This is the post-print author's version of the following book chapter: Desogus, G., Pili, S., & Sanna, A. (2022). La segmentazione e caratterizzazione del patrimonio costruito della Città di Carbonia per la realizzazione di un modello energetico urbano. In Colloqui. AT. e 2022- Memoria e Innovazione (pp. 1023-1040). Edicom Edizioni.

La segmentazione e caratterizzazione del patrimonio costruito della Città di Carbonia per la realizzazione di un modello energetico urbano

The segmentation and characterization of the built heritage of the City of Carbonia for the realization of an urban energy model

G. Desogus[1], S. Pili[2], A. Sanna[3], A. Dessì[4]*

[1*] Università di Cagliari - DICAAR, Cagliari, gdesogus@unica.it
[2] Sotacarbo S.p.A., Carbonia, stefano.pili@sotacarbo.it
[3] Università di Cagliari - DICAAR, Cagliari, asanna@unica.it
[4]Università di Cagliari - DICAAR, Cagliari, dess.andrea@gmail.com

Accepted manuscript

1. ABSTRACT

The paper describes the results of the research project "Urban Abacus of Building Energy performances – Abaco Urbano Energetico degli Edifici (AUREE), funded by the 2019-21 Triennial Plan for the fulfilment of the Agreement between Ministry for Economic Development and Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA) – Project 1.5 "Technologies, techniques and materials for energy efficiency and energy saving in the electrical end uses of new and existing buildings". The concept of AUREE project is a Web – GIS GeoBlog portal with customized interfaces aimed at sharing information on urban built environment and promoting the participation of local stakeholders to its improvement. The methodological approach is specifically addressed to small and medium urban centres, characterized by a low availability of basic data on buildings energy performance. The portal is implemented with a Uban Energy Model (UBEM) based on spatial Open Data, on a typological survey of the built heritage and a participative web framework. After an overview on the theoretical background the paper illustrates the general framework of AUREE project and focuses on the methodological approach adopted to for the creation of a typological abacus necessary for the energy model definition and its representation through the portal. The town of Carbonia is selected as a relevant case study. The application of the methodology on its heritage shows how an archetypification approach based on historical information provides a complete segmentation and classification of urban buildings. The results are transferred on the web portal that can represent the information on the buildings stock and facilitate the processes necessary to its improvement.

2. KEYWORDS

Built heritage, Energy performace, Energy retrofit, Urban Energy Model, Web based Geographical Informative System

3. INTRODUZIONE

Carbonia, la principale città di fondazione italiana degli anni '30 del '900, nasce come polo della politica autarchica dell'energia, e come tale si sviluppa dalla sua pianificazione e progettazione avviata nel 1937 sino a diventare nell'immediato dopoguerra, con i suoi 50 mila abitanti, il terzo polo urbano della Sardegna. Come è noto, la "monocoltura del carbone" su cui era basata, peraltro di qualità non pregiata e destinato quindi a diventare economicamente insostenibile non appena la riapertura dei mercati internazionali riattivò un regime concorrenziale, produsse con la stessa rapidità della sua ascesa un veloce declino. Dagli anni '60-'70, l'impianto nel territorio del polo dell'alluminio e nel contempo la trasformazione della città in un polo di servizi per l'area vasta arrestarono l'esodo della popolazione stabilizzandolo intorno all'attuale dimensione di 30 mila. Il patrimonio edilizio della fondazione, in origine tutto pubblico, fu

progressivamente – ma solo in parte – privatizzato (non senza conseguenze non irrilevanti di modificazioni incongrue) mentre nuovi complessi abitativi, ancora pubblici ma soprattutto privati, davano risposta, nell'espansione recente, alla crescente domanda di spazi abitativi meno costrittivi dell'existenz minimum della prima fondazione [1].
Dal 2001 la municipalità diede il via ad un importante programma di recupero del patrimonio pubblico e infrastrutturale, affidando all'Università di Cagliari ricerche e studi finalizzati al suo recupero e riuso che diedero il via a progetti e piani di rigenerazione della company town degli anni '30-'40 e della sua Miniera [1]. A seguito dell'approvazione del Piano Paesaggistico Regionale, questo patrimonio fu incluso nel Centro di prima fondazione e identificato come Bene paesaggistico e quindi tutelato[2].
Per passare dal vincolo meramente passivo ad una tutela "attiva", capace di orientare l'intervento con una solida base di conoscenza ed opportune Linee Guida è stata approntata all'interno della pianificazione attuativa una "Manualistica del Recupero", attualmente in fase di completamento. Nel frattempo, la crisi ambientale e climatica, con la connessa esigenza di risparmio ed efficientamento energetico degli edifici, ha dato un forte impulso alla ricerca ed alla sperimentazione di strumenti capaci di intervenire efficacemente sulla parte in questo senso più problematica del patrimonio edilizio stesso, il grande stock abitativo di Carbonia. Che tra l'altro non è solo riducibile agli edifici prebellici, che pure presentano tipologie edilizie e caratteri costruttivi non poco problematici, ma si estende alle costruzioni che dagli anni '60 in poi hanno quasi raddoppiato lo stock di alloggi approntato dall'IFCP (l'Istituto Fascista per le Case Popolari).
In letteratura sono presenti molteplici linee guida o protocolli di qualità sul tema del recupero del patrimonio edilizio destinato a particolari tipi di edifici o eventualmente focalizzato su temi specifici quali: l'efficientamento energetico, il restauro e la sostenibilità in senso più ampio [3], [4]. Questi sono generalmente documenti sviluppati per un pubblico prettamente tecnico che spesso per la loro intrinseca specificità hanno difficoltà a diffondersi anche presso gli operatori del settore e sono pressoché sconosciuti ai non tecnici, che però sono i principali stakeholders dei processi di recupero del patrimonio edilizio. La mancanza di una conoscenza condivisa tra operatori del settore ed attori non tecnici riguardo al patrimonio edilizio è considerata in ambito scientifico uno dei principali fattori limitanti il processo di recupero [5]. Le imprese ed i professionisti possono non avere l'esperienza necessaria a sfruttare le opportunità delle nuove tecnologie offerte da un mercato ad alto tasso di innovazione, ma anche avere difficoltà a seguire il rapido aggiornamento dei quadri normativi di riferimento. I principali decisori in un intervento di recupero sono tuttavia attori di natura non tecnica (proprietari delle abitazioni, amministratori per gli edifici della PA, …) che, nella maggior parte dei casi, non hanno gli strumenti per immaginare almeno preliminarmente le potenzialità del proprio edificio e perciò per indirizzare in maniera efficace le strategie di intervento. Inoltre, assume sempre più importanza legare la prospettiva del singolo edificio con le strategie su scala urbana o di quartiere in un'ottica olistica di recupero sostenibile del patrimonio edilizio.
La presenza, nei padiglioni restaurati della Grande Miniera di Serbariu della Sotacarbo, una Società partecipata dall'ENEA che nasce nel 1987 per condurre ricerche e sperimentazioni intorno all'energia "pulita", ha segnato una svolta nella ricerca sul patrimonio di Carbonia che mette al centro la sua "responsabilità ambientale ed energetica". Da alcuni anni, progetti condivisi con il Dipartimento DICAAR hanno esplorato prima alcuni edifici pubblici rappresentativi, per definirne le performances e progredire nei metodi di conoscenza, rappresentazione e monitoraggio (sino alla modellazione digitale informativa) e ora si sono estesi all'intero patrimonio abitativo. Quest'ultimo step propone un approccio integrato destinato a coordinare la conoscenza del patrimonio, "socializzandola" in una nuova e originale "interfaccia pubblica", con la sua gestione sostenibile, per orientare il recupero verso l'efficienza energetica con un approccio multiscalare e orientato all'utente. Un vero cambio di paradigma per la città che prende il suo nome dall'energia fossile più "climalterante", verso la prospettiva dell'impatto "quasi zero" del patrimonio stesso sull'ambiente.
La realizzazione di tale interfaccia è stata condotta all'interno del Piano Triennale di Realizzazione 2019-21 dell'Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA sul Progetto 1.5 "Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti"[6]. Lo strumento principale su cui si basa la raccolta e la condivisione dei dati sulle prestazioni energetiche del patrimonio costruito della città di Carbonia è un portale ad accesso aperto denominato AUREE (Abaco Urbano Energetico degli Edifici) [7], sviluppato nell'ambito del progetto. Il portale è stato pensato con lo scopo di supportare il processo di recupero ed efficientamento del patrimonio edilizio tramite un approccio multi-scala, che integra la prospettiva del singolo edificio con quella urbana e di quartiere, in un'ottica partecipativa adattata a contesti di piccola o media dimensione, caratterizzati da limitato accesso a risorse economiche e umane. AUREE è stato implementato su un portale web con accesso gratuito e multiutente che dà informazioni sulla conformazione dimensionale, materica e prestazionale degli edifici e sulle ipotesi di recupero orientato all'efficienza energetica. L'intero portale si basa su un abaco degli edifici pubblici e privati che è stato realizzato a partire da una segmentazione e tipizzazione del patrimonio costruito. L'obiettivo del presente lavoro è appunto descrivere come si è arrivati a questa catalogazione e quali informazioni siano state inserite nel portale, al fine di poterlo utilizzare come strumento di agevolazione dei processi di miglioramento prestazionale del patrimonio stesso.

