



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DOTTORATO DI RICERCA

Ingegneria Edile

Ciclo XXII

**Energia solare e architettura:
integrazione della tecnologia fotovoltaica nell'organismo edilizio**

Settore scientifico disciplinare di afferenza

ICAR 10

PRESENTATA DA:

Loretta Cabras

COORDINATORE DOTTORATO:

Prof. Ulrico Sanna

RELATORE:

Prof. Francesco Colamatteo

Esame finale anno accademico 2009 – 2010

a Andrea e Beatrice

INDICE

Introduzione	5
---------------------	----------

Obiettivi e campi di indagine	8
--------------------------------------	----------

I	Sviluppo sostenibile e risparmio energetico in ambito edilizio	11
1.	Concetto di sostenibilità	11
2.	Risparmio energetico	12
2.1	Quadro normativo	13
2.2	Limiti della normativa	17
3.	Efficienza energetica degli edifici	18
4.	Certificazione di qualità energetica	26

II	Energia solare e tecnologia fotovoltaica	32
1.	Radiazione solare	32
2.	Sistemi solari passivi	36
3.	Sistemi solari attivi	39
3.1	Tecnologia solare termica	39
3.1.1	Impianti a collettori solari	39
3.1.2	Impianti a pannelli solari	41
3.1.3	Elementi degli impianti solari termici	42
3.2	Tecnologia solare fotovoltaica	47

3.2.1	Impianto fotovoltaico	47
3.2.2	Elemento base: il Silicio	49
3.2.3	Cella e modulo fotovoltaico	50
3.2.4	Convertitore corrente continua/alternata	55
3.2.5	Sistemi di accumulo e misuratori di energia	56
3.2.6	Inseguitore solare	57
3.2.7	Produzione energetica	57
3.2.8	Costi	59
3.2.9	Diffusione della tecnologia e prospettive di sviluppo	62
3.2.10	Incentivi per lo sviluppo del fotovoltaico in Italia	67
<hr/>		
III	Integrazione architettonica della tecnologia fotovoltaica	75
1.	Considerazioni generali	75
2.	Caratteristiche formali dei moduli	79
3.	Modalità di integrazione	82
3.1	Su edifici esistenti (retrofit)	83
3.2	Su nuovi edifici	84
3.3	Su elementi di arredo urbano	84
4.	Tipologie di integrazione	85
4.1	Integrazione in copertura	86
4.2	Integrazione in facciata	94
4.3	Integrazione in elementi frangisole	102
4.4	Integrazione in elementi di arredo urbano	105
<hr/>		
IV	Applicazioni in architettura	109
1.	Esempi di realizzazioni in Italia	110

2.	Esempi di realizzazioni all'estero	122
<hr/>		
V	Progetto	171
1.	Laboratori di laurea	171
1.1	Ex scuola materna, Comune di Tonara (Nu)	172
1.2	Complesso del Favero a Cagliari	178
2.	Progettazione	183
2.1	Integrazione in elementi di frangisole: edificio comunale a Cagliari	184
2.2	Integrazione in copertura: palestra comunale a Villa San Pietro (Ca)	190
<hr/>		
	Bibliografia	201
<hr/>		

Introduzione

Sono molteplici le ragioni per le quali il tema dell'energia viene riconosciuto come prioritario nella prospettiva di uno sviluppo sostenibile delle attività umane.

Queste stesse ragioni mi hanno spinto a dedicarmi a codesta tesi di dottorato.

Da un lato, le motivazioni economiche legate al progressivo esaurimento delle tradizionali fonti energetiche non rinnovabili: l'utilizzo intensivo che nell'ultimo secolo e mezzo ha ridotto ai minimi termini le riserve di petrolio, gas naturale e carbone, ha generato il repentino innalzamento dei costi di queste ultime con il conseguente susseguirsi di tensioni e crisi internazionali.

D'altro lato, ben più importanti delle ragioni economiche, sono le motivazioni ambientali legate all'inquinamento atmosferico che l'intensivo ricorso a fonti non rinnovabili ha comportato: nonostante qualche isolato scetticismo, la maggior parte dei climatologi converge sulla tesi secondo la quale è l'aumento della concentrazione dei cosiddetti gas serra la causa del progressivo innalzamento della temperatura dell'atmosfera, e del verificarsi, negli ultimi decenni, di gravi sconvolgimenti dell'equilibrio climatico.

La cadenza senza precedenti con la quale si ripetono, in questi anni, alluvioni e uragani, i rilevamenti provenienti dalle stazioni climatiche di tutto il mondo e i rapporti delle più importanti organizzazioni scientifiche internazionali, non fanno che avvalorare questa tesi.

Secondo un rapporto dell'Ipcc (organizzazione internazionale per il monitoraggio del clima promossa dall'ONU) le conseguenze più rilevanti "in termini di perdite di vite umane e di relativi effetti sull'economia" coinvolgeranno maggiormente i Paesi in via di sviluppo senza però risparmiare i paesi più solidi economicamente. Questo problema si pone anche per l'Italia, in quanto facente parte dell'area del Mediterraneo,

considerata tra quelle più a rischio per quanto riguarda l'innalzamento del livello dei mari.

Senza interventi di riduzione delle emissioni di gas serra, gli effetti dei cambiamenti climatici andranno aumentando fino a un punto in cui sarà molto difficile porvi rimedio. Da qui nasce la necessità di un immediato ripensamento delle politiche energetiche - soprattutto da parte dei paesi più sviluppati - principali responsabili, considerando le quantità di emissioni prodotte, dell'inquinamento atmosferico.

La revisione delle politiche energetiche deve partire innanzitutto da una forte riduzione dei consumi, o quantomeno da una gestione più equilibrata e misurata delle fonti energetiche tradizionali.

Parallelamente a questo però si deve investire maggiormente, non solo sul piano economico ma anche su quello culturale, sulle fonti di energia rinnovabili, di fatto inesauribili e con un impatto sull'ambiente praticamente nullo.

Questi due punti fondamentali riguardano molto da vicino il mondo delle costruzioni, sia nei suoi aspetti tecnico costruttivi, nelle fasi di progettazione e realizzazione, sia nella gestione delle risorse e dei consumi, durante la fase di utilizzazione dell'edificio. Accurata scelta dei materiali, risparmio energetico e utilizzo di fonti energetiche rinnovabili devono andare di pari passo con una convinta promozione, soprattutto da parte delle istituzioni, di questo tipo di approccio alle problematiche energetiche.

L'energia solare in questo senso offre opportunità enormi all'edilizia, e la tecnologia attuale mette a disposizione dispositivi che si prestano alla perfezione affinché questa possa essere sfruttata per produrre energia elettrica pulita. I dispositivi atti alla captazione e alla trasformazione dell'energia solare sono ormai in grado di sostituire completamente gli elementi costruttivi tradizionali e di integrarsi pienamente negli edifici.

L'architettura, infatti, non può di certo esimersi dal dare un contributo fondamentale all'integrazione nelle costruzioni delle tecnologie ad energia solare, anzi potrebbe essere proprio attraverso la valorizzazione estetica

di queste ultime, che si riesca ad agevolare quel ripensamento culturale fondamentale per porre le basi di un modello di sviluppo sostenibile sotto il profilo sia economico sia ambientale.

Obiettivi e campi di indagine

Uno degli aspetti fondamentali che da sempre ha caratterizzato l'architettura dei popoli è stato l'interesse verso gli effetti della radiazione solare sugli edifici che indirettamente ha influenzato i sistemi costruttivi e le tipologie edilizie; se si pensa infatti alla cosiddetta architettura primitiva – ma non solo – l'energia solare ne ha spesso determinato gli aspetti funzionali e tipologici.

Va detto, infatti, che per migliaia di anni l'uomo ha utilizzato e sfruttato l'energia solare parallelamente alle altre fonti di energia a lui conosciute, come il vento, l'acqua e il legno. Riuscendo ad ottenere soluzioni che ancora oggi appaiono attuali.

L'attenzione verso questa tematica però viene meno con l'avvento dell'industrializzazione quando cioè l'architettura inizia a perdere i suoi requisiti rispondenti a ben precisi fattori climatici in nome di altri aspetti funzionali ed economici.

Soltanto a metà del XX secolo prende avvio negli Stati Uniti, e poi successivamente anche in Europa, un programma di ricerca sulle potenzialità dell'energia solare e sulle possibilità di un suo sfruttamento per la climatizzazione degli edifici. A tali studi però, non corrisponde un'adeguata applicazione.

Nei primi anni Settanta invece la crisi petrolifera ha imposto lo sviluppo e l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili per compensare alla limitatezza delle risorse esistenti finora utilizzate, spronando in tal senso la ricerca ad ottenere soluzioni sempre più vantaggiose in termini di risparmio energetico, seppur aventi costi ancora altissimi.

Va detto a questo proposito che ancor oggi non tutte le fonti rinnovabili sono nello stesso piano per quanto riguarda disponibilità e convenienza economica, e soprattutto non tutti i paesi ne hanno promosso l'utilizzo alla stessa maniera.

Per esempio, nel nostro paese la risorsa eolica è molto meno disponibile che non in paesi come la Danimarca e la Germania, dove l'energia

elettrica prodotta da impianti di grande taglia è già competitiva senza più bisogno di incentivi.

Per contro in Italia vi è ampia disponibilità di radiazione solare e ciò nonostante ci troviamo in evidente ritardo non solo nella promozione dei sistemi termici attivi, ma anche nell'utilizzo dei sistemi termici passivi. Per sistemi termici attivi si intendono tutte le applicazioni che riguardano il settore delle tecnologie termodinamiche (energia termosolare) e il settore dell'energia fotovoltaica; per sistemi termici passivi si intendono tutte le applicazioni in cui l'energia solare viene utilizzata senza l'ausilio di mezzi meccanici e in cui la distribuzione del calore prodotto avviene grazie ai fenomeni naturali della conduzione, della convezione e dell'irraggiamento.

In virtù della carenze messe in evidenza, la presente proposta di ricerca mira ad analizzare la tematica "solare" nelle sue componenti tecnologiche attive e passive al fine di sviluppare approcci progettuali più consapevoli e capaci di utilizzare totalmente le potenzialità degli strumenti messi a disposizione dalla scienza. E' auspicabile, infatti, un'evoluzione del modo di progettare e costruire gli edifici, e con essi gli elementi strutturali, le componenti tecnologiche, funzionali e i materiali promuovendo un costante rapporto tra l'edilizia e le problematiche ambientali e climatiche, con l'obiettivo di contribuire allo sviluppo sostenibile e alla riduzione dell'impatto ambientale del costruito senza rinunciare a condizioni sempre migliori di comfort termico degli ambienti.

In quest'ottica, occorre favorire l'utilizzo di sistemi solari attivi quali pannelli solari termici e fotovoltaici evitando comunque che questo orientamento si risolva solo in una semplice ottimizzazione dei sistemi impiantistici termici e di condizionamento - che pur adottando l'impiego di risorse energetiche rinnovabili (come appunto quella solare) - adotti criteri sostanzialmente coerenti con l'attuale logica delle costruzioni improntata sulle energie da combustibili fossili. Un approccio di questo tipo porterebbe semplicemente all'adozione di soluzioni tecnologicamente

avanzate, senza la necessaria attenzione alle conseguenze bioclimatiche e all'impatto ambientale complessivo degli edifici.

Partendo da questi presupposti la ricerca cercherà di esaminare la tecnologia fotovoltaica attraverso uno studio applicato a edifici esistenti.

In base alla particolare tipologia edilizia degli edifici si cercherà di adattare la migliore soluzione in termini energetici ed architettonici che tenga conto della posizione, dell'esposizione ai raggi solari, dei materiali utilizzati e della particolare configurazione planovolumetrica degli edifici selezionati.

La ricerca si articolerà in quattro fasi fondamentali: nella prima fase si indagherà il problema ambientale e lo sviluppo sostenibile legato alle fonti energetiche rinnovabili; nella seconda fase si analizzeranno le tecnologie solari, nello specifico quella fotovoltaica, con particolare attenzione alle tipologie di integrazione architettonica negli edifici; nella terza fase si entrerà nel vivo della ricerca esaminando tutta una serie di realizzazioni in Italia e all'estero; la quarta fase riguarda il progetto, ovvero diverse applicazioni su edifici esistenti a partire da quelle elaborate in aula nei laboratori progettuali e di tesi per arrivare a quelle concepite nell'ambito della libera professione.

I Sviluppo sostenibile e risparmio energetico in ambito edilizio

1 Concetto di sostenibilità

Il termine sostenibilità - o sviluppo sostenibile - è entrato nell'uso comune e viene impiegato a livelli molto diversi, dal locale al nazionale o globale, in modo piuttosto generico per intendere un progetto o un prodotto, una politica locale o una strategia nazionale più attenta all'ambiente.

In realtà il concetto di sostenibilità nasce nel contesto delle scienze forestali e naturali ed è abbastanza preciso: l'uso di una risorsa naturale è sostenibile quando il prelievo della risorsa non supera la capacità di rigenerazione della risorsa stessa. Il concetto di sostenibilità è dunque strettamente legato al concetto di limite di uso della risorsa naturale.

"Ne consegue che il tasso di consumo delle materie rinnovabili, di quelle idriche e quelle energetiche non deve eccedere il tasso di ricostruzioni rispettivamente assicurato dai sistemi naturali e che il tasso di consumo delle non rinnovabili non superi il tasso di sostituzione delle rinnovabili sostenibili.

O ancora, sostenibilità dal punto di vista ambientale significa anche che il tasso di emissioni degli inquinanti non deve superare la capacità dell'atmosfera, dell'acqua e del suolo di assorbire e trasformare tali sostanze.

Inoltre la sostenibilità dal punto di vista ambientale implica la conservazione della biodiversità, della salute umana e delle qualità dell'atmosfera, dell'acqua e dei suoli a livelli sufficienti a sostenere nel tempo la vita e il benessere degli esseri umani nonché degli animali e vegetali."(Dichiarazione di principio: le città europee per un modello urbano sostenibile, Carta di Aalborg 1994).

2 Risparmio energetico

Gli impegni del Protocollo di Kyoto hanno spinto non solo l'Italia, ma tutta l'Unione Europea a focalizzare l'attenzione sui temi del risparmio energetico, in particolare nel settore edilizio.

Attualmente, infatti, l'edilizia rappresenta uno dei settori produttivi a più alto impatto ambientale se si pensa che l'energia consumata nel comparto residenziale per riscaldare gli ambienti e per l'acqua calda sanitaria rappresenta circa il 30% del consumi energetici nazionali, e circa il 25% delle emissioni totali nazionali di anidride carbonica; di fronte a questi dati è facilmente intuibile che una strategia urbana sostenibile possa rappresentare dunque il punto di partenza per attivare un processo di cambiamento di un territorio.

E' necessario quindi ripensare l'architettura in chiave sostenibile affinché diventi testimonianza di un rinnovato rapporto con l'uomo, la sua storia, le condizioni ambientali, economiche, sociali ed etiche.

Un architettura che:

- sia un contributo importante ed immediato alle problematiche della qualità dell'abitare, al rispetto dell'ambiente e delle risorse naturali e al contenimento dei consumi energetici;
- coinvolga in una rinnovata sensibilità le attività di progettazione, costruzione, gestione ed amministrazione del territorio;
- sia espressione della partecipazione dei suoi abitanti, che contribuisca a creare ambienti sani e non inquinati, socialmente accessibili, attenta ai valori etici in cui vengano rispettati i bisogni e i diritti delle categorie più deboli.

Va detto peraltro che le misure progressive sempre più stringenti per il contenimento dei consumi, imposte dalle recenti normative europee e nazionali, obbligano a ripensare le scelte formali, tecniche e impiantistiche nella concezione dei nuovi fabbricati e nel recupero del patrimonio edilizio esistente. Infatti, l'importazione acritica di metodi e procedimenti

sperimentati con successo in contesti differenti non si rivela la scelta ottimale per migliorare le prestazioni energetiche dell'organismo edilizio.

Vanno riscoperte, dunque, quelle soluzioni tecniche e compositive del progetto che derivano da un forte radicamento nel contesto, inteso non solo come insieme di condizioni climatiche, ma anche in termini di reperibilità dei materiali, tecniche e procedimenti costruttivi locali, e dunque anche mercato locale delle imprese.

In questa prospettiva, l'obiettivo del risparmio energetico appare coincidere perfettamente con quello dell'eco-efficienza, ovvero, ridurre drasticamente la richiesta di energia degli edifici e incrementare l'efficienza degli impianti - anche producendo energia da fonti rinnovabili - al fine di ottenere l'autosufficienza energetica e la riduzione dell'inquinamento.

2.1 Quadro normativo

Il quadro normativo relativo al risparmio energetico é il risultato di un processo tuttora in corso, ed é abbastanza complesso e frammentato.

Di seguito un elenco in ordine cronologico:

- Legge 30 aprile 1976, n. 373: limiti di potenza per gli impianti di riscaldamento e prescrizioni per l'isolamento termico degli edifici
- Legge n.10 del 9 gennaio 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." - Primo riferimento italiano relativo ad una procedura di certificazione energetica
- Decreto del presidente del consiglio dei ministri del 5 dicembre 1997: determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici
- Decreto Legislativo n. 192 del 19 agosto 2005: attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia - Prima attuazione della Direttiva Europea risalente al 2002 relativa al rendimento degli edifici

- Decreto Legislativo n. 311 del 29 dicembre 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"

- Decreto Ministeriale 11 marzo 2008: attuazione dell'articolo 1, comma 24, lettera a) della legge 24 dicembre 2007, n. 244, per la definizione dei valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo e di trasmittanza termica ai fini dell'applicazione dei commi 344 e 345 dell'articolo 1 della legge 27 dicembre 2006, n.296

- Decreto legge n.112 25 giugno 2008, coordinato con Legge n. 133 - (Art.35) del 6 agosto 2008: "Testo recante disposizioni per l'eliminazione dell'obbligo di allegare l'attestato di certificazione energetica all'atto di compravendita degli immobili e di consegnarlo al conduttore nel caso di locazione; cancellazione della nullità del contratto di compravendita o di locazione in caso di assenza dell'a.c.e"

- Decreto del presidente della repubblica n. 59 del 2 aprile 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.

- Decreto 26 giugno 2009 (09A07900) (GU n.158 10/7/2009): linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Le linee guida recepiscono la direttiva europea e sono basilari per tutte le regioni che non hanno legiferato in materia in modo autonomo.

Incentivi e agevolazioni fiscali:

- Legge 30 novembre 2001, n. 418: "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 1 ottobre 2001, n. 356, recante interventi in materia di accise sui prodotti petroliferi."

- Decreto Ministeriale del 19/02/2007 (anche detto "Decreto Edifici")

"Disposizioni in materia di detrazioni per le spese di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, ai sensi dell'articolo 1, comma 349, della legge 27 dicembre 2006, n. 296 (Legge finanziaria 2007)"

- Decreto Ministeriale 11 marzo 2008: "Definizione dei valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo e di trasmittanza termica ai fini dell'applicazione dei commi 344 e 345 dell'articolo 1 della legge 27 dicembre 2006, n. 296 (Legge finanziaria 2007)"

- Decreto Ministeriale 7 aprile 2008: "Disposizioni in materia di detrazione per le spese di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, ai sensi dell'articolo 1, comma 349, della legge 27 dicembre 2006, n. 296"

- Decreto Ministeriale 9 aprile 2008 (Anche detto Decreto Motori): "Disposizioni in materia di detrazioni per le spese sostenute per l'acquisto e l'installazione di motori ad elevata efficienza e variatori di velocità (inverter), di cui all'articolo 1, commi 358 e 359, della legge 27 dicembre 2006, n. 296.(Legge Finanziaria 2007)"

Sul fotovoltaico:

- Decreto 19 febbraio 2007 (anche detto "Decreto Conto Energia"): "Criteri e modalità per incentivare la produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare"

- Delibera 13 aprile 2007, n.90: attuazione del decreto 19 febbraio 2007, ai fini dell'incentivazione della produzione di energia elettrica mediante impianti fotovoltaici

- DLgs 16 marzo 1999 n. 79: attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica

- Decreto Ministero dell'Ambiente 22 dicembre 2000: finanziamenti ai Comuni per la realizzazione di edifici solari fotovoltaici ad alta valenza Architettonica

- Decreto Ministero dell'Ambiente 16 marzo 2001: programma tetti fotovoltaici

- Direttiva CE 27 Settembre 2001 n. 77: sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità (2001/77/CE)

- Decreto Ministero dell'Ambiente 12 novembre 2002: rifinanziamento al programma tetti fotovoltaici

- Decreto Ministero dell'Ambiente 11 aprile 2003: programma tetti fotovoltaici 2003 - Nuovi bandi regionali
- DLgs 29 dicembre 2003 n. 387: attuazione della Direttiva 2001/77/CE sulla promozione delle fonti rinnovabili
- Legge 23 agosto 2004 n. 239: riordino del settore energetico, nonché delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di energia
- DM 28 luglio 2005: criteri per l'incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare
- DLgs 19 agosto 2005 n. 192: attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia
- Delibera AEEG 14 settembre 2005 n. 188: definizione del soggetto attuatore e delle modalità per l'erogazione delle tariffe incentivanti degli impianti fotovoltaici, in attuazione dell'art. 9 del Decreto del Ministro delle Attività produttive, di concerto con il Ministro dell'Ambiente e della tutela del territorio, 28 luglio 2005
- DM 6 febbraio 2006: criteri per l'incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare
- Delibera AEEG 10 febbraio 2006 n. 28: condizioni tecnico-economiche del servizio di scambio sul posto dell'energia elettrica prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza nominale non superiore a 20 kW, ai sensi dell'art. 6 del DLgs 29 dicembre 2003, n. 387
- DLgs 8 febbraio 2007 n. 20: attuazione della direttiva 2004/8/CE sulla promozione della cogenerazione basata su una domanda di calore utile nel mercato interno dell'energia, nonché modifica alla direttiva 92/42/CEE
- Decreto Ministero del Sviluppo Economico 19 febbraio 2007: criteri e modalità per incentivare la produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare, in attuazione dell'art. 7 del DLgs 29 dicembre 2003, n. 387
- Deliberazione AEEG 11 aprile 2007 n. 88: disposizioni in materia di misura dell'energia elettrica prodotta da impianti di generazione

- Deliberazione AEEG 11 aprile 2007 n. 89: condizioni tecnico economiche per la connessione di impianti di produzione di energia elettrica alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi a tensione nominale minore o uguale ad 1 kV
- Deliberazione AEEG 11 aprile 2007 n. 90: attuazione del decreto del Ministro dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 19 febbraio 2007, ai fini dell'incentivazione della produzione di energia elettrica mediante impianti fotovoltaici
- Deliberazione AEEG 12 aprile n. 91: avvio di procedimento ai fini dell'attuazione del DLgs n. 20/07 in materia di cogenerazione ad alto rendimento

2.2 Limiti della normativa

La normativa italiana, va detto però, presenta diverse carenze sul comportamento estivo degli edifici, in quanto l'indice di prestazione energetica EP viene calcolato sulla base del fabbisogno energetico invernale senza tener conto della grandi differenze climatiche territoriali e stagionali esistenti nel nostro paese.

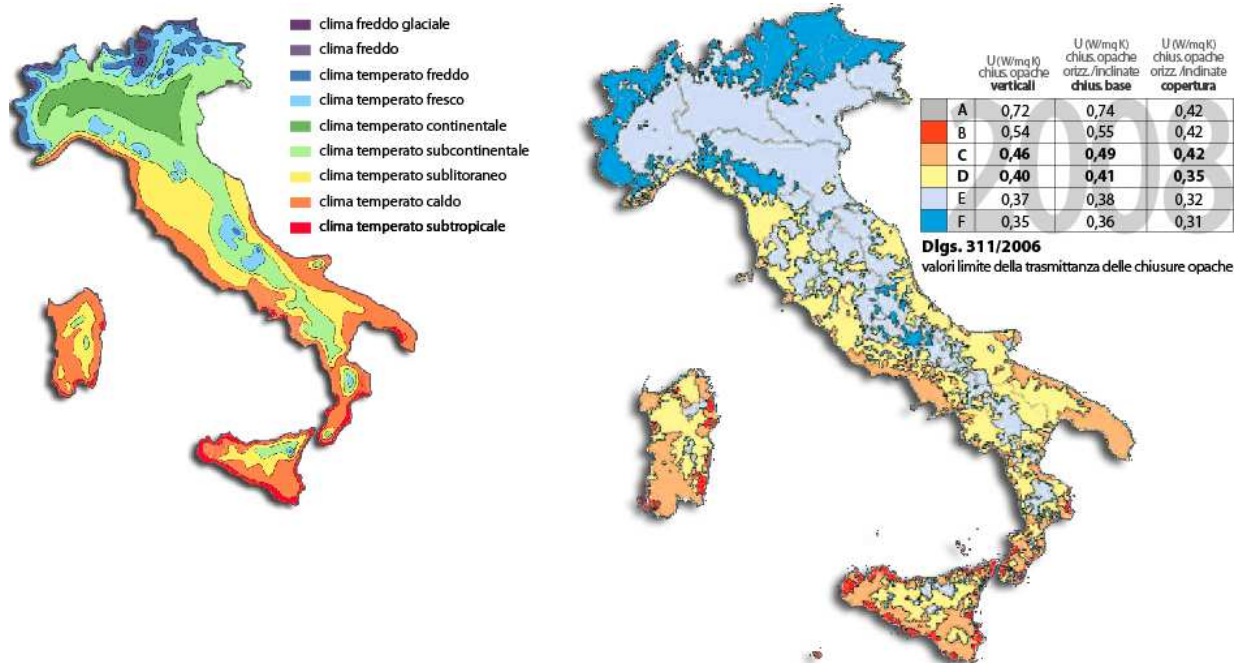
Ciò ha dato luogo a tantissime incertezze sul modo di operare per realizzare edifici efficienti in climi in cui la protezione dal surriscaldamento estivo è prioritaria per raggiungere condizioni di benessere interno.

Manca, infatti, totalmente una normativa specifica che disciplini l'efficienza energetica degli edifici nelle stagioni calde e che regoli il funzionamento degli impianti di raffrescamento per favorire una riduzione del carico termico estivo degli edifici.

Il rischio, anche in termini di trasparenza del futuro mercato immobiliare, potrebbe essere quello di certificare edifici con una discreta classe energetica, senza che il loro comportamento sia realmente efficiente nel corso di tutto l'anno.

Il problema della climatizzazione estiva, nel nostro paese, è di primaria importanza se si pensa che nell'ultimo decennio vi è stata una diffusione incontrollata con usi indiscriminati degli impianti di condizionamento, soprattutto nei centri urbani, che ha portato ad un esponenziale aumento della potenza assorbita con continui rischi di black out nel periodo estivo.

In quest'ottica è auspicabile un adeguamento della normativa al fine di ridefinire le strategie progettuali del sistema edificio-impianto, per realizzare nei climi caldi edifici efficienti nel corso di tutte le stagioni.



Zone climatiche (con i relativi valori limite di trasmittanza) presenti in Italia

3 Efficienza energetica degli edifici

Nel nome dell'efficienza energetica, sono nate diverse ricerche e sperimentazioni che hanno portato, per esempio, in Germania a definire lo standard PASSIVHAUS, che mira a minimizzare il fabbisogno energetico invernale dell'edificio (al di sotto di 15 kWh/m²a per il solo riscaldamento). Diversi progetti europei hanno adottato tale standard, cercando di ragionare anche sul tema del raffrescamento estivo (progetto PASSIVE-ON) e quindi su quale modello costruttivo sia più adeguato, nelle

differenti condizioni climatiche, per raggiungere lo standard di fabbisogno energetico.

In Inghilterra gli standard energetici previsti dal "Code for Sustainable Home" vogliono soddisfare gli impegni del Protocollo di Kyoto tramite il raggiungimento dell'obiettivo Zero Emission, vale a dire rendere tutte le nuove abitazioni carbon neutral entro il 2016. Attualmente, l'adesione è facoltativa, ma il Governo britannico ha intenzione di rendere obbligatoria l'adozione di misure di riduzione a partire dal prossimo anno.

Il tema dell'efficienza energetica è stato affrontato anche in Italia, per l'esigenza di dare risposta alla Direttiva "Energy Performance of Buildings", che obbliga all'introduzione della certificazione energetica degli edifici e alla definizione di requisiti minimi per il risparmio energetico. In Italia, però, gli obiettivi della Direttiva sono stati in parte disattesi. Per esempio, veniva richiesto di tenere conto di tutti i tipi di consumo energetico (riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, acqua calda sanitaria, ventilazione meccanica), mentre il D.Lgs. 192/05 e il D.Lgs. 311/06 impongono valori limite relativi al solo fabbisogno energetico invernale, trascurando la situazione estiva. Inoltre, l'obiettivo della Direttiva era l'unificazione delle procedure per la certificazione energetica, all'interno di regole dettate a livello nazionale; invece l'Italia ha "delegato" alle Regioni la normativa in materia, dando luogo ad una proliferazione di procedure e metodi di verifica che sta creando grande confusione tra gli operatori. Diverse Regioni, come Lombardia, Piemonte, Liguria, Emilia Romagna e Trentino-Alto Adige, hanno ormai definito proprie procedure di certificazione energetica, dettando obiettivi, regole e metodi di calcolo in maniera autonoma.

A fronte di tutte queste attività ormai avviate sul tema dei risparmio energetico, occorre però domandarsi, tornando alle finalità di partenza (ossia di riduzione degli impatti ambientali), se sia sufficiente un obiettivo di riduzione dei consumi energetici nella fase d'utilizzo degli edifici, per poter affermare di realizzare un edificio "sostenibile". Preoccupa, infatti, che alcune strategie mirate alla riduzione dei consumi di riscaldamento

invernale (iperisolamento, ventilazione meccanica con recupero di calore, serre e doppi involucri, ottimizzazione delle superfici trasparenti, ecc.) non siano verificati dal punto di vista di una riduzione degli impatti nell'intero ciclo di vita. E, soprattutto, che non venga effettuata alcuna verifica sulla qualità abitativa e sul comfort garantito dagli edifici energeticamente efficienti.

Parlare di sola efficienza energetica in fase d'uso può portare a trascurare aspetti legati alla salubrità e al comfort degli ambienti di vita, alla durabilità e manutenibilità dei materiali della costruzione, alle risorse energetiche e materiche spese per la costruzione di edifici. Parlare di eco-efficienza richiede, invece, un ampliamento di obiettivi e strategie.

In realtà, sono già in atto percorsi normativi e politiche di incentivo volti alla sostenibilità ambientale in edilizia, supportati da strumenti di valutazione e certificazione ambientale.

In edilizia si sono andati definendo, in maniera prima spontanea, poi sempre più formalizzata, requisiti e criteri progettuali orientati alla sostenibilità (risparmio energetico, risparmio e recupero dell'acqua, riciclaggio dei materiali), che hanno poi portato all'impostazione di veri e propri filoni progettuali. A partire da questi filoni, sono quindi nati strumenti di valutazione multicriteri, definiti "sistemi a punteggio" quali l'inglese BREEAM, l'americano LEED, il francese FIQE, lo svizzero Eco-bau, l'austriaco Total Quality, il giapponese CASBEE, l'australiano Green Star, l'italiano Protocollo Itaca, l'internazionale GBTool/SBtool gestito da Iisbe, ecc., che associano a tali criteri un punteggio di merito, in base al grado di soddisfazione dei requisito verificato tramite indicatori.

A livello internazionale, l'elaborazione dei sistemi a punteggio è nata per effetto della spinta dei costruttori, che hanno manifestato l'esigenza di "certificare" la realizzazione di edifici ad alte prestazioni energetiche e a basso impatto ambientale, sulla base di procedure consolidate e con la garanzia di strutture di riferimento affidabili come il BREEAM e il LEED, che sono i più affidabili sistemi di certificazione ambientale degli edifici. Anche gli utenti finali, e soprattutto i grandi investitori immobiliari, hanno

manifestato l'esigenza di strumenti di garanzia della qualità degli edifici acquistati.

In Italia, sono state per prime le Pubbliche Amministrazioni a manifestare l'esigenza (per aderire ai processi di Agenda 21) di inserire nei regolamenti edilizi principi di sostenibilità per gli interventi sul territorio, di definire criteri ambientali per l'assegnazione di "premi" di volumetria o incentivi alle costruzioni sostenibili e di avere strumenti di valutazione per la verifica del soddisfacimento di tali criteri e la stesura di graduatorie di merito. Proprio l'Associazione delle Regioni Italiane, riunite nell'ambito di ITACA (Istituto per la Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale), ha elaborato, a partire dal GBTool/SBtool, il Protocollo Itaca. Le Regioni italiane hanno cominciato a utilizzare questo strumento, in maniera volontaria, per incentivare l'edilizia sostenibile tramite premi di volumetria e sgravi sugli oneri di urbanizzazione.

La Provincia Autonoma di Trento ha adottato il Protocollo Itaca sintetico per l'assegnazione di incentivi e riconosce equivalente la certificazione LEED; infatti, per rispondere alla richiesta delle imprese di costruzione che esprimono l'esigenza di avere a disposizione uno strumento di certificazione ambientale degli edifici, per ora inesistente in Italia, proprio a Trento è stato istituito un consorzio GBC Italia, per accedere alla certificazione LEED. Il GBC Italia nasce, infatti, col compito di contestualizzare il sistema LEED all'Italia, tenendo presenti le specificità climatiche, edilizie e normative del nostro Paese. Il GBC Italia sta portando avanti alcune esperienze pilota: si tratta però di processi di accompagnamento alla progettazione e non di un effettivo processo di certificazione.

L'unico strumento di certificazione ambientale attualmente disponibile in Italia è il Protocollo Itaca, che invece è una procedura di valutazione contestualizzata (è la contestualizzazione dello strumento internazionale GBTool/SBtool, *Sustainable Building Method*). Attualmente anche il Protocollo Itaca è sotto revisione per gli aggiornamenti normativi: al momento è possibile fare riferimento al Protocollo Itaca versione sintetica

a 12 schede. Con il Protocollo Itaca, versione sintetica, sono stati rilasciati "attestati" di sostenibilità, da parte di Iisbe Italia, in relazione al Piano Casa della Regione Piemonte (10.000 alloggi entro il 2012). Ma non si tratta ancora di vere e proprie certificazioni: in questo caso, la certificazione sarà emessa dalla Regione Piemonte. ITACA e il Sustainable Building Council Italia (SBC Italia) costituiscono, attualmente il riferimento privilegiato degli enti pubblici e in particolare delle Regioni italiane.

Con lo strumento SBTool sono stati "certificati", da parte di Iisbe Italia, diversi centri commerciali e uffici (il quartier generale Pirelli RE a Bicocca - Milano, il nuovo centro direzionale Intesa San Paolo di Renzo Piano, la nuova Sede Regione Piemonte di Massimiliano Fuksas). La certificazione è stata rilasciata nelle diverse fasi: fase di predesign, fase di costruzione, fase "costruito".

La proliferazione e sovrapposizione di strumenti di valutazione ambientale degli edifici ha portato a ricercare una unificazione di tutti i vari strumenti che, come dimostra il caso italiano, cominciano a travalicare i confini nazionali; in particolare, è stata elaborata la norma ISO/TS 21931-1:2006, "Sustainability in building construction - Framework for methods for assessment of environmental performance of construction works". Tale lavoro normativo è attualmente portato avanti dal gruppo CEN TC/350, "Sustainability of construction works. Framework for assessment of buildings", che è stato incaricato di armonizzare i diversi strumenti di valutazione ambientale degli edifici, in modo da definire regole comuni sovranazionali nel caso di comparazioni tra Stati differenti, e di introdurre l'approccio al ciclo di vita, integrando nella valutazione ambientale dell'edificio la certificazione ambientale di prodotto EPD, ovvero "*Environmental Product Declaration*".

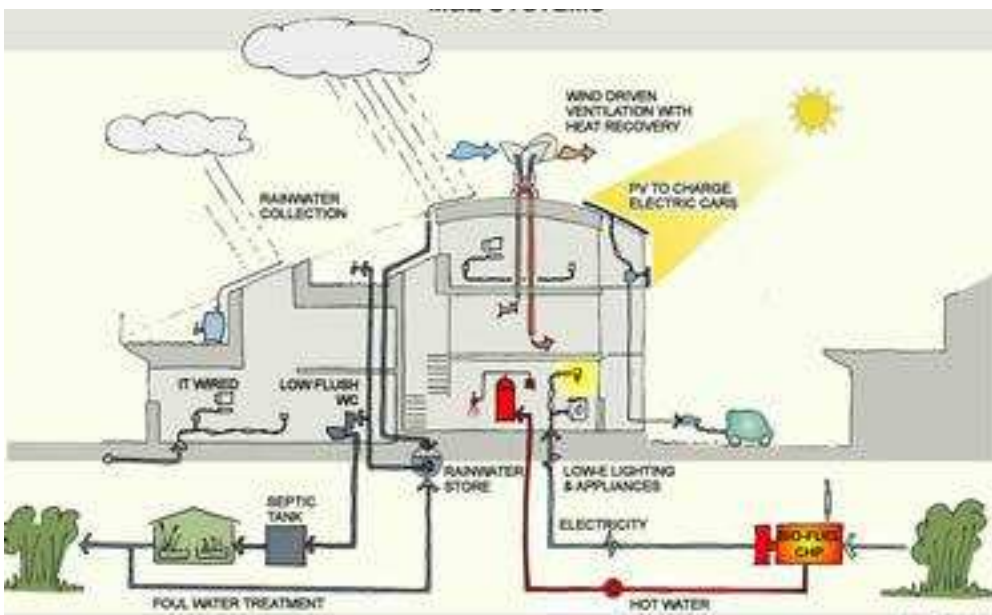
Inoltre, la Direzione Ambiente della Comunità Europea, su sollecitazione dell'APAT italiana, ha avviato le procedure di definizione di un marchio di qualità ecologica (Ecolabel europeo) degli edifici, dando mandato all'Italia di definirne i criteri. Esistono già esperienze all'estero di Ecolabel nazionali degli edifici: in particolare, la Danimarca ha realizzato un Ecolabel per le

small bouse. La certificazione è stata utilizzata come forma di incentivo da parte degli enti pubblici: per esempio, l'edificabilità di un terreno viene concessa solo in relazione al rispetto dei criteri e all'accesso alla certificazione. La perplessità che emerge è la conflittualità che esiste tra l'impostazione dell'Ecolabel, che è una derivazione dei sistemi multicriterio con la fissazione di soglie prestazionali sui singoli indicatori, e l'impostazione valutativa proposta dal CEN, basata sul ciclo di vita, indicatori sintetici e l'attivazione delle etichettature EPD di prodotto. Infatti, è molto complesso stabilire soglie valide a livello internazionale e valide per tutte le differenti tipologie di edifici. Inoltre, negli attuali sistemi di certificazione ambientale degli edifici appare ancora molto trascurato il versante relativo all'eco-compatibilità dei materiali, che invece è oggetto di particolare attenzione da parte del CEN TC 350.

Come per l'edificio, così anche per i prodotti edilizi si è manifestata l'esigenza di definire come valutarne l'ecocompatibilità, in maniera scientifica, condivisa e affidabile. A livello internazionale esistono diversi tipi di etichettatura ambientale, in particolare l'Ecolabel e l'EPD. Nel settore edilizio si è optato per questo secondo tipo di etichettatura, che costituisce un documento tecnico-informativo (e non un semplice marchio a soglia), in grado di veicolare una informazione tecnica utile agli operatori, e in particolare ai progettisti. In edilizia, infatti, non è possibile definire l'ecologicità dei prodotti in maniera indipendente dall'edificio; piuttosto sono necessarie informazioni tecniche sul loro profilo ambientale per operare scelte consapevoli. Nel settore delle costruzioni è stata dunque elaborata una norma specifica sulle EPD dei prodotti edilizi: la ISO 21930:2007, "Sustainability in building constructions. Environmental declaration of building products".

Parallelamente, sono state sviluppate norme relative alle certificazioni delle prestazioni dei prodotti: in particolare, la direttiva 89/106/CE, che introduce la marcatura CE, prevede l'assunzione di responsabilità da parte del produttore rispetto a sei requisiti essenziali (resistenza meccanica e

stabilità; sicurezza in caso d'incendio; igiene, salute e ambiente; sicurezza d'impiego; protezione contro il rumore; risparmio energetico).



Quartiere BedZed a Beddinton (Londra)
Esempio di insediamento a consumo energetico "zero"

Le Regioni italiane hanno manifestato l'esigenza di avere un prezzario relativo a "prodotti edilizi ecologici" di riferimento per il *Green Public Procurement*. Questo ha portato, in prima battuta, a cercare di integrare il Protocollo Itaca con un elenco di "materiali ecologici" di riferimento. A

causa della criticità di definizione di soglie di ecologicità dei materiali (che comportano una discriminazione tra ambiti materici, spesso operata in base alla "presunta" naturalità dei materiali), ITACA ha emesso un bando per la realizzazione di una "banca dati dei materiali di riferimento per costruzioni ad elevata prestazione ambientale" basata sull'approccio del Life Cycle Assessment.

Il Ministero dell'ambiente italiano, all'interno del "Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica amministrazione", ha attivato un gruppo di lavoro ministeriale per la definizione di "Criteri ambientali minimi" relativi ai prodotti edilizi. Di fronte a queste iniziative è necessario sottolineare l'importanza di non affrontare il tema dell'ecologicità dei materiali edilizi "a parte", ma all'interno di una valutazione d'insieme dell'edificio.

La definizione di requisiti ambientali di carattere premiante, sia alla scala dell'edificio, sia alla scala del prodotto edilizio, risulta però piuttosto complesso in quanto riuscire a dare indicazioni "generaliste", valide in situazioni diverse, contesti diversi, applicabili a prodotti diversi è molto difficile. Per esempio, orientare verso l'uso di materiali riciclati non sempre è un vantaggio ambientale. Ulteriore questione è che le valutazioni ambientali spesso evidenziano che una determinata scelta produce vantaggi ambientali secondo certi indicatori di impatto e svantaggi ambientali secondo altri indicatori di impatto. In questo caso, la scelta di criteri di orientamento strategici appare ambigua.

In quest'ottica emerge la necessità di orientare la valutazione ambientale degli edifici verso un approccio al ciclo di vita e di integrare la valutazione ambientale dei prodotti edilizi "dentro" tale valutazione sistemica. Dall'approccio prescrittivo, tipico dei sistemi di valutazione multicriterio, articolati come elenchi di requisiti da soddisfare, si passerebbe a un approccio prestazionale, tipico dei sistemi di valutazione per indicatori sintetici, basati sull'effettivo carico ambientale dell'edificio nel suo insieme. Come la certificazione energetica degli edifici chiede di riportare l'indicatore sintetico del fabbisogno di energia primaria, espresso

in kWh/m²a, così si auspica che la certificazione ambientale di un edificio sia espressa per indicatori sintetici, legati a un bilancio del ciclo di vita dell'intero sistema edificio. Questa è la strada scelta per esempio dalla Germania che ha già portato a una diffusione degli EPD.

Le difficoltà da superare per arrivare a questo traguardo sono tante: la preparazione degli operatori; la diffusione e disponibilità di informazioni ambientali; la definizione degli scenari di durata dei materiali, di manutenzione dell'edificio e di dismissione e riciclaggio dell'edificio e dei suoi componenti; l'integrazione di indicatori relativi alla sostenibilità economica (LCC) e sociale, ecc. Però è importante definire il traguardo e il percorso, al fine di orientare gli studi, la ricerca e le normative verso l'uso e l'applicazione di strumenti adeguati per la definizione di edifici veramente "sostenibili".

4 Certificazione di qualità energetica

La Direttiva Europea 2002/91/CE del Parlamento e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico degli edifici impone agli stati membri di provvedere ad effettuare la valutazione energetica degli edifici di nuova costruzione e degli edifici esistenti che subiscono ristrutturazioni importanti, affinché risultino soddisfatti i requisiti minimi di rendimento energetico, ovvero 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 il riscaldamento ed il raffrescamento.

L'attestato di rendimento energetico deve essere messo a disposizione in fase di costruzione, compravendita o locazione di un edificio ed in esso devono essere riportati i dati di riferimento che consentono ai consumatori di valutare e raffrontare il rendimento energetico dell'edificio e di programmare azioni di miglioramento del rendimento in termini di costi-benefici.

Attualmente, in Italia si consumano circa 196 Mtep di energia totale per soddisfare il fabbisogno energetico annuo, utilizzando le diverse fonti primarie.

Di seguito riportiamo la Tabella 1 riepilogativa aggiornata al 2006, i cui dati sono espressi in migliaia di tonnellate equivalenti petrolio (1 tep = 10'000'000 Kcal).

Fonti Primarie utilizzate nel 2006					
Petrolio	Metano	Carbone	Rinnovabili	Nucleare	Totali Ktep
85.297	69.698	17.154	14.231	9.897	196.277
43,46%	35,51%	8,74%	7,25%	5,04%	100%

Tabella 1

Le fonti primarie vengono utilizzate per ottenere energia elettrica, termica e carburanti, i cui dati li riportiamo nella seguente Tabella 2

Fonti Secondarie ottenute dalla trasformazione delle Fonti Primarie (2006)					
Energia Elettrica	Energia Termica	Carburanti	Usi non energetici	Perdite (legate alla loro produzione)	Totali Ktep
53.582	64.166,3	43.746,8	11.320	12.381	185.200
29%	34,6%	23,6%	6,1%	6,7%	100%

Tabella 2

Nella Tabella 3 evidenziamo il fabbisogno di energia termica per i vari settori di consumo:

Fonti Primarie e settori di consumo dell'energia termica (2006)							
	Industria	Residenziale	Agricoltura	Servizi	Perdite	Totali %	Totali Ktep
Carbone	4.413	8	0,0	0,0	393,3	6,2%	4.814,3
GPL e gas pert.	548	2.203,2	128,80	2.563	484,2	7,7%	5.927,2
Oli e combustibili pert.	7.111	3.755,8	2.459,20	406,6	1.221,6	19,3%	14.954,2
Metano	16.418	24.887	712	3.571,2	4.055,3	64,2%	49.643,5
Biomasse	292	1.371	169	0,0	163	2,6%	1.995
Totali %	37,22%	41,67%	4,49%	8,46%	8,17%	100%	

Tabella 3

In materia di Certificazione Energetica, l'Italia ha emanato diverse leggi, anche troppe forse, ma l'iter di attuazione della normativa è stato molto lento. I provvedimenti e gli interventi maggiormente messi in atto sono stati:

- limiti delle temperature interne per il riscaldamento;
- ispezioni periodiche degli impianti di riscaldamento con obbligo di manutenzione periodica;
- obbligo di sostituzione di generatori di calore con rendimenti di combustione al di sotto della norma e quindi non più riconducibili ad uno stato minimo di efficienza;
- diagnosi energetiche su edifici ed impianti,
- etichettatura di elettrodomestici,
- certificazione energetica degli edifici.

La legislazione energetica italiana con la Legge n. 373/1976 e poi con la Legge n. 308/1982 ha cercato di affrontare e risolvere il problema del miglioramento dell'efficienza energetica nella progettazione di edifici nuovi e nella ristrutturazione degli edifici esistenti. Con la Legge n. 10/1991 l'Italia ha avuto a disposizione una delle leggi più avanzate in Europa, per la presenza di concetti innovativi.

Tale legge all'articolo 30, definisce la Certificazione Energetica come l'atto che documenterà il valore del fabbisogno energetico dell'immobile e che verrà allegato in sede di compravendita e negli atti a titolo oneroso. Secondo il legislatore, la certificazione energetica degli edifici è lo strumento di trasformazione del mercato immobiliare, volta a migliorare l'efficienza energetica dell'immobile ed ad informare i potenziali acquirenti sulle prestazioni energetiche dell'immobile stesso.

La certificazione energetica è propedeutica sia per la progettazione di nuovi edifici che per la ristrutturazione di quelli esistenti, con lo scopo di riqualificarli dal punto di vista energetico.

Tra i principali obiettivi della Certificazione Energetica citiamo i più importanti, ovvero:

- migliorare la trasparenza del mercato immobiliare fornendo agli acquirenti ed ai locatari di immobili un'informazione oggettiva e trasparente delle caratteristiche energetiche dell'immobile.

- informare i proprietari degli immobili del costo energetico legato alla conduzione del proprio sistema edilizio in modo da incoraggiare interventi migliorativi l'efficienza energetica della propria abitazione.

- consentire agli interessati di pretendere dal fornitore (venditore) dell'immobile informazioni affidabili sui costi di conduzione. L'acquirente deve poter valutare se gli conviene o meno spendere di più per un prodotto migliore dal punto di vista della gestione e manutenzione. Anche i produttori ed i progettisti possono confrontarsi in tema di qualità edilizia offerta. I proprietari che apportano miglioramenti energetici importanti possono veder riconosciuti i loro investimenti.

La certificazione energetica non pretende di fornire con esattezza il consumo di energia di un edificio, bensì vuole indicare un consumo standardizzato. Anche l'indicatore energetico della prestazione energetica deve rappresentare una caratteristica del sistema edificio-impianti ed essere indipendente dagli effetti del clima, dalla modalità di riscaldamento degli occupanti, dal loro comportamento, dai loro consumi di acqua calda.

La certificazione energetica degli edifici è indispensabile per individuare la giusta politica di interventi nel settore edilizio per favorire una migliore qualità energetica ed ambientale. La certificazione energetica è lo strumento principale per informare i cittadini sulla qualità energetica dell'abitazione e per fornire informazioni sugli interventi agli impianti per ridurre la spesa energetica e valorizzare l'immobile.

La diffusione della certificazione energetica ha lo scopo di stimolare la realizzazione di interventi di adeguamento edilizio che può avere effetti positivi anche per lo sviluppo dell'industria delle costruzioni, ed i livelli di efficienza energetica richiesti per i componenti degli edifici e degli impianti possono rafforzare l'industria italiana del settore, favorendo la competitività del mercato.

Il decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 definisce i criteri generali, le metodologie di calcolo ed i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari. Tali criteri si applicano ai fini della determinazione della prestazione energetica per l'edilizia pubblica e privata anche riguardo alle ristrutturazioni di edifici esistenti.

Per quanto riguarda il calcolo della prestazione energetica degli edifici per la climatizzazione invernale, il decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59 specifica che per le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici si adottano le norme tecniche nazionali, definite nel contesto delle norme EN a supporto della Direttiva 2002/91/CE, detta serie UNI TS 11300 e loro successive modificazioni ed integrazioni; ovvero:

- UNI TS 11300-1: Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- UNI TS 11300-2: Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

La Direttiva europea N 2002/91 /CE oltre alle disposizioni che ogni stato membro deve recepire con provvedimento legislativo, ha previsto l'emanazione di norme tecniche europee per armonizzare le procedure ed i metodi per la certificazione energetica degli edifici. L'armonizzazione delle norme è un obiettivo indispensabile per rendere confrontabili i risultati della certificazione e per avvicinare il più possibile le procedure di calcolo che ogni stato membro deve stabilire con i provvedimenti di recepimento.

A tal fine la Commissione europea con il mandato M/343 ha chiesto agli organismi di normazione europei di emanare un pacchetto di norme armonizzate che devono essere a supporto della direttiva 2002/91 /CE e serve da guida a tutti gli Stati membri.

Tali norme hanno lo scopo di:

- fornire agli Stati membri elementi tecnici per la definizione, nella propria legislazione, dei descrittori energetici degli edifici e degli impianti;
- specificare le metodologie per il calcolo e la verifica dei requisiti prescritti in sede legislativa;
- fornire la metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, i metodi di valutazione adattabili alla certificazione energetica, le linee guida generali per l'ispezione di boiler, impianti di riscaldamento e di condizionamento dell'aria.

Per l'emanazione della normativa tecnica nazionale il Comitato Termotecnico Italiano (CTI) ha attivato gruppi di lavoro specifici per i seguenti ambiti:

- Sottocomitato 1 per l'emanazione di norme riguardanti l'involucro edilizio;
- Sottocomitato 5 per l'emanazione di norme riguardanti il raffrescamento estivo;
- Sottocomitato 6 per l'emanazione di norme riguardanti il riscaldamento.

L'impegno del CTI è stato quello di emanare norme per effettuare le ispezioni degli impianti, la certificazione energetica degli edifici e degli impianti, la verifica dei requisiti degli edifici e degli impianti. Sulla base della definizione delle norme europee e del loro recepimento in norme nazionali, il CTI ha sviluppato due norme pubblicate dall'UNI per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici relative alla climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari.

II Energia solare e tecnologia fotovoltaica

1 Radiazione solare

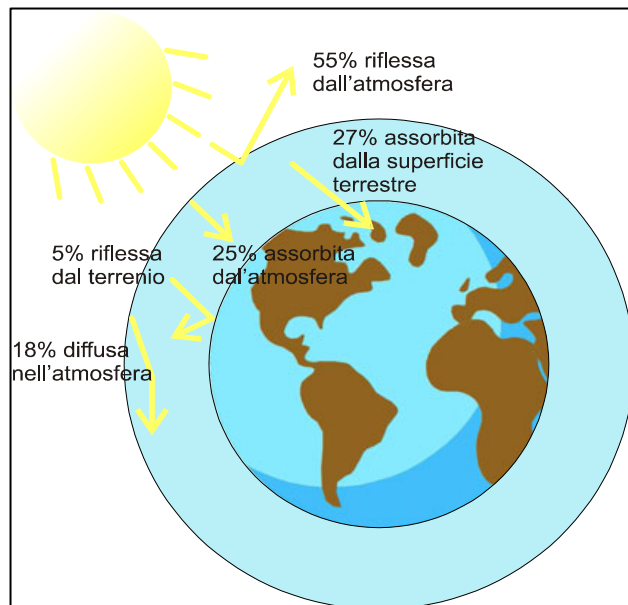
All'interno del sole, a temperature di alcuni milioni di gradi centigradi, ogni secondo vengono consumate più di 4 milioni di tonnellate di materiale, principalmente in due cicli di fusione nucleare, attraverso i quali l'idrogeno si trasmuta in elio. L'energia sprigionata nei processi di fusione, in particolare fotoni a elevata energia, si spinge verso lo strato più esterno della superficie del sole, da cui fuoriesce con una potenza pari a circa 63.000 kW/m^2 ; la frazione di questa energia che giunge sulla terra, dopo un viaggio di quasