02	0,87	0,02

COMPOSIZIONE COMPONENTI VETRATE				
	Trasmittanza	4,90 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]



ELEMENTO TRASPARENTE														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	$b_{tr}$	$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	$F_w$	$A_{sol,w}$ [m <sup>2</sup> ]	$F_F$	$F_{sh,gl}$	$F_r$	$U_w$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{w+shut}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$g_{gl,n}$	$g_{gl}$	e
1	porta finestra	esterno	0,6	13,2	0,9	6,46	0,2	1	0,32	4,90		0,8	0,72	0,89
Irradianza solare globale media mensile diretta $I_{sol,h}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		126,07	145,94	218,27	252,08	303,65	301,95	307,63	300,41	249,03	173,81	65,06	85,73	
$\Phi_{sol,k}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		814,74	943,20	1410,60	1629,14	1962,40	1951,44	1988,11	1941,46	1609,39	1123,30	420,47	554,07	

ELEMENTO OPACO CONFINANTE VERSO L'ESTERNO														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	$b_{tr}$	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]		$A_{sol}$ [m <sup>2</sup> ]		$F_{sh,ob,k}$	$F_r$	$U_c$ [W/m <sup>2</sup> K]		$a_{sol,c}$		e
1	facciata	esterno	0,6	39,51		1,04			0,32	1,09		0,6		0,9
Irradianza solare globale media mensile diretta $I_{sol,h}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		126,07	145,94	218,27	252,08	303,65	301,95	307,63	300,41	249,03	173,81	65,06	85,73	
$\Phi_{sol,k}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		130,51	151,08	225,96	260,96	314,34	312,59	318,46	310,99	257,80	179,93	67,35	88,75	

Apporti interni $F_{int}$ [W]	$A_f \leq 170m^2$
$A_f$ [m <sup>2</sup> ]	75
$A_f^2$	5625
$F_{int} = 5,294 * A_f - 0,01557 * A_f^2$	309,47

DEFINIZIONE ZONA TERMICA															
n°		Descrizione													
1		secondo piano													
Dato richiesto		Mese													TOTALE
		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic		
$\tau$ [h]	66,25	t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	2,68	11,75
	0,0864	$Q_{H,tr}$ [MJ]	4286,82	3682,76	3239,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1020,11	3700,27	15929,38
		$Q_{H,ve}$ [MJ]	1036,62	888,04	769,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	232,70	887,01	3813,81
$Q_{int,set,H}$ [°C]	20	$Q_{H,ht}$ [MJ]	5323,44	4570,80	4008,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1252,81	4587,28	19743,19
		$Q_{int,m}$ [MJ]	828,88	748,67	828,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	401,07	828,88	3636,38
		$Q_{sol,m}$ [MJ]	945,25	1094,28	1636,56								487,82	642,83	4806,75
		$Q_{gn,m}$ [MJ]	1774,13	1842,95	2465,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	888,90	1471,71	8443,13
$a_H$	5,42	$g_H$	0,33	0,40	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,32	
		$h_{H,gn}$	1,00	1,00	0,97								0,95	1,00	
		t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	2,68	
		$Q_{H,tr}$ [MJ]	4286,82	3682,76	3239,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1020,11	3700,27	15929,38
		$Q_{Hve}$ [MJ]	1036,62	888,04	769,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	232,70	887,01	3813,81
		$Q_{H,ht}$ [MJ]	5323,44	4570,80	4008,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1252,81	4587,28	19743,19
		$Q_{H,int}$ [MJ]	829,38	748,91	829,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	427,07	829,38	3664,11
		$Q_{H,sol}$ [MJ]	945,25	1094,28	1636,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	487,82	642,83	4806,75
		$Q_{H,gn}$ [MJ]	1774,63	1843,19	2465,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	914,89	1472,20	8470,86
		$Q_H$ [MJ]	3551,89	2735,66	1614,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	384,49	3117,19	11403,53
														kWh/m <sup>2</sup> a	42,24

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ACQUA CALDA SANITARIA	
r [kg/m <sup>3</sup> ]	1000
c [Wh/kg °C]	1,162
V <sub>w</sub> [m <sup>3</sup> /g]	0,12
a	1,63
Q <sub>er</sub> [°C]	40
Q <sub>o</sub> [°C]	15

	Mese												Totale	
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic		
giorni	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31		
Q <sub>w</sub> [Wh]	110247	99578	110247	106691	110247	106691	110247	110247	106691	110247	106691	110247	1298068	
Q <sub>w</sub> [kWh]	110	100	110	107	110	107	110	110	107	110	107	110	1298	
													kWh/m <sup>2</sup> a	17,31



## Dopo l'intervento

ZONA TERMICA 1	Dati generali	
	Dato	Valore
Proprietà geometriche	A [m <sup>2</sup> ]	95
	A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ]	75
	V <sub>i</sub> [m <sup>3</sup> ]	475
	V [m <sup>3</sup> ]	399
	H <sub>f</sub> [m]	4,2
	H <sub>i</sub> [m]	5

ZONA TERMICA 1	Dati calcolati			
	Dato	Valore	Dato	Valore
Parametri termici della zona	F <sub>cielo</sub> [W]	29,91	q <sub>ve,mn</sub> [m <sup>3</sup> /h]	119,7
	H <sub>D</sub> [W/K]	47,88	b <sub>tr,x</sub>	0,4
	H <sub>g</sub> [W/K]	0,00	b <sub>ve,k</sub>	1
	H <sub>U</sub> [W/K]	15,51	q <sub>ve,k</sub> [vol/h]	0,3
	H <sub>A</sub> [W/K]	0,00	C <sub>m</sub> [J/K]	38307600
	H <sub>tr,adj</sub> [W/K]	63,40	r <sub>a</sub> *c <sub>a</sub> [J/(m <sup>3</sup> K)]	1200
	H <sub>ve,adj</sub> [W/K]	39,90	τ [h]	103014,20

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{D,i}$	
Area A al netto dei serramenti	39,51
Trasmittanza parete	0,34
Maggiorazione ponte termico 5%	1,2
$H_D = U_i * F_{pt} * A$	16,20

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{D,serr}$	
Area serramenti	13,2
Trasmittanza serramento	2,00
Maggiorazione ponte termico 5%	1,2
$H_D = U_i * F_{pt} * A$	31,68

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{iu}$	
Area A	94,25
Trasmittanza parete	0,34
Maggiorazione ponte termico 5%	1,2
$H_{iu} = U_i * F_{pt} * A$	38,79

Extra flusso verso la volta celeste	
<b>Pareti esterne</b>	
Area pareti $A_i$	39,51
$F_r$ correzione	0,50
$A_{i,c} = A_i * F_r$	19,76
Resistenza superficiale $R_{se}$	0,04
Trasmittanza	0,34
$h_r = 5 * \varepsilon = 5 * 0,9$	4,5
$D_{Qer} = 11K$	11
$F_{cielo} = R_{se} * U_i * A_{i,c} * h_r * D_{Qer}$	13,37
<b>Superfici vetrate</b>	
Area $A_i$	13,2
$F_r$ correzione	0,32
$A_{i,c} = A_i * F_r$	4,22
Resistenza superficiale $R_{se}$	0,04
Trasmittanza	2
$h_r = 5 * \varepsilon = 5 * 0,89$	4,45
$D_{Qer} = 11K$	11
$F_{cielo} = R_{se} * U_i * A_{i,c} * h_r * D_{Qer}$	16,54

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso l'esterno				
Parete 1	Trasmittanza	0,34 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	Isolamento LANA di PECORA	0,06	0,04	1,50
2	blocco di pietra	0,7	1	0,70
3	Termointonaco	0,04	0,075	0,53

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso il vano scala				
Parete 2	Trasmittanza	0,34 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	Isolamento LANA di PECORA	0,08	0,04	2,00
2	blocco di pietra	0,7	1	0,70
3	intonaco di calce	0,02	0,87	0,02

COMPOSIZIONE COMPONENTI VETRATE			
	Trasmittanza	2,00 [W/(m <sup>2</sup> K)]	
Posizione	Tipo	spessore [m]	
1	Vetro	0,04	
2	Argon	0,16	
3	Vetro	0,04	

ELEMENTO TRASPARENTE														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	$b_{tr}$	$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	$F_w$	$A_{sol,w}$ [m <sup>2</sup> ]	$F_F$	$F_{sh,gl}$	$F_r$	$U_w$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{w+shut}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$g_{gl,n}$	$g_{gl}$	e
1	porta finestra	esterno	0,6	13,2	0,9	4,04	0,2	1	0,32	2,00		0,5	0,45	0,89
Irradianza solare globale media mensile diretta $I_{sol,h}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]			Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
			126,07	145,94	218,27	252,08	303,65	301,95	307,63	300,41	249,03	173,81	65,06	85,73
$\Phi_{sol,k}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]			Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
			509,22	589,50	881,63	1018,21	1226,50	1219,65	1242,57	1213,41	1005,87	702,06	262,79	346,30

ELEMENTO OPACO CONFINANTE VERSO L'ESTERNO														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	$b_{tr}$	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]		$A_{sol}$ [m <sup>2</sup> ]		$F_{sh,ob,k}$	$F_r$	$U_c$ [W/m <sup>2</sup> K]	$a_{sol,c}$			e
1	facciata	esterno	0,6	39,51		0,32			0,32	0,34	0,6			0,9
Irradianza solare globale media mensile diretta $I_{sol,h}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]			Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
			126,07	145,94	218,27	252,08	303,65	301,95	307,63	300,41	249,03	173,81	65,06	85,73
$\Phi_{sol,k}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]			Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
			40,85	47,29	70,73	81,68	98,39	97,84	99,68	97,34	80,69	56,32	21,08	27,78

Apporti interni $F_{int}$ [W]	$A_f \leq 170m^2$
$A_f$ [m <sup>2</sup> ]	75
$A_f^2$	5625
$F_{int} = 5,294 * A_f + 0,01557 * A_f^2$	309,46875



DEFINIZIONE ZONA TERMICA															
n°		Descrizione													
1		secondo piano													
Dato richiesto		Mese												TOTALE	
		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic		
$\tau$ [h]	103,01	t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,59	2,68	13,05
	0,0864	$Q_{H,tr}$ [MJ]	1727,17	1483,34	1302,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	816,98	1489,45	6819,62
		$Q_{H,ve}$ [MJ]	1036,62	888,04	769,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	465,39	887,01	4046,51
$Q_{int,set,H}$ [°C]	20	$Q_{H,ht}$ [MJ]	2763,80	2371,38	2072,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1282,37	2376,46	10866,13
		$Q_{int,m}$ [MJ]	828,88	748,67	828,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	802,14	828,88	4037,45
		$Q_{sol,m}$ [MJ]	550,07	636,79	952,36								283,88	374,08	2797,16
		$Q_{gn,m}$ [MJ]	1378,95	1385,46	1781,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1086,02	1202,96	6834,62
$a_H$	7,87	$\gamma_H$	0,50	0,58	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85	0,51	
		$\eta_{H,gn}$	1,00	0,99	0,94								0,95	1,00	
		t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	2,68	
		$Q_{H,tr}$ [MJ]	1727,17	1483,34	1302,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	816,98	1489,45	6819,62
		$Q_{H,ve}$ [MJ]	1036,62	888,04	769,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	465,39	887,01	4046,51
		$Q_{H,ht}$ [MJ]	2763,80	2371,38	2072,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1282,37	2376,46	10866,13
		$Q_{H,int}$ [MJ]	829,38	748,91	829,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	427,07	829,38	3664,11
		$Q_{H,sol}$ [MJ]	550,07	636,79	952,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	283,88	374,08	2797,16
		$Q_{H,gn}$ [MJ]	1379,44	1385,70	1781,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	710,94	1203,45	6461,27
		$Q_H$ [MJ]	1387,27	994,15	393,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	609,62	1175,82	4560,27
														kWh/m <sup>2</sup> a	16,89

$Q_H$ [kWh]	385,35	276,15	109,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	169,34	326,62	1266,74
MESI	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	Totale
Carico termico [W/m <sup>3</sup> ]	1,09	0,87	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,92	3,68

Perdite per emissione $Q_{l,e}$ [kWh]	11,92	8,54	3,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,24	10,10	39,18
Fabbisogno emissione TOT $Q_{h,nd}+Q_{l,e}$ [kWh]	397,27	284,69	112,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	174,58	336,72	1305,92

Perdite per regolazione $Q_{l,rg}$ [kWh]	12,29	8,80	3,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,40	10,41	40,39
Fabbisogno regolazione TOT $Q_{h,nd}+Q_{l,e}+$ $Q_{l,rg}$ [kWh]	409,56	293,50	116,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	179,98	347,13	1346,31

Perdite di distribuzione $Q_{l,d}$ [kWh]	17,96	12,87	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,89	15,22	59,02
Fabbisogno distribuzione TOT $Q_{h,nd}+Q_{l,e}+$ $Q_{l,rg}+Q_{l,d}$ [kWh]	427,51	306,37	121,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	187,87	362,35	1405,33

Perdite di generazione $Q_{l,gn}$ [kWh]	-21,26	-16,14	-9,48	-4,67	-4,82	-4,67	-4,82	-4,82	13,48	13,93	-11,90	-18,76	-73,93
Fabbisogno generazione TOT $Q_{h,nd}+Q_{l,e}+$ $Q_{l,rg}+Q_{l,d}+Q_{l,gn}$ [kWh]	406,25	290,23	111,75	-4,67	-4,82	-4,67	-4,82	-4,82	13,48	13,93	175,97	343,59	17,75

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ACQUA CALDA SANITARIA	
r [kg/m <sup>3</sup> ]	1000
c [Wh/kg °C]	1,162
V <sub>w</sub> [m <sup>3</sup> /g]	0,122421694
a	1,632289252
Q <sub>er</sub> [°C]	40
Q <sub>o</sub> [°C]	15

	Mese												Totale
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	
giorni	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Q <sub>w</sub> [Wh]	110247	99578	110247	106691	110247	106691	110247	110247	106691	110247	106691	110247	1298068
Q <sub>w</sub> [kWh]	110	100	110	107	110	107	110	110	107	110	107	110	1298
												kWh/m <sup>2</sup> a	17,31

MESI	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	
ore	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	
$Q_{\text{(RISC) distr}}$	427,5	306,4	121,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,9	362,3	
$Q_{\text{tot (ACS) distr}}$	125,3	113,2	125,3	121,3	125,3	121,3	125,3	125,3	121,3	125,3	121,3	125,3	
potenza media mensile [kw]	0,7	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,7	
$F_{\text{cu}}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
$Q_{\text{aux}}$ [kWh]	4,8	3,7	2,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,7	4,2	
$Q_{\text{tot (RISC)}}$	406,2	290,2	111,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	176,0	343,6	
$Q_{\text{tot (ACS)}}$	127,9	115,5	127,9	123,8	127,9	123,8	127,9	127,9	123,8	127,9	123,8	127,9	
Fabbisogno energia primaria [kWh]	546,6	427,6	245,2	126,0	125,9	126,0	125,9	125,9	144,1	144,7	310,9	482,5	39,1
													kWh/m <sup>2</sup> a

Riepilogo prestazioni energetiche prima dell'intervento	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	42,24
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	17,31

Riepilogo prestazioni energetiche dopo l'intervento di recupero	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	16,89
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	17,31
Fabbisognodi energia primaria [kWh/m <sup>2</sup> a]	39,08



**Abitazione sita in vico II Lamarmora**





## Lo stato di fatto

Dati Generali	
Nome Edificio	
Indirizzo	Vico Lamarmora 2
Comune	Cagliari
Provincia	Cagliari
Anno di costruzione	1960 circa
Destinazione d'uso	Residenziale

Caratteristiche tipologiche dell'edificio		
numero di piano fuori terra		5
numero di piano interrati		
altezza media piano	[m]	3
volume lordo climatizzato	$V_l$ [m <sup>3</sup> ]	222
volume netto climatizzato	$V$ [m <sup>3</sup> ]	199,8
superficie utile di pavimento	$A_f$ [m <sup>2</sup> ]	61
superficie finestrata	$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	8,64

ZONA TERMICA 1	Dati generali	
	Dato	Valore
Proprietà geometriche	A [m <sup>2</sup> ]	74
	A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ]	61
	V <sub>l</sub> [m <sup>3</sup> ]	199,8
	V [m <sup>3</sup> ]	222
	H <sub>f</sub> [m]	3
	H <sub>l</sub> [m]	2,7

ZONA TERMICA 1	Dati calcolati			
	Dato	Valore	Dato	Valore
Parametri termici della zona	F <sub>cielo</sub> [W]	70,93	q <sub>ve,mn</sub> [m <sup>3</sup> /h]	66,6
	H <sub>D</sub> [W/K]	94,21	b <sub>tr,x</sub>	0,4
	H <sub>g</sub> [W/K]	0,00	b <sub>ve,k</sub>	1
	H <sub>U</sub> [W/K]	35,90	q <sub>ve,k</sub> [vol/h]	0,3
	H <sub>A</sub> [W/K]	0,00	C <sub>m</sub> [J/K]	34178100
	H <sub>tr,adj</sub> [W/K]	130,11	r <sub>a</sub> *c <sub>a</sub> [J/(m <sup>3</sup> K)]	1200
	H <sub>ve,adj</sub> [W/K]	19,98	τ [h]	63255,28

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{D,i}$	
Area A al netto dei serramenti	27,36
Trasmittanza parete	1,48
Maggiorazione ponte termico 5%	1,05
$H_D = U_i * F_{pt} * A$	42,50

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{D,serr}$	
Area serramenti	8,64
Trasmittanza serramento	5,70
Maggiorazione ponte termico 5%	1,05
$H_D = U_i * F_{pt} * A$	51,71

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{i,u}$	
Area A	57,78
Trasmittanza parete	1,48
Maggiorazione ponte termico 5%	1,05
$H_{i,u} = U_i * F_{pt} * A$	89,75

Extra flusso verso la volta celeste	
<b>Pareti esterne</b>	
Area pareti $A_i$	27,36
$F_r$ correzione	0,50
$A_{i,c} = A_i * F_r$	13,68
Resistenza superficiale $R_{se}$	0,04
Trasmittanza	1,48
$h_r = 5 * \varepsilon = 5 * 0,9$	4,5
$D_{Qer} = 11K$	11
$F_{cielo} = R_{se} * U_i * A_{i,c} * h_r * D_{Qer}$	40,07
<b>Superfici vetrate</b>	
Area $A_i$	8,64
$F_r$ correzione	0,32
$A_{i,c} = A_i * F_r$	2,76
Resistenza superficiale $R_{se}$	0,04
Trasmittanza	5,7
$h_r = 5 * \varepsilon = 5 * 0,89$	4,45
$D_{Qer} = 11K$	11
$F_{cielo} = R_{se} * U_i * A_{i,c} * h_r * D_{Qer}$	30,86

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso l'esterno				
Parete 1	Trasmittanza	1,48 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	blocco di pietra	0,46	1	0,46
3	intonaco di calce	0,02	0,87	0,02

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso il vano scala				
Parete 2	Trasmittanza	1,48 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	blocco di pietra	0,46	1	0,46
3	intonaco di calce	0,02	0,87	0,02

COMPOSIZIONE COMPONENTI VETRATE				
	Trasmittanza	5,70 [W/(m <sup>2</sup> K)]		
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]

ELEMENTO TRASPARENTE														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	$b_{tr}$	$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	$F_w$	$A_{sol,w}$ [m <sup>2</sup> ]	$F_f$	$F_{sh,gl}$	$F_r$	$U_w$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{w+shut}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$g_{gl,n}$	$g_{gl}$	e
1	porta finestra	esterno	0,6	8,64	0,9	4,23	0,2	1	0,32	5,70		0,8	0,72	0,89
Irradianza solare globale media mensile diretta $I_{sol,h}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		56,67	67,64	135,61	199,46	241,33	242,97	245,33	240,02	178,22	94,23	25,51	43,14	
$\Phi_{sol,k}$ [Mj/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		239,74	286,14	573,66	843,74	1020,86	1027,80	1037,79	1015,33	753,90	398,61	107,92	182,47	

ELEMENTO OPACO CONFINANTE VERSO L'ESTERNO														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	$b_{tr}$	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]		$A_{sol}$ [m <sup>2</sup> ]		$F_{sh,ob,k}$	$F_r$	$U_c$ [W/m <sup>2</sup> K]	$a_{sol,c}$			e
1	facciata	esterno	0,6	27,36		0,97			0,32	1,48	0,6			0,9
Irradianza solare globale media mensile diretta $I_{sol,h}$ [Wh/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		56,67	67,64	135,61	199,46	241,33	242,97	245,33	240,02	178,22	94,23	25,51	43,14	
$\Phi_{sol,k}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		55,05	65,71	131,73	193,75	234,43	236,02	238,31	233,16	173,12	91,53	24,78	41,90	

Apporti interni $F_{int}$ [W]	$A_{f \leq 170m^2}$
$A_f$ [m <sup>2</sup> ]	61
$A_f^2$	3721
$F_{int} = 5,294 * A_f - 0,01557 * A_f^2$	265,00

		DEFINIZIONE ZONA TERMICA													
		n°	Descrizione												
		1	primo piano												
		Dato richiesto	Mese												TOTALE
			Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	
$\tau$ [h]	63,26	t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	2,68	11,75
	0,0864	$Q_{H,tr}$ [MJ]	3570,26	3067,37	2699,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	850,72	3082,39	13269,79
		$Q_{H,ve}$ [MJ]	519,09	444,69	385,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,52	444,17	1909,77
$Q_{int,set,H}$ [°C]	20	$Q_{H,ht}$ [MJ]	4089,35	3512,06	3084,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	967,24	3526,56	15179,57
		$Q_{int,m}$ [MJ]	709,77	641,08	709,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	343,44	709,77	3113,83
		$Q_{sol,m}$ [MJ]	294,80	351,85	705,39								132,70	224,37	1709,11
		$Q_{gn,m}$ [MJ]	1004,57	992,94	1415,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	476,14	934,14	4822,94
$a_H$	5,22	$\gamma_H$	0,25	0,28	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,26	
		$\eta_{H,gn}$	1,00	1,00	0,99								0,99	1,00	
		t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	2,68	
		$Q_{H,tr}$ [MJ]	3570,26	3067,37	2699,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	850,72	3082,39	13269,79
		$Q_{H,ve}$ [MJ]	519,09	444,69	385,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,52	444,17	1909,77
		$Q_{H,ht}$ [MJ]	4089,35	3512,06	3084,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	967,24	3526,56	15179,57
		$Q_{H,int}$ [MJ]	710,19	641,30	710,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	365,70	710,19	3137,58
		$Q_{H,sol}$ [MJ]	294,80	351,85	705,39								132,70	224,37	1709,11
		$Q_{H,gn}$ [MJ]	1004,99	993,15	1415,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	498,40	934,56	4846,68
		$Q_H$ [MJ]	3084,86	2519,89	1682,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	475,19	2592,66	10354,64
														kWh/m <sup>2</sup> a	47,15

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ACQUA CALDA SANITARIA	
r [kg/m <sup>3</sup> ]	1000
c [Wh/kg °C]	1,162
V <sub>w</sub> [m <sup>3</sup> /g]	0,10
a	1,71
Q <sub>er</sub> [°C]	40
Q <sub>o</sub> [°C]	15

	Mese												Totale
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	
giorni	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Q <sub>w</sub> [Wh]	94140	85030	94140	91104	94140	91104	94140	94140	91104	94140	91104	94140	1108426
Q <sub>w</sub> [kWh]	94	85	94	91	94	91	94	94	91	94	91	94	1108
												kWh/m <sup>2</sup> a	18,17





## Dopo l'intervento

ZONA TERMICA 1	Dati generali	
	Dato	Valore
Proprietà geometriche	A [m <sup>2</sup> ]	74
	A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ]	61
	V <sub>l</sub> [m <sup>3</sup> ]	199,8
	V [m <sup>3</sup> ]	222
	H <sub>f</sub> [m]	3
	H <sub>l</sub> [m]	2,7

ZONA TERMICA 1	Dati calcolati			
	Dato	Valore	Dato	Valore
Parametri termici della zona	F <sub>cielo</sub> [W]	20,10	q <sub>ve,mn</sub> [m <sup>3</sup> /h]	66,6
	H <sub>D</sub> [W/K]	31,98	b <sub>tr,x</sub>	0,4
	H <sub>g</sub> [W/K]	0,00	b <sub>ve,k</sub>	1
	H <sub>U</sub> [W/K]	8,73	q <sub>ve,k</sub> [vol/h]	0,3
	H <sub>A</sub> [W/K]	0,00	C <sub>m</sub> [J/K]	27963900
	H <sub>tr,adj</sub> [W/K]	40,71	r <sub>a</sub> *c <sub>a</sub> [J/(m <sup>3</sup> K)]	1200
	H <sub>ve,adj</sub> [W/K]	19,98	τ [h]	127982,76

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{D,i}$	
Area A al netto dei serramenti	27,36
Trasmittanza parete	0,34
Maggiorazione ponte termico 5%	1,2
$H_D = U_i * F_{pt} * A$	11,25

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{D,serr}$	
Area serramenti	8,64
Trasmittanza serramento	2,00
Maggiorazione ponte termico 5%	1,2
$H_D = U_i * F_{pt} * A$	20,74

Calcolo dei coefficienti di scambio termico $H_{iu}$	
Area A	57,78
Trasmittanza parete	0,31
Maggiorazione ponte termico 5%	1,2
$H_{iu} = U_i * F_{pt} * A$	21,83

Extra flusso verso la volta celeste	
<b>Pareti esterne</b>	
Area pareti $A_i$	27,36
$F_r$ correzione	0,50
$A_{i,c} = A_i * F_r$	13,68
Resistenza superficiale $R_{se}$	0,04
Trasmittanza	0,34
$h_r = 5 * \varepsilon = 5 * 0,9$	4,5
$D_{Qer} = 11K$	11
$F_{cielo} = R_{se} * U_i * A_{i,c} * h_r * D_{Qer}$	9,28
<b>Superfici vetrate</b>	
Area $A_i$	8,64
$F_r$ correzione	0,32
$A_{i,c} = A_i * F_r$	2,76
Resistenza superficiale $R_{se}$	0,04
Trasmittanza	2
$h_r = 5 * \varepsilon = 5 * 0,89$	4,45
$D_{Qer} = 11K$	11
$F_{cielo} = R_{se} * U_i * A_{i,c} * h_r * D_{Qer}$	10,83

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso l'esterno				
Parete 1	Trasmittanza	0,34 [W/(m <sup>2</sup> K)]		Resistenza termica
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	[m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	Isolamento LANA di PECORA	0,08	0,04	2,00
3	blocco di pietra	0,46	1	0,46
4	Termointonaco	0,02	0,075	0,27

COMPOSIZIONE COMPONENTI OPACHE verso il vano scala				
Parete 2	Trasmittanza	0,31 [W/(m <sup>2</sup> K)]		Resistenza termica
Posizione	Tipo	spessore [m]	conduttività l [W/(mK)]	[m <sup>2</sup> K/W]
1	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02
2	Isolamento in LANA di PECORA	0,1	0,04	2,50
3	Blocco di pietra	0,46	1	0,46
4	Intonaco di calce	0,02	0,87	0,02

COMPOSIZIONE COMPONENTI VETRATE		
	Trasmittanza	2,00 [W/(m <sup>2</sup> K)]
Posizione	Tipo	spessore [m]
1	Vetro	0,04
2	Argon	0,16
3	Vetro	0,04

ELEMENTO TRASPARENTE														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	$b_{tr}$	$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	$F_w$	$A_{sol,w}$ [m <sup>2</sup> ]	$F_F$	$F_{sh,gl}$	$F_r$	$U_w$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{w+shut}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$g_{gl,n}$	$g_{gl}$	e
1	porta finestra	esterno	0,6	8,64	0,9	3,70	0,2	1	0,32	2,00		0,7	0,63	0,89
Irradianza solare globale media mensile diretta $I_{sol,h}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		56,67	67,64	135,61	199,46	241,33	242,97	245,33	240,02	178,22	94,23	25,51	43,14	
$\Phi_{sol,k}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		209,77	250,38	501,95	738,27	893,25	899,33	908,07	888,41	659,67	348,78	94,43	159,66	

ELEMENTO OPACO CONFINANTE VERSO L'ESTERNO														
DEFINIZIONE		AMBIENTE CONFINANTE		PROPRIETA' GEOMETRICHE						PROPRIETA' TERMOFISICHE				
N°	Descrizione	Ambiente confinante	$b_{tr}$	$A_c$ [m <sup>2</sup> ]		$A_{sol}$ [m <sup>2</sup> ]		$F_{sh,ob,k}$	$F_r$	$U_c$ [W/m <sup>2</sup> K]	$a_{sol,c}$			e
1	facciata	esterno	0,6	27,36		0,22			0,32	0,34	0,6			0,9
Irradianza solare globale media mensile diretta $I_{sol,h}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		56,67	67,64	135,61	199,46	241,33	242,97	245,33	240,02	178,22	94,23	25,51	43,14	
$\Phi_{sol,k}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
		12,75	15,21	30,50	44,86	54,28	54,65	55,18	53,98	40,08	21,19	5,74	9,70	

Apporti interni $F_{int}$ [W]	$A_f \leq 170 m^2$
$A_f$ [m <sup>2</sup> ]	61
$A_f^2$	3721
$F_{int} = 5,294 * A_f - 0,01557 * A_f^2$	265,00

		DEFINIZIONE ZONA TERMICA													
		n°	Descrizione												
		1	primo piano												
		Dato richiesto	Mese												TOTALE
			Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	
$\tau$ [h]	127,98	t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	2,68	11,75
	0,0864	$Q_{H,tr}$ [MJ]	1111,61	954,79	838,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	263,50	958,94	4127,83
		$Q_{H,ve}$ [MJ]	519,09	444,69	385,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,52	444,17	1909,77
$Q_{int,set,H}$ [°C]	20	$Q_{H,ht}$ [MJ]	1630,70	1399,47	1224,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	380,02	1403,11	6037,60
		$Q_{int,m}$ [MJ]	709,77	641,08	709,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	343,44	709,77	3113,83
		$Q_{sol,m}$ [MJ]	222,52	265,59	532,45								100,16	169,36	1290,09
		$Q_{gn,m}$ [MJ]	932,29	906,67	1242,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	443,60	879,13	4403,92
$a_H$	9,53	$\gamma_H$	0,57	0,65	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	0,63	
		$\eta_{H,gn}$	1,00	0,99	0,90								0,82	1,00	
		t [Ms]	2,68	2,42	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	2,68	
		$Q_{H,tr}$ [MJ]	1111,61	954,79	838,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	263,50	958,94	4127,83
		$Q_{Hve}$ [MJ]	519,09	444,69	385,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,52	444,17	1909,77
		$Q_{H,ht}$ [MJ]	1630,70	1399,47	1224,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	380,02	1403,11	6037,60
		$Q_{H,int}$ [MJ]	710,19	641,30	710,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	365,70	710,19	3137,58
		$Q_{H,sol}$ [MJ]	222,52	265,59	532,45								100,16	169,36	1290,09
		$Q_{H,gn}$ [MJ]	932,72	906,88	1242,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	465,86	879,56	4427,66
		$Q_H$ [MJ]	699,92	497,74	107,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,79	527,40	1830,25
														kWh/m <sup>2</sup> a	8,33

MESI	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	Totale
ore	744,00	672,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00	
Q (RISC)distr	215,69	153,39	33,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,86	162,53	
Qtot (ACS) distr	107,02	96,67	107,02	103,57	107,02	103,57	107,02	107,02	103,57	107,02	103,57	107,02	
potenza media mensile [kw]	0,43	0,37	0,19	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,36	
F <sub>cu</sub>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
Q <sub>aux</sub> [kWh]	2,81	2,18	1,22	0,90	0,93	0,90	0,93	0,93	0,90	0,93	0,89	2,35	
Q <sub>tot</sub> (RISC)	203,28	143,77	27,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,81	152,16	
Q <sub>tot</sub> (ACS)	109,21	98,64	109,21	105,68	109,21	105,68	109,21	109,21	105,68	109,21	105,68	109,21	
Fabbisogno energia primaria [kWh]	319,79	258,63	140,26	107,57	107,51	107,57	107,51	107,51	107,57	107,51	106,72	267,46	24,61
													kWh/m <sup>2</sup>

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ACQUA CALDA SANITARIA	
r [kg/m <sup>3</sup> ]	1000
c [Wh/kg °C]	1,162
V <sub>w</sub> [m <sup>3</sup> /g]	0,1045
a	1,71
Q <sub>er</sub> [°C]	40
Q <sub>o</sub> [°C]	15

	Mese												Totale	
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic		
giorni	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31		
Q <sub>w</sub> [Wh]	94140	85030	94140	91104	94140	91104	94140	94140	91104	94140	91104	94140	1108426	
Q <sub>w</sub> [kWh]	94	85	94	91	94	91	94	94	91	94	91	94	1108	
													kWh/m <sup>2</sup> a	18,1709

MESI	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	Totale	
ore	744,00	672,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00	744,00	720,00	744,00	720,00	744,00		
Q (RISC)distr	215,69	153,39	33,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,86	162,53		
Qtot (ACS) distr	107,02	96,67	107,02	103,57	107,02	103,57	107,02	107,02	103,57	107,02	103,57	107,02		
potenza media mensile [kw]	0,43	0,37	0,19	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,36	
F <sub>cu</sub>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
Q <sub>aux</sub> [kWh]	2,81	2,18	1,22	0,90	0,93	0,90	0,93	0,93	0,90	0,93	0,89	2,35		
Q <sub>tot</sub> (RISC)	203,28	143,77	27,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,81	152,16		
Q <sub>tot</sub> (ACS)	109,21	98,64	109,21	105,68	109,21	105,68	109,21	109,21	105,68	109,21	105,68	109,21		
Fabbisogno energia primaria [kWh]	319,79	258,63	140,26	107,57	107,51	107,57	107,51	107,51	107,57	107,51	106,72	267,46	24,61	
														kWh/m <sup>2</sup>



Riepilogo prestazioni energetiche prima dell'intervento	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	47,15
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,17

Riepilogo prestazioni energetiche dopo l'intervento	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	8,33
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,17
Fabbisognodi energia primaria [kWh/m <sup>2</sup> a]	24,61



## **Riepilogo delle prestazioni pre e post intervento**



**PALAZZO FLORIS THOREL**

Riepilogo prestazioni energetiche prima dell'intervento		Riepilogo prestazioni energetiche dopo l'intervento	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	51,35	Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	21,97
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,63	Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,63
		Fabbisogno di energia primaria [kWh/m <sup>2</sup> a]	38,36

**VIA LAMARMORA 115**

Riepilogo prestazioni energetiche prima dell'intervento		Riepilogo prestazioni energetiche dopo l'intervento	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	42,24	Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	16,89
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	17,31	Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	17,31
		Fabbisogno di energia primaria [kWh/m <sup>2</sup> a]	39,08

**VICO II LAMARMORA 2**

Riepilogo prestazioni energetiche prima dell'intervento		Riepilogo prestazioni energetiche dopo l'intervento	
Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	47,15	Fabbisogno per il riscaldamento $Q_H$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	8,33
Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,17	Fabbisogno per l'acqua calda sanitaria $Q_w$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	18,17
		Fabbisogno di energia primaria [kWh/m <sup>2</sup> a]	24,61









## Fonti fotografiche

Fig. 1: <http://www.governeeproject.eu>

Fig. 2: A. PALLADIO, Andrea Palladio: la Rotonda, Electa, Milano 1990.

Fig. 3: O. BERTOZZI SCAMOZZI, Il forestiero istruito, Vicenza 1761, tav. VII, sezione e tav VI pianta della villa Almerico Capra.

Fig. 4: <http://commons.wikimedia.org>

Figg. 5-6: F. SARTOGO, M. BASTIANI, Manuale metodologico per il recupero della struttura bioclimatica della città storica di Perugia, Edizioni Guerra, Perugia 1998.

Fig. 7: Archivio personale di Alessandra Barberis.

Fig. 8: <http://commons.wikimedia.org>

Fig. 9-11: H. FATHY, Natural Energy and Vernacular Architecture. Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates, The University of Chicago Press, Londra 1986.

Fig. 14: Dar al-Islam Foundation ad Abiquiu, Stati Uniti (Hassan Fathy , 1980), p. 159. [www.archnet.org](http://www.archnet.org)

Figg. 19-20: G. FIENGO, G. ABBATE, Case a volta della costa di Amalfi, Centro di Cultura e Storia Amalfitana, Amalfi (SA) 2001.

Fig. 21: Carta tratta da O. BALDACCI, La casa rurale in Sardegna, centro di studi per la geografia etnologica, Firenze 1952.

Fig. 22: AA. VV., Architettura di base, Alinea Editrice, Firenze 2007.

Fig. 23: English Eritage, Energy conservation in traditional buildings, 2008.

Fig. 27-33: P. A. CETICA, L'architettura dei muri intelligenti. Esperienze di climatizzazione sostenibile nell'Ottocento, Angelo Pontecorboli Editore, Firenze 2004.

Fig. 34-43: L. STEFANUTTI, Manuale degli impianti di climatizzazione, Tecniche Nuove, Milano 2007.

Fig. 54-55: F. SIMONETTI, Palazzo Spinola di Pellicceria a Genova: da dimora del Seicento a Museo del 2000. Impianti storici e moderni per l'abitabilità, la conservazione, la sicurezza, in Edifici storici e destinazione museale. Conservazione degli edifici e delle opere d'arte. Progetti per il restauro e l'integrazione di impianti esistenti, D. DEL CURTO, M. FRATELLI (a cura di), Milano 2010, pp. 37-40.

Fig. 56-57: L. SCHIBUOLA, C. TAMBANI, Pompa di calore per un complesso monumentale, in RCI Riscaldamento Climatizzazione Idronica n.1(2013), rivista digitale, Tecniche Nuove, p. 30.

Fig. 58-68: AA. VV., Problematiche di inserimento degli impianti in ambienti monumentali: i Nuovi Uffici, atti del convegno “Tecnologie impiantistiche e musei”, AICARR, Roma 2005, pp. 299-320.

Fig. 71-72: Archivio Storico Comunale della città di Cagliari.

Fig. 78-79: M. CADINU, Urbanistica medievale in Sardegna, Roma 2001.

Fig. 80: Archivio Storico Comunale della città di Cagliari.

Fig. 96-97: M. CADINU, Wood structures in traditional random rubble wall construction in Cagliari, in Construction History, Proceedings of the First International Congress, Madrid, 20th -24th January 2003, edited by Santiago Huerta, Instituto Juan de Herrera, COAM, Vol. I, pp. 453-460. ISBN 84-9728-071-7.