Accepted manuscript

4. METODOLOGIA

2.1 Segmentazione e caratterizzazione del patrimonio

È ormai da diversi anni che la comunità scientifica si interroga su come ottimizzare i processi conoscitivi del patrimonio costruito, necessari alla pianificazione e alla realizzazione di interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche, di diversa scala e profondità. Il problema più evidente da affrontare è quello di trovare un corretto bilanciamento tra l'impossibilità di esaminare nel dettaglio ogni singola unità edilizia e l'attendibilità dei dati necessaria a ottenere scenari di intervento realistici ed efficaci. Una conoscenza approfondita richiederebbe infatti tempistiche e costi eccessivamente elevati dal momento che le informazioni sull'edificato esistente sono carenti, frammentate e spesso, laddove originariamente presenti, si sono perse nel corso del tempo. Richiedono pertanto processi di indagine lunghi e dispendiosi per la loro ricostruzione. D'altro canto, però, la variabilità del patrimonio e la sua frammentazione comportano, in ogni seppur necessaria fase di aggregazione delle singole unità di indagine, approssimazioni che è necessario valutare e tenere sotto controllo, pena la non affidabilità dei dati di input dei modelli energetici e, quindi, dei loro risultati.

Gli approcci presenti in letteratura sono di diversa natura, ma è comunque possibile raggrupparli per caratteristiche omogenee. La prima differenziazione che può essere fatta è la suddivisione in approcci top-down e bottom up [8], rappresentata in Fig. 1. La terminologia fa riferimento alla posizione gerarchica degli input di dati rispetto al settore abitativo nel suo complesso. I modelli top-down utilizzano la stima del consumo totale di energia e altre variabili pertinenti per attribuire il consumo energetico alla classificazione dell'intero settore abitativo. Al contrario, i modelli dal basso verso l'alto calcolano il consumo energetico di singoli edifici o gruppi di essi e quindi estrapolano i risultati per rappresentare la scala territoriale.

L'approccio top-down determina l'effetto sul consumo energetico dei cambiamenti o delle transizioni a lungo termine che avvengono sul patrimonio, utilizzando indicatori macroeconomici (prodotto interno lordo, tassi di occupazione e indici dei prezzi), condizioni climatiche, tassi di costruzione/demolizione di abitazioni e stime della diffusione degli apparecchi utilizzatori e del numero di unità costituenti il patrimonio. L'approccio bottom-up comprende tutti i modelli che utilizzano dati di input di un livello gerarchico inferiore rispetto a quello del settore nel suo complesso. I modelli possono tenere conto del consumo energetico dei singoli usi finali, delle singole unità o dei gruppi di esse e quindi estrapolarli per rappresentare l'ambito territoriale di riferimento in base al peso rappresentativo del campione modellato. La varietà degli input di dati si traduce nei gruppi e nei sottogruppi di catalogazione.

Vengono principalmente utilizzati due categorie di metodi di analisi bottom-up: quelli statistici e quelli ingegneristici. I primi si basano su informazioni storiche e analisi di regressione che vengono utilizzate per attribuire il consumo di energia degli edifici a particolari usi finali. Una volta stabilite le relazioni tra gli usi finali e il consumo di energia, il modello può essere utilizzato per stimare il consumo energetico delle unità rappresentative dello stock edilizio. Questo tipo di metodi è capace di rappresentare con buona verosimiglianza l'andamento della domanda energetica del gruppo di edifici considerato in quanto implicitamente comprende la variabilità del fattore umano e del contesto, ma ha difficoltà a valutare l'effetto delle innovazioni tecnologiche in quanto non ha dei dati storici su cui basarsi. Inoltre, per garantire l'affidabilità dei risultati sono necessarie le serie storiche dei consumi reali, che non sempre sono disponibili con sufficiente completezza e dettaglio spaziale e temporale. Gli strumenti di questo tipo sono perciò principalmente adatti a contesti urbani dove questi dati siano facilmente reperibili presso servizi energetici municipalizzati come le reti di teleriscaldamento o la distribuzione del gas naturale che sono molto comuni nelle località a clima freddo, ma meno in contesti mediterranei. In questo caso, infatti, i sistemi autonomi sono preponderanti e caratterizzati da una forte variabilità di tecnologie. Inoltre, specialmente nei centri medio - piccoli, vi è una non trascurabile presenza di abitazioni sprovviste di sistemi di climatizzazione fissi o che utilizzano solo sistemi tradizionali. La raccolta di dati reali di consumo può richiedere una notevole quantità di risorse in quanto deve necessariamente considerare diverse fonti energetiche (elettricità, GAS, legna locale, biomassa, …) molte delle quali non contabilizzate.

I metodi ingegneristici tengono esplicitamente conto del consumo energetico degli usi finali in base alle loro caratteristiche e al profilo di utilizzo, attraverso relazioni deterministiche di trasferimento di calore e termodinamiche. I dati di input comuni ai modelli bottom-up includono proprietà degli edifici quali geometria, involucro, apparecchiature (impianti HVAC, illuminazione etc..), caratteristiche climatiche, nonché temperature interne, profili di occupazione e uso delle apparecchiature. Questo livello di dettaglio è un punto di forza di questi metodi e consente di modellare le opzioni tecnologiche e, conseguentemente, il consumo energetico di ogni uso finale e le ipotesi di miglioramento. Dal momento che il consumo energetico viene calcolato in maniera deterministica, l'approccio bottom-up può determinare il consumo totale di energia ad una data scala senza fare affidamento su dati storici. Lo svantaggio principale, causato dall'alto livello di dettaglio, risiede nella necessità di dati di input maggiori di quello dei modelli top-down e nelle tecniche di calcolo o simulazione che possono essere complesse. Risulta perciò necessario definire le procedure tramite un compromesso tra le finalità dello studio che determinano il dettaglio e l'affidabilità dei risultati e le risorse disponibili.

Accepted manuscript

Per gli scopi della presente ricerca è stato adottato un metodo bottom-up di tipo ingegneristico e pertanto l'analisi bibliografica si è incentrata su questa metodologia. I metodi ingegneristici si basano, per la valutazione dei consumi energetici degli edifici, sulla loro classificazione o sulle loro caratteristiche. I modelli possono essere semplici, come una stima del fabbisogno di riscaldamento basata sui gradi giorno invernali, o dettagliata, basata su calcoli termodinamici e di trasferimento di calore. Devono comunque essere assunte ipotesi sul comportamento degli occupanti, che possono avere notevoli margini di incertezza. In [8] sono classificati tre metodi di stima ingegneristica: distributivi, che utilizzano il confronto tra distribuzione degli usi finali, all'interno del patrimonio individuato, con valori di consumo standard; per archetipi, ovvero edifici rappresentativi (non necessariamente realmente esistenti) che consentono di classificare ampiamente il patrimonio in base all'epoca di costruzione, alle dimensioni, al tipo edilizio e così via; per campioni, ovvero l'utilizzo dei dati effettivi di edifici reali come input per il modello.
Per il caso di studio di Carbonia, come si dirà nel seguito, è stato scelto di adottare la metodologia basata sulla classificazione del patrimonio tramite archetipi. Questi sono edifici teorici creati componendo diverse caratteristiche che si trovano all'interno di una categoria di edifici con attributi simili [9]. Pertanto, un archetipo è una rappresentazione virtuale di un certo numero di edifici che condividono caratteristiche simili nello stock. Per creare gli archetipi è possibile seguire tre diverse metodologie. La prima prevede l'uso di edifici reali: all'interno del contesto in esame ne vengono selezionati alcuni più rappresentativi di una categoria specifica. Il processo di selezione viene eseguito attraverso un'analisi statistica al fine di individuare l'edificio reale con caratteristiche più simili a quelle medie del campione statistico (ad esempio: dimensione, layout, tecniche costruttive, ecc..). La seconda prevede l'uso di edifici esempio: si creano edifici virtuali che, per ogni classe di parametri, includono le caratteristiche più ricorrenti, sulla base di indagini di esperti e altre fonti di informazione. Si utilizzano nel momento in cui non sono disponibili dati statistici. L'ultima prevede l'uso di edifici sintetici medi: si creano edifici virtuali che, per ogni parametro pertinente, includono le caratteristiche più ricorrenti, utilizzando dati statistici di base. Si tratta quindi di una composizione statistica delle caratteristiche più frequenti presenti all'interno di una classe dello stock.

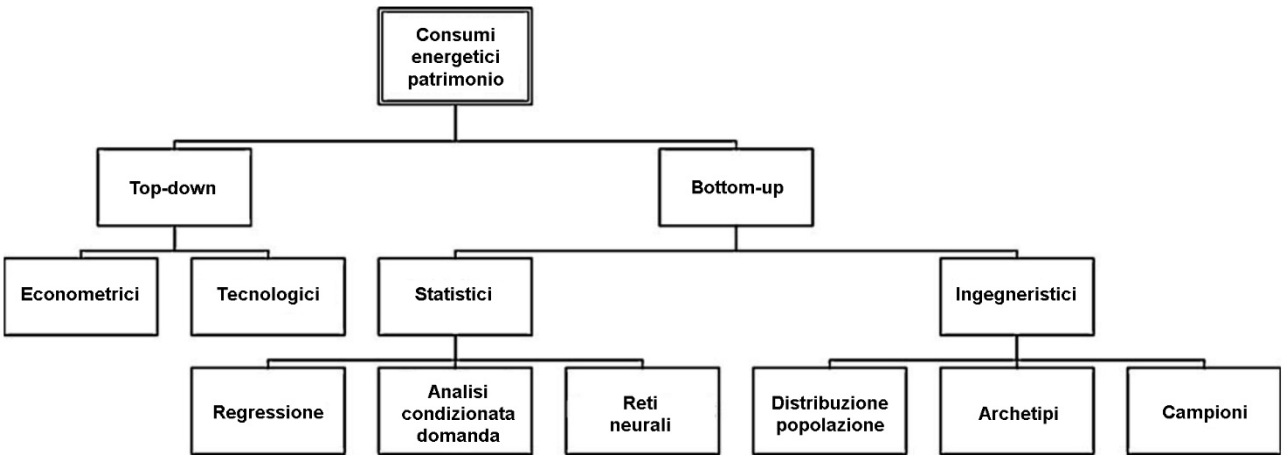

Fig. 1Panoramica sulle tecniche di modellazione energetica di patrimoni edilizi a scala urbana e territoriale. © 2021, Giuseppe Desogus

La descrizione di un patrimonio edilizio attraverso edifici archetipi può seguire quattro fasi: segmentazione, caratterizzazione, quantificazione e validazione della domanda finale di energia per un periodo di riferimento[10]. Nel processo di segmentazione viene determinato il numero di archetipi necessari per rappresentare lo stock edilizio dell'area di interesse. Il loro numero è ottenuto dalla combinazione dei diversi criteri di segmentazione. In genere questi possono essere: destinazione d'uso, numero di piani, aggregazione, anno di costruzione (la cui classificazione può essere determinata in base agli aggiornamenti sulla legislazione urbanistica o energetica, ma anche in base a eventi storici e a cambiamenti nelle tecnologie costruttive), tipo di impianto termico, zona climatica se l'area di interesse è sufficientemente vasta. Nella fase di caratterizzazione, ogni archetipo è descritto dalle sue caratteristiche tecniche, quali, ad esempio, superficie o volume riscaldato, superficie disperdente, caratteristiche costruttive e termiche dell'involucro, tipo di impianto termico, tassi di rinnovo dell'aria, set-point, etc. È importante evidenziare che segmentazione e caratterizzazione non sono concettualmente e cronologicamente distinte, infatti per procedere alla prima è necessario già individuare dei parametri che consentano il raggruppamento. Per poter però poi arrivare alla definizione delle prestazioni energetiche è spesso necessaria un'ulteriore qualificazione e quantificazione degli archetipi che rappresenta la fase vera e propria della

caratterizzazione. La fase di quantificazione determina la distribuzione degli edifici rappresentati da ciascun archetipo all'interno dello stock dell'area di riferimento. I valori di prestazione desunti per ciascun archetipo vengono perciò moltiplicati per un fattore di ponderazione che rappresenta la numerosità di ciascuna classe di segmentazione. Per convalidare il modello di aggregazione, la domanda finale di energia viene calcolata utilizzando gli archetipi e confrontando i risultati con i corrispondenti valori di consumo energetico dell'area di riferimento desunti da dati statistici. Queste operazioni costituiscono la fase di validazione.

Di tutte le fasi per la costruzione di un modello energetico a scala urbana o territoriale, sopra elencate, il presente contributo si incentra principalmente sulla segmentazione e, in parte, sulla caratterizzazione. Si è pertanto approfondita la ricerca bibliografica relativa a queste due fasi.

Al di là dell'utilizzo o meno degli archetipi, l'approccio più diffuso per definire edifici rappresentativi consiste nell'organizzarli in gruppi predefiniti chiamati anche "classi". Successivamente si procede a definire ulteriori divisioni di un set di dati, riferibile ad ogni caratteristica della classe individuata, con conseguente struttura gerarchica di gruppi e sottogruppi. I confini del gruppo sono in genere definiti manualmente (ad esempio decenni, se si tiene conto del periodo di costruzione) e gli edifici vengono assegnati a un dato gruppo a seconda dei loro valori rispetto ai confini del gruppo; tale approccio può essere definito "raggruppamento supervisionato". Questa tecnica è stata applicata a molteplici casi di studio a diverse scale spaziali, da un singolo distretto, alla a scala urbana, fino a quella nazionale. I parametri più comuni considerati sono: età di costruzione, destinazione d'uso, dimensioni o parametri relativi alla forma edilizia; clima (o ubicazione), se si opera ad esempio su scala nazionale. La numerosità delle classi può variare considerevolmente ed in letteratura sono riscontrabili classi con un minimo di 17 fino ad un massimo di 500.000 edifici[11].

Un altro approccio talvolta utilizzato per la segmentazione del patrimonio costruito è il clustering. Si tratta di una tecnica, che può essere definita "non supervisionata" e che consiste nell'applicare un algoritmo che raggruppa gli oggetti (ovvero gli edifici), a seconda della loro posizione in uno spazio multidimensionale. Contrariamente agli approcci supervisionati, il clustering non si basa su gruppi predefiniti. Esiste un gran numero di algoritmi di clustering in letteratura. Questi differiscono in termini, ad esempio, di parametri, di processo di raggruppamento o di risultati (come la forma del cluster). Il numero di gruppi è in genere un risultato dell'analisi: l'algoritmo viene solitamente eseguito imponendo un range di gruppi, ad esempio da due a venti e la partizione migliore viene selezionata analizzando i risultati. Come si vedrà in seguito, data la peculiarità del patrimonio costruito di Carbonia, tra i vari approcci suggeriti in letteratura, si è optato per quello supervisionato.

Sono stati successivamente analizzati anche i parametri di segmentazione dei principali studi riscontrati in letteratura. In maniera quasi unanime, i primi parametri di classificazione individuati sono il tipo edilizio e l'età di costruzione [12]. Il tipo edilizio viene generalmente definito in termini di superficie e di aggregazione delle unità immobiliari, che sono spesso correlate. Entrambe hanno una rilevanza evidente sulla prestazione energetica: la dimensione influenza evidentemente il consumo complessivo ed il sistema aggregativo incide sul rapporto fra superficie disperdente e volume riscaldato. È quindi evidente che le case indipendenti, bifamiliari o a schiera hanno fabbisogni di riscaldamento e consumo energetico diversi. Anche l'età dell'edificio influisce in maniera significativa sui consumi. Innanzitutto, le tecniche costruttive (materiali e stratigrafie) sono riferibili ad un dato periodo storico, in quanto frutto dell'evoluzione tecnologica. In tempi recenti, questa è stata anche influenzata, ed è quindi riferibile, alle normative in materia di contenimento della prestazione energetica degli edifici. Gli studi storici sull'evoluzione delle città dimostrano, inoltre, che l'età di costruzione ha un'influenza anche sui tipi aggregativi. L'interdipendenza tra parametro temporale e tipologico suggerisce che la scelta della priorità dell'uno o dell'altro abbia degli effetti sulla segmentazione. Prediligere acriticamente la seconda alla prima può portare, ad esempio, all'utilizzo di classi che si possono rivelare non popolate, se il tipo edilizio non è presente in una determinata fascia storica. Non bisogna inoltre sottovalutare come esista, sempre al livello urbano, una correlazione fra localizzazione geografica e fascia storica, dato che, come è noto, le città hanno, nella maggior parte dei casi, un'evoluzione centripeta a partire dal nucleo più antico. C'è anche un altro aspetto che rende imprescindibile il parametro temporale, specialmente nelle analisi condotte su patrimoni edilizi italiani, ed è quello relativo ai vincoli di intervento dovuti al carattere storico degli edifici. In alcuni studi, come in [13], la segmentazione è condotta introducendo sottoclassi che tengono conto del livello di tutela a cui sono sottoposti gli edifici. Questi si riflettono, non solo sulla prestazione energetica, ma anche, e soprattutto, sulle potenzialità di miglioramento prestazionale. Per queste ragioni, anche nel caso di Carbonia, che presenta un'evoluzione peculiare e dei vincoli di tutela particolari, è stata data precedenza, nella segmentazione, al parametro storico.

Per quanto riguarda i parametri tipologici del patrimonio edilizio italiano, sono presenti in letteratura alcuni studi che propongono una classificazione idonea allo scenario nazionale. In [14] sono proposti 4 archetipi, che differiscono per dimensioni, numero di piani e fattore di forma (S/V). Questi sono: tipo isolato o bifamiliare a due piani, che rappresenta gli edifici tipici delle aree abitative a bassa densità, generalmente caratterizzati da un fattore di forma compreso tra 0,5 e 1; edificio rettangolare a cinque piani, che rappresenta i blocchi di linea delle aree urbane a media-alta densità,

Accepted manuscript

caratterizzato da un fattore di forma medio di circa 0,4; edificio di dieci piani, che rappresenta i blocchi a torre delle aree urbane ad alta densità, con un fattore di forma compreso tra 0,25 e 0,45 e infine blocco a patio centrale a quattro piani tipico di abitazioni a media-alta densità che è caratterizzato da una grande "corte" e può occupare un intero blocco urbano.

2.2 L'articolazione del portale AUREE

Scopo del progetto, oltre alla segmentazione e caratterizzazione del patrimonio, è anche l'integrazione di una lettura del patrimonio per tipi edilizi, generalmente alla base della redazione di linee guida ed abachi, con le capacità di elaborazione, rappresentazione e condivisione delle informazioni spaziali proprie degli strumenti GIS, nell'ottica di superare l'attuale divario di diffusione delle informazioni verso gli operatori tecnici professionali e la cittadinanza. Lo strumento ideato per supportare i processi di efficientamento energetico e recupero del patrimonio edilizio urbano è basato su un portale (Web – GIS, GeoBlog) che contiene alcune interfacce specifiche volte a condividere le conoscenze sul patrimonio edilizio e promuovere la partecipazione delle parti interessate della comunità locale.

Si basa sulla condivisione di una rappresentazione geografica dello stato attuale del patrimonio edilizio pubblico e privato principalmente focalizzata sulle tematiche della efficienza energetica che attraverso specifiche interfacce promuove la partecipazione dei principali tipi di attori coinvolti nel processo: occupanti delle unità immobiliari, decisori della Pubblica Amministrazione, operatori del settore (imprese, professionisti, ..) o altri attori portatori di un interesse più generico.

La metodologia, principalmente pensata per città italiane di media e piccola dimensione, si basa su fonti informative comunemente disponibili nel territorio nazionale come gli OPEN data geografici (GeoDB regionali, Dati ISTAT, etc.), la conoscenza del patrimonio edilizio legata alla pianificazione urbana locale ed i riferimenti disciplinari tematici (le normative tecniche, studi scientifici e letteratura grigia, etc.). Tali dati di base possono essere eventualmente integrati con speditive attività di rilievo urbano facilmente compatibili con gli approcci conoscitivi comunemente utilizzati nell'ambito della redazione dei moderni strumenti urbanistici (PRG, Pianificazione Attuativa, etc.).

Il caso di Carbonia sviluppato per definire e testare la metodologia, per quanto caratterizzato dalla ricchezza di informazione sulla città di Fondazione che ne fa un caso ideale, è basato su tipi di dati di base che possono essere considerati "comunemente disponibili" nel contesto regionale e probabilmente nazionale:

- Base Topografica coerente con gli standard INSPIRE resa disponibile come Open Data dalla Regione Autonoma della Sardegna (RAS) per ogni centro urbano (Data Base GeoTopografico 1: 2000 - DBGT), dal quale si possono ricavare la consistenza del patrimonio ed il riferimento spaziale alla base della metodologia.
- La conoscenza sul patrimonio edilizio e sulle regole per la sua modifica ricavabile dagli strumenti di piano locali (Piano Urbanistico Comunale -PUC e Piano Particolareggiato del Centro Storico - PPCS), per la redazione dei quali la RAS ha emanato delle linee guida abbastanza stringenti che garantiscono una certa omogeneità nella struttura della conoscenza di sfondo e nella normativa nelle diverse municipalità.
- Gli strumenti interpretativi contenuti nelle normative tecniche a carattere nazionale e la conoscenza sintetizzabile dalla letteratura scientifica;
- Altri Open Data geografici utili a descrivere il contesto (Dati ISTAT, Vincolistica Regionale, beni paesaggistici, etc.).

L'approccio metodologico seguito è stato perciò quello di combinare un protocollo di analisi e di rappresentazione del patrimonio edilizio (descritto nel paragrafo precedente) ed implementato su base geografica, con uno strumento di comunicazione e coinvolgimento degli attori locali sviluppato su portale WEB GIS organizzato in tre sezioni principali che contengono le basi informative del portale ed alcune specifiche interfacce per l'interazione con gli attori locali (Fig. 2):

- Patrimonio pubblico: costituisce uno strumento di supporto alla gestione energetica di qualità dell'edificio rivolto alla PA, ma anche uno strumento per condividere i valori del patrimonio e rendere più trasparente la gestione dell'energia nella PA;
- Patrimonio residenziale: contiene la rappresentazione spaziale delle prestazioni energetiche del patrimonio edilizio e punta a coinvolgere direttamente gli occupanti delle unità;
- Abaco Geografico: raccoglie e riordina la conoscenza sugli elementi ricorrenti del patrimonio edilizio su base spaziale GIS, favorendone la diffusione anche a un pubblico non tecnico.

Considerando le differenze di valore e di complessità tra gli edifici pubblici ed il resto del patrimonio prevalentemente dedicato alla residenza privata, lo strumento adotta due approcci conoscitivi e di rappresentazione differenti.

Nel caso degli edifici pubblici, oltre ad una tipizzazione e classificazione volta ad esplicarne gli elementi ricorrenti, si è proposto un protocollo basato su procedure di AUDIT energetico del profilo d'uso reale e su strumenti di monitoraggio tramite sensori (comfort, consumi, gestione impianti). Tale approccio permetterà all'utente generico di consultare una rappresentazione geografica della consistenza del patrimonio dove siano presenti anche informazioni aggiornate

Accepted manuscript

periodicamente provenienti dai sensori (trasparenza energetica). Inoltre, permetterà di sviluppare delle interfacce su base geografica dedicate ai gestori degli edifici pubblici per supportare le fasi di progetto, realizzazione, monitoraggio e gestione degli interventi sugli edifici pubblici tramite approcci BIM. Lo strumento può essere di supporto ai programmi di efficientamento energetico del patrimonio della PA, che si scontra con una cronica mancanza di informazioni organizzate ed orientate allo scopo.

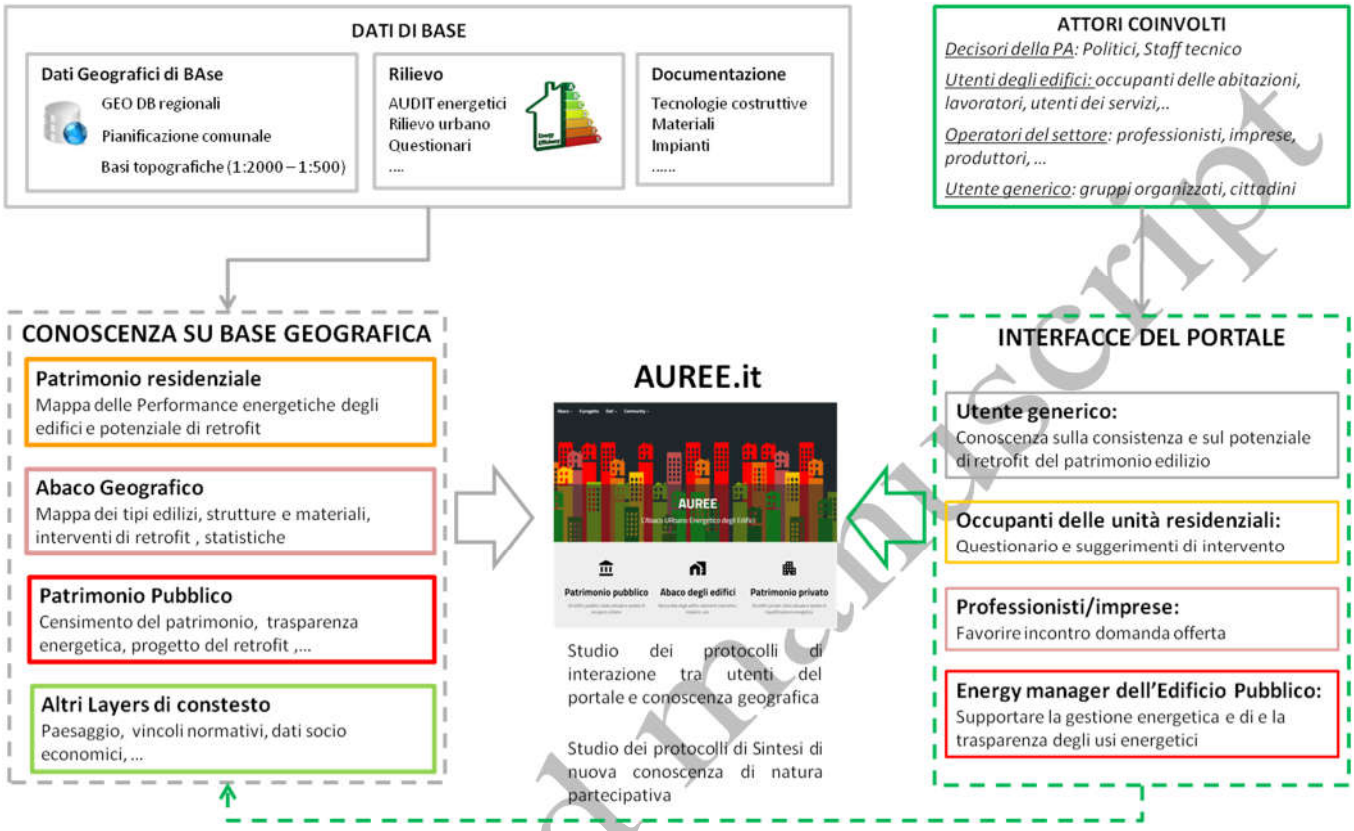

Fig. 2Struttura generale del portale AUREE. © 2021, Stefano Pili

Per il patrimonio edificato residenziale, obiettivo del presente lavoro, considerando la sostanziale mancanza di dati sulle sue reali condizioni d'uso, si è proposto un approccio basato sullo studio delle tipologie edilizie e dei suoi elementi ricorrenti (abaco) accoppiato allo sviluppo di modello energetico alla scala urbana (Urban Building Energy Modelling – UBEM)[15], utile a valutare preliminarmente il potenziale di retrofit del patrimonio edilizio. Sfruttando le capacità di elaborazione tipiche dell'ambiente GIS, si è previsto perciò di impostare un UBEM di tipo ingegneristico che adotta un approccio per tipi edilizi capace di calcolare la prestazione energetica di ogni edificio sulla base:

- delle geometrie ricavabili per ogni edificio dalla base topografica (superfici disperdenti, volumi, etc.);
- delle caratteristiche tipologiche del sistema edificio-impianto impostato tramite uno studio basato sul contesto locale, con il quale classificare tutto il patrimonio residenziale;
- di una semplificazione degli algoritmi proposti dalla normativa vigente in materia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici.

5. RISULTATI

3.1 Abaco tipologico- costruttivo della città di Carbonia

La città di Carbonia è una delle poche città di fondazione presenti in Italia. Questo significa che non ha avuto un'evoluzione storica graduale, ma parte del suo patrimonio è frutto di un atto insediativo concentrato nel tempo, avvenuto a cavallo della Seconda guerra mondiale. Questo periodo rappresenta quindi uno spartiacque storico che individua un momento antecedente ed uno successivo l'epoca di fondazione. Ciò è fortemente caratterizzante ed è stato assunto come primo principio di segmentazione. Per questo motivo, e sulla base dello studio metodologico sopraesposto, è stato deciso di adottare un approccio bottom-up di tipo ingegneristico, basato su archetipi. Questi sono del tipo, come si vedrà nel seguito, "edificio reale" ed "edificio esempio". Il raggruppamento è stato eseguito per via supervisionata,

Accepted manuscript

anche grazie alla consistente mole di studi condotti sugli edifici dell'epoca di fondazione. Per contro, assai scarsi sono risultati i dati statistici in grado di consentire un clustering basato su algoritmi. Il primo parametro è, quindi, temporale, con tre valori attribuiti: pre-fondazione, fondazione e post-fondazione. Il secondo valore è invece tipologico e la sua definizione è strettamente correlata alla classificazione temporale.

Per quanto attiene il periodo pre-fondazione, sono stati riscontrati solamente alcuni casi di edifici riconducibili a quelli esistenti prima dell'inizio dell'attività estrattiva. Come testimoniano gli studi sull'architettura tradizionale del Sulcis [16], il tipo più ricorrente nella zona era quello del *medau*. È stato pertanto assunto come archetipo "di esempio" quello riportato in bibliografia. Per questo archetipo non è stata introdotta nessuna classificazione gerarchicamente inferiore. Le caratteristiche costruttive sono definite univocamente sulla base degli studi sull'architettura tradizionale.

Per quanto riguarda il periodo di fondazione, questo racchiude il patrimonio realizzato in un arco temporale molto breve che si articola in due fasi successive. La prima fase caratterizzata dalla realizzazione attorno alla miniera di Serbariu della città giardino residenziale e dei principali edifici direzionali ascrivibile al periodo 1937-39 e la seconda fase, quella della "grande Carbonia" che si sviluppa con modelli residenziali più intensivi, dal 1940 fino agli anni immediatamente successivi alla seconda guerra mondiale [2]. In questo caso non è possibile parlare di veri e propri tipi, quanto di modelli di edifici, la cui ripetizione seriale determina lo sviluppo del tessuto urbano. È evidente quindi che gli archetipi non possono essere del tipo "esempio" quanto piuttosto edifici realmente esistenti. Se dal punto di vista morfologico è presente indubbiamente una grande varietà di modelli, non altrettanto può dirsi per i materiali e le tecniche costruttive. I ferrei limiti imposti dal regime autarchico hanno, di fatto, ridotto le procedure costruttive ed i materiali utilizzabili. In particolare, la scelta nazionale di limitare nel comparto edile l'uso dell'acciaio (bene di importazione destinato principalmente ad usi bellici) ha fatto prevalere le tecniche murarie a discapito di quelle in c.a. Solamente nella seconda fase di edificazione (dal 39 in poi), è possibile reperire qualche variante ai caratteri dominanti della prima fase di edificazione. Ogni archetipo "modello" ha inequivocabilmente le stesse caratteristiche costruttive, peraltro univocamente definibili dagli approfonditi studi condotti in materia, e pertanto non è stata necessaria un'ulteriore sotto-classificazione [17]. Fanno eccezione a questa regola le superfetazioni applicate al patrimonio originario della fondazione. Terminato il ferreo controllo da parte della Società carbonifera, proprietaria di tutto, suolo e sottosuolo (comprese le reti fondamentali), case, attrezzature e spazi pubblici, la dimensione da existenz minimum degli alloggi ha rivelato ben presto il suo carattere costrittivo, facendo esplodere la conflittualità tra gli interessi più o meno elevati dei cittadini e ciò che rimaneva della proprietà pubblica degli spazi di vita di Carbonia. Questo è particolarmente evidente nelle unità diffuse della prima fase, piuttosto che nelle case intensive della seconda. Nelle prime è stata infatti condotta una privatizzazione frammentata, che ha portato con sé una serie di modificazioni caotiche, a testimonianza di una sostanziale insofferenza da parte delle famiglie rispetto alle costrizioni e ai vincoli dei contenitori originari. Le superfetazioni sono riconducibili ad alcune casistiche ricorrenti: chiusura del perimetro di recinzione delle unità; intasamento del lotto con nuovi corpi per lo più utilizzati come rimesse per l'automobile o funzioni integrative della residenza; intasamento degli originari stradelli d'accesso alle unità abitative; alterazione dei corpi "puri" originari mediante superfetazioni costituite da volumi per servizi igienici o vani aggiuntivi; aggiunta di balconi, tettoie, chiusure parziali o precarie. La presenza di queste alterazioni ha comportato necessariamente l'introduzione della classe "modelli di fondazione modificati" fra gli archetipi di questo periodo. Data la non omogeneità degli interventi, è stato necessario ricorrere ad archetipi di modificazione "di esempio" e sotto-classificare le superfetazioni in funzione dell'arco temporale (desumibile dallo studio delle aerofotogrammetrie storiche) e delle tecniche (principalmente di autocostruzione) adottate.

Oltre ad una modificazione del centro originario, Carbonia ha assistito, dalla fase di fondazione in poi, anche ad un'espansione territoriale, analoga ad altri centri delle medesime dimensioni. L'espansione è avvenuta principalmente nella zona sud lungo le direttrici est ed ovest, anche se in alcuni casi è stato possibile rilevare il "riempimento" di alcune zone interne al centro di fondazione lasciate inedificate dopo gli anni '40. I piani di espansione sono stati presentati sia da privati, sia dallo IACP. I primi sono caratterizzati principalmente da unità abitative singole o bifamiliari, mentre i secondi da edifici multipiano di dimensioni maggiori. Sotto il profilo tipologico, questa espansione presenta tipi che sono ricorrenti in tutte le città italiane nel medesimo periodo storico. È stato pertanto fatto riferimento agli archetipi elencati in [14], con l'aggiunta del tipo a schiera non presente nella pubblicazione citata, che invece si rileva di frequente nelle zone di espansione di Carbonia. Inoltre, un'analisi del tessuto urbano ha evidenziato un'evoluzione della complessità delle abitazioni mono e bifamiliari che ha richiesto la segmentazione in due tipi differenti. È stato scelto di adottare archetipi di "esempio" e non reali a causa della scarsa omogeneità dimensionale e costruttiva del patrimonio di quest'arco temporale e della difficoltà di reperire informazioni dettagliate su edifici residenziali, oggetto di piani di edificazione privati. A differenza della segmentazione del patrimonio di fondazione, che ha un arco di realizzazione temporale molto limitato, per i tipi post-fondazione il periodo di realizzazione incide in maniera significativa sulle caratteristiche costruttive, anche, ma non solo, in virtù dell'entrata in vigore di normative in materia di risparmio energetico. Per questo motivo alcuni archetipi hanno avuto un'ulteriore classificazione in funzione dell'epoca di realizzazione. La strategia di segmentazione è

Accepted manuscript

riportata in Fig. 3. Per ogni archetipo sono state redatte delle schede tipologiche, contenenti dati dimensionali, morfologici e distributivi, che sono state poi la base per la rappresentazione grafica sul portale (Fig. 3). Tenendo conto di tutta la gerarchizzazione dei parametri di segmentazione sono stati individuati 54 archetipi (1 pre-fondazione, 26 di fondazione, 9 per le modifiche su modelli di fondazione e 18 post-fondativi).

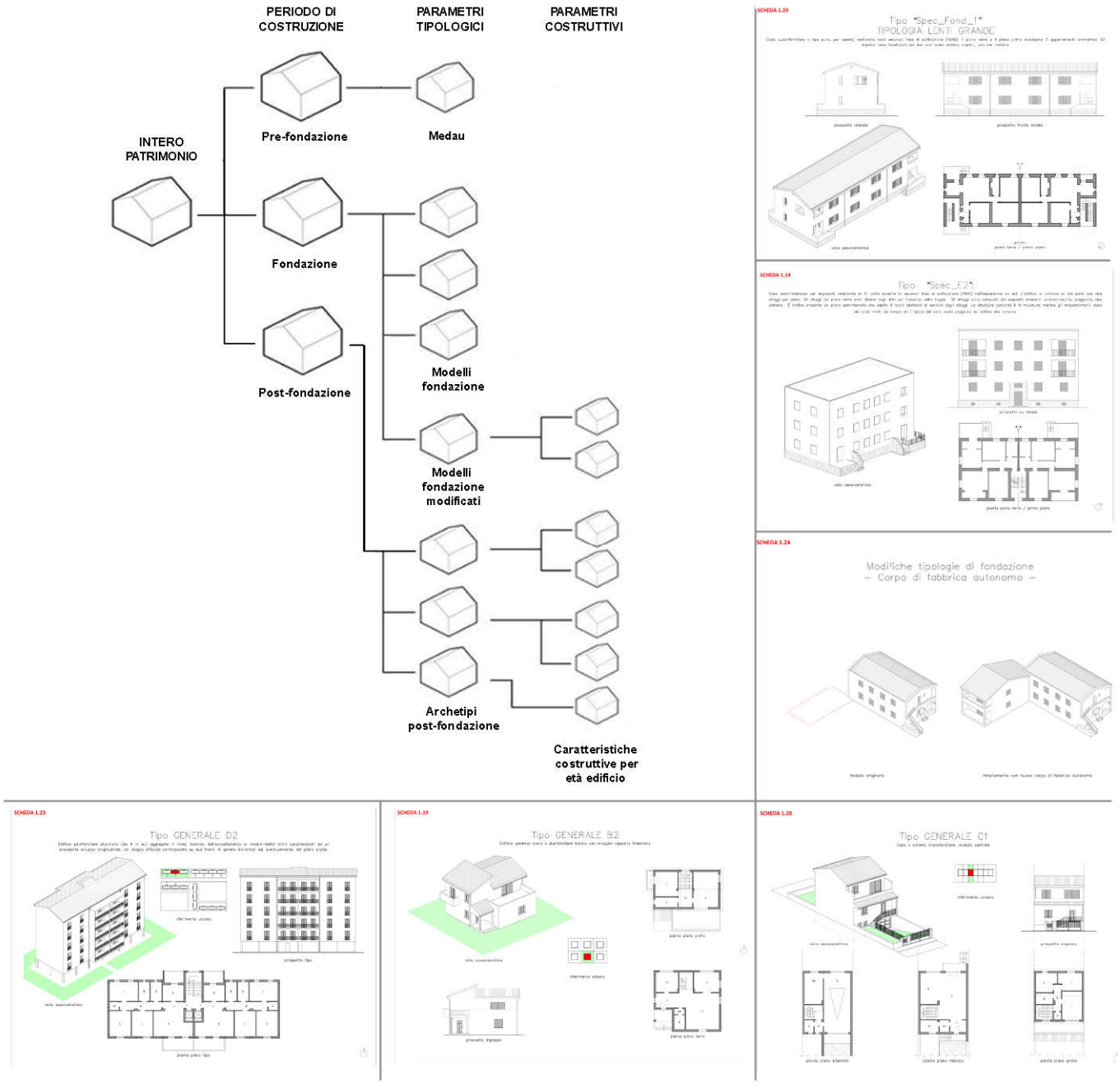

Fig. 3Nel riquadro grande: schema di segmentazione del patrimonio con gerarchizzazione dei relativi parametri. Nei riquadri piccoli in senso orario partendo dall'alto: scheda tipologica di un modello di fondazione quadrifamiliare della prima fase, di un modello di fondazione intensivo della seconda fase, dell'archetipo di modificazione "Corpo di fabbrica aggiunto"' di un archetipo a schiera, isolato ed in linea del periodo post-fondazione. © 2021, Giuseppe Desogus e Andrea Dessì

Per la caratterizzazione degli archetipi sono stati riutilizzati i parametri dimensionali, desumibili dalle schede tipologiche elaborate a cui sono state aggiunte in primis le caratteristiche costruttive dell'involucro. Queste sono state desunte per gli archetipi pre-fondazione da [16], per gli archetipi di fondazione da [18], mentre per quelli post-fondazione, inclusi quelli di modificazione, conducendo un'analisi puntuale delle tecniche costruttive adottate nella zona dal secondo dopoguerra in poi, anche in considerazione dell'entrata in vigore delle varie normative sull'efficienza energetica degli edifici. Gli

elementi dell'involucro sono stati definiti anche sotto il profilo termico, individuandone le principali prestazioni (trasmittanza termica stazionaria, periodica, etc..).
Questi dati sono stati la base per la definizione delle prestazioni energetiche degli archetipi, redatta ai sensi della normativa vigente, dall'unità operativa del progetto afferente al Dipartimento di Ingegneria Meccanica Chimica e dei Materiali dell'Università di Cagliari. Una volta definiti i caratteri dello status quo del patrimonio, sono stati individuate alcune ipotesi migliorative. Sono state redatte due matrici, la prima relativa all'applicabilità delle più diffuse misure di efficientamento energetico. I gradi di applicabilità sono stati definiti in funzione dei vincoli imposti dalla normativa di tutela del patrimonio, principalmente di fondazione. Una seconda matrice è invece relativa all'efficacia degli interventi migliorativi, che è stata definita sulla base delle prestazioni attuali degli elementi costruttivi degli archetipi. Entrambe sono state utilizzate per disegnare tre scenari di intervento, con diversa scala di impatto sia architettonico che economico, per ognuno dei quali è stato stimato, dalla medesima unità operativa del progetto, il miglioramento prestazionale complessivo. Tutte i risultati sono stati rappresentati attraverso il portale, come descritto nel seguito.

3.2 La rappresentazione del patrimonio attraverso il portale

L'abaco tipologico-costruttivo è stato anzitutto georeferenziato, associando ad ogni entità individuata sul sistema geografico il relativo archetipo (Fig. 4). Attraverso un'interfaccia informatica appositamente creata, l'abaco è stato trasformato in una base di dati relazionale con elementi alfanumerici o grafici. La trasposizione è avvenuta attraverso "dizionari" tabellari articolati, in genere, in record con chiave pari al codice dell'archetipo e campi relativi ai dati di caratterizzazione. Per elementi ricorrenti in più archetipi, quali ad esempio le stratigrafie murarie, sfruttando le potenzialità relazionali del database, sono stati realizzati dizionari descrittivi più specifici, collegati a quelli degli archetipi. I dizionari sono stati caricati sul portale che è collegato anche al sistema informativo geografico. La rappresentazione dei dati avviene attraverso una scheda dalla quale si può accedere direttamente dal GIS, che raccoglie e riordina la conoscenza sugli elementi ricorrenti del patrimonio edilizio per tipo, favorendone la diffusione anche a un pubblico non tecnico. Tramite questa sezione l'utente può consultare la mappa delle tipologie edilizie e attraverso una rappresentazione organizzata per livelli successivi di approfondimento apprendere le nozioni essenziali inerenti al sistema edificio- impianto e le principali tecnologie di retrofit.
La scheda di rappresentazione è articolata in diverse sezioni. La prima è relativa alle caratteristiche tipologiche ed alla consistenza del patrimonio. Sono indicate informazioni quali l'età di realizzazione, la percentuale di presenza dell'archetipo sull'intero stock abitativo e la diffusione temporale. È inoltre possibile accedere alla rappresentazione tipologica di dettaglio di cui si è detto nel paragrafo precedente (Fig. 4). Nella seconda sezione sono riportate le caratteristiche prestazionali dell'involucro allo stato attuale, con descrizione delle stratigrafie, dei valori dei parametri termici, sia per via grafica che analitica e con un collegamento agli elaborati costruttivi di dettaglio realizzati per la tipizzazione del patrimonio (Fig. 5).

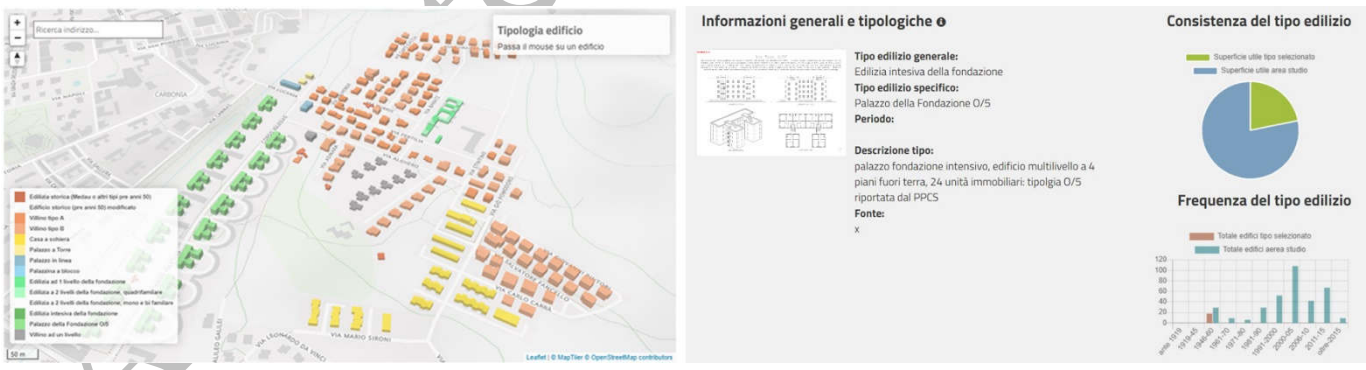

Fig. 4A sinistra: individuazione sul sistema geografico informativo degli archetipi di una porzione del tessuto urbano di Carbonia. A destra: prima sezione della scheda descrittiva del portale con i principali dati tipologici. © 2021, Giuseppe Desogus e Stefano Pili

La terza parte della scheda è dedicata alla classificazione energetica attuale dell'archetipo (nel caso di archetipi pluripiano composti da più unità abitative, è possibile evidenziare i dati piano per piano) ed alla descrizione di differenti scenari di intervento e dei relativi effetti prestazionali, nonché dei costi per la loro realizzazione. I dati energetici riportati fanno riferimento ai servizi di riscaldamento, raffrescamento e produzione ACS. L'ultima parte della scheda è interfacciata con il sistema di raccolta informazioni direttamente dagli utenti del portale. Questo, infatti, consente di somministrare questionari ai proprietari/occupanti del patrimonio inerenti informazioni non presenti direttamente sul portale (es: condizioni di comfort interne alle abitazioni) o di approfondimento e verifica di quelle già presenti (es: consumi energetici reali desunti da bollette). Il fluire dei dati partecipativi raggruppati per tipo edilizio porterà all'aggiornamento delle definizioni stesse degli archetipi utilizzati nell'UBEM permettendo di ricavare una migliore rappresentazione della

Accepted manuscript

diffusione locale degli elementi che caratterizzano le prestazioni e le modalità di retrofit del sistema edifico – impianto come: la diffusione locale delle tipologie impiantistiche, lo stato di manutenzione di struttura ed impianti ed il profilo d'uso. Il questionario, inoltre, integrato con altri tematismi, potrà esser utilizzato per impostare anche studi su altre tematiche inerenti al patrimonio edilizio ed il contesto urbano, le potenzialità di questo strumento saranno oggetto di una futura memoria.

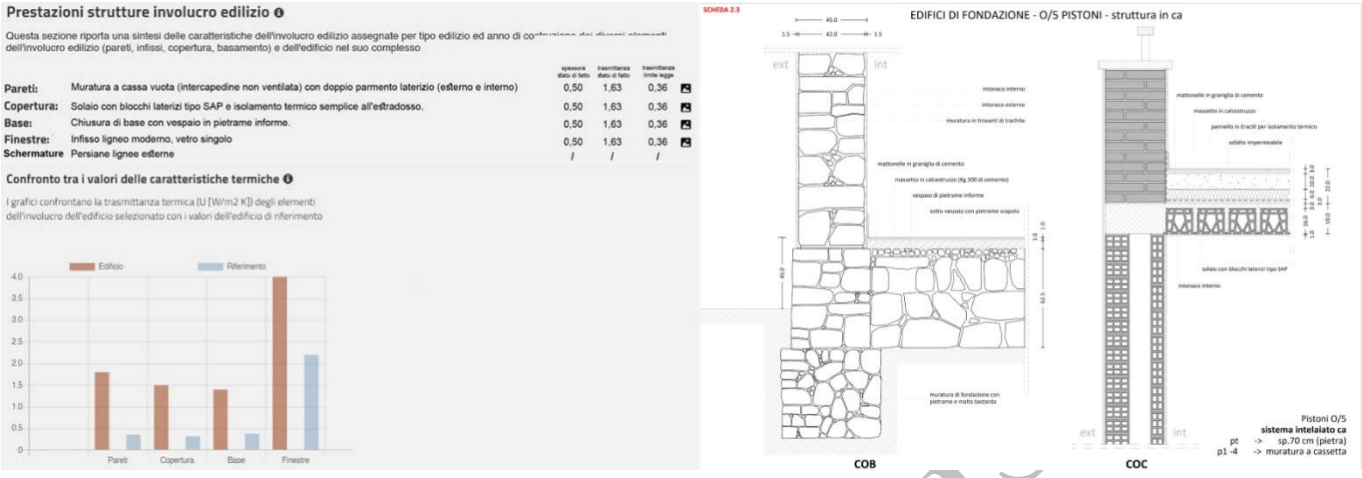

Fig. 5A sinistra: Seconda sezione della scheda archetipo con l'indicazione delle prestazioni termiche delle chiusure in riferimento anche ai valori di legge. A destra: Esempio di scheda stratigrafica visualizzabile attraverso i link presenti nella scheda archetipo. © 2021, Giuseppe Desogus, Stefano Pili e Andrea Dessì

6. CONCLUSIONI

Il lavoro finora condotto sul portale AUREE si configura senza dubbio come una fruttuosa ed interessante evoluzione degli studi condotti dal DICAAR sulla città di Carbonia e sul suo patrimonio di fondazione. L'approccio sperimentato ha previsto lo sviluppo di un semplice modello ingegneristico basato su archetipi e l'impostazione di una attività di rilievo urbano, compatibile con le dimensioni limitate del centro, volta ad assegnare il tipo edilizio agli edifici dell'area di studio. Lo studio tipologico è basato sulla conoscenza disponibile nel contesto e sulla individuazione di alcune configurazioni del sistema edificio impianto più diffuse, ma si integra con uno strumento partecipativo volto ad arricchirne i contenuti e la rappresentatività soprattutto per quanto riguarda gli impianti ed i profili d'uso del patrimonio, che sono gli elementi caratterizzati da maggiore variabilità.

Il patrimonio di Carbonia è caratterizzato dall'edilizia della Fondazione, per la quale è disponibile una corposa conoscenza di base, e da edifici appartenenti all'edilizia tradizionale e all'edilizia post guerra, per i quali il dettaglio informativo di base è molto minore e paragonabile a quello comunemente disponibile per gli altri centri urbani della regione. La presenza di diversi livelli conoscitivi di base del patrimonio edilizio ha permesso di sperimentare la metodologia e le procedure in modo che siano applicabili sia al patrimonio edilizio generico tipicamente diffuso nel Sud Sardegna, che in situazioni con maggiore disponibilità di informazioni di base come quelle tipicamente reperibili dagli strumenti di pianificazione urbana attuativa e particolareggiata.

In particolare, è risultata molto efficace l'interazione tra le istanze di tutela e conservazione e quelle del miglioramento prestazionale. Da un lato la presenza di un patrimonio di pregio, sebbene pesantemente modificato nel tempo, consente di avere accesso a studi molto approfonditi sulla consistenza degli edifici tutelati e sulle loro caratteristiche. Questo si traduce nell'individuazione di archetipi reali che riducono sensibilmente il margine di incertezza della modellazione. Ciò consente una migliore calibratura dei modelli energetici a scala urbana, che sono stati impiegati nel progetto, anche se non direttamente descritti nel presente contributo. Dall'altro lato, la coesistenza di informazioni sulla tutela e sul miglioramento prestazionale consente di ottimizzare la scelta delle ipotesi di intervento nell'ottica di preservare i caratteri storici del patrimonio.

Al momento è operativa una versione del portale articolata sull'abaco tipologico, sul modello energetico urbano e sulla catalogazione degli edifici pubblici[7].Questa è disponibile liberamente nel web, e consente fin da ora il coinvolgimento della comunità locale al fine di valutare quantitativamente e qualitativamente il flusso informativo di origine partecipata.

L'obiettivo per il futuro è quello di ottenere mappe tematiche inerenti alle prestazioni energetiche del patrimonio attraverso le quali gli occupanti delle abitazioni, dopo essersi opportunamente registrati, potranno accedere ad una interfaccia specifica. Tali interfacce riporteranno le informazioni dello studio tipologico ed i risultati preliminari dell'UBEM, ma chiederanno all'utente di rispondere ad un breve questionario inerente al proprio profilo d'uso (presenza,

Accepted manuscript

tempo, comfort, etc.) che poi verrà utilizzato dal sistema per generare dei consigli più specifici per interventi di efficientamento. I dati ricavati tramite i questionari sono anche raccolti e rappresentati per tipologia edilizia nella sezione Abaco, arricchendo la caratterizzazione alla base dell'UBEM stesso con dati di natura partecipata. Il modello energetico, o semplicemente le statistiche ricavate per tipologia edilizia, si possono aggiornare dinamicamente attraverso l'interazione degli utenti del portale delineando uno strumento che potrà anche essere usato dall'Amministrazione Comunale per impostare strategie e programmi di recupero ed efficientamento a scala urbana o semplicemente come conoscenza di sfondo tematica per la pianificazione particolareggiata.

Anche gli operatori economici del settore potranno registrarsi nel portale compilando una apposita sezione di profilo dove elencare i servizi offerti ed inserire eventuali casi di successo locali nell'uso di tecnologie o approcci al progetto innovativi. In questo modo sarà possibile creare un ponte tra domanda ed offerta di interventi migliorativi. Se contattati dal proprietario o da un referente, i professionisti e le imprese potranno accedere ad una scheda riassuntiva delle caratteristiche essenziali dell'edificio e tramite il portale potranno sviluppare una conoscenza più approfondita sulla domanda locale in modo da poter calibrare meglio la propria offerta. Lo strumento si presenta quindi anche come un possibile contributo per ridurre l'asimmetria informativa nei vari passaggi del processo edilizio che mina spesso la realizzazione di interventi di qualità.

L'approccio è sviluppato per il tema della efficienza energetica, tuttavia una volta testata la struttura delle informazioni e lo strumento di comunicazione, grazie alla modularità dell'ambiente GIS sarà possibile integrare su base spaziale anche tematismi di altra natura non direttamente legati alla tematica originaria, al fine di esplorarne le relazioni. Alle sezioni collegate a specifiche interfacce si possono aggiungere tutti i layer del contesto che si configurano come un insieme aperto di tematismi, che possono influenzare le potenzialità del recupero del patrimonio. Non si tratta di una semplice raccolta di vincoli normativi, ma di un sistema che crea una conoscenza di sfondo condivisa tra i decisori e gli operatori del settore per indirizzare verso lo sviluppo di approcci olistici al progetto a scala urbana.

7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] G. M. Peghin eA. Sanna, *Carbonia città del Novecento. Guida all'architettura moderna della città di fondazione*. Skira Editore, 2009.

[2] A. Sanna e G. Monni, *Carbonia. Progetto e costruzione al tempo dell'autarchia*. Monfalcone: EdicomEdizioni, 2020.

[3] L. De Santoli, "Guidelines on energy efficiency of cultural heritage," *Energy Build.*, vol. 86, pp. 534–540, 2015.

[4] C. Crova, "Le Linee Guida Di Indirizzo per Il Miglioramento Dell'efficienza Energetica Nel Patrimonio Culturale. Architettura, Centri e Nuclei Storici Ed Urbani: Un Aggiornamento Della Scienza Del Restauro," *Proc. Le Nuove Front. del Restauro. Trasferimenti, Contam. Ibridazioni, Atti del XXXIII Convegno Internazionale Sci. e Beni Cult. Brixen, Italy*, pp. 27–30, 2017.

[5] L. Kranzl *et al.*, "Policies to enforce the transition to nZEB: Synthesis report and policy recommendations from the project ENTRANZE," 2014.

[6] "Accordo di programma MISE ENEA Progetto 1.5." [Online]. Available: https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/lenergia/ricerca-di-sistema-elettrico/accordo-di-programma-MiSE-ENEA-2019-2021/tecnologie/efficienza-energetica-e-risparmio-di-energia-negli-usi-finali-elettrici-degli-edifici. [Accessed: 08-Apr-2022].

[7] "Portale AUREE." [Online]. Available: https://www.auree.it/. [Accessed: 08-Apr-2022].

[8] L. G. Swan e V. I. Ugursal, "Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 8, pp. 1819–1835, 2009.

[9] C. S. Monteiro *et al.*, "A Method for the Generation of Multi-Detail Building Archetype Definitions: Application To the City of Lisbon," *Proc. Int. Conf. CISBAT 2015 Futur. Build. Dist. Sustain. from Nano to Urban Scale,* no. January 2016, pp. 901–906, 2015.

[10] É. Mata, A. Sasic Kalagasidis, e F. Johnsson, "Building-stock aggregation through archetype buildings: France, Germany, Spain and the UK," *Build. Environ.*, vol. 81, pp. 270–282, 2014.

[11] S. Goy, V. Coors, and D. Finn, "Grouping techniques for building stock analysis: A comparative case study," *Energy Build.*, vol. 236, 2021.

[12] U. Ali, M. H. Shamsi, C. Hoare, E. Mangina, e J. O'Donnell, "A data-driven approach for multi-scale building archetypes development," *Energy Build.*, vol. 202, 2019.

[13] E. Lucchi, D. Exner, e V. D'Alonzo, "Building stock analysis as a method to assess the heritage value and the energy performance of an Alpine historical urban settlement," *Energy Effic. Hist. Build. 2018*, vol. 53, no. 9, pp. 482–492, 2018.

[14] P. Caputo, G. Costa, and S. Ferrari, "A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale," *Energy Policy*, vol. 55, pp. 261–270, 2013.

[15] Y. Q. Ang, Z. M. Berzolla, e C. F. Reinhart, "From concept to application: A review of use cases in urban building energy modeling," *Appl. Energy*, vol. 279, p. 115738, 2020.

[16] A. Sanna e G. Pietro Scanu, *I Manuali del Recupero dei Centri Storici della Sardegna. Il Sulcis e l'Iglesiente, l'edilizia diffusa e i paesi*. Roma: DEI, 2008.

[17] A. Sanna, *Tipi e caratteri dell'abitazione razionale: il laboratorio Carbonia*. Cagliari: CUEC, 2004.

[18] "Manuale del recupero del piano particolareggiato del centro storico di Carbonia." [Online]. Available: http://www.comune.carbonia.ci.it/urbi/progs/urp/fecore01.sto?CPT=N&DB_NAME=n200411&NDFH=839073&TDFH=ALLEGATODELIBE&PRFH=ALLEGATO&MPFH=72&AEFH=KBTOCVGNOSREEJHWWRMAIWMSVTOACTDTLEPNBELFTRPYWVDZAQMEGPFFOHIBTRONTAAQFX72ZOJ_J200411H200411&FNFH=Manuale del

Accepted manuscript

Recup.

Accepted manuscript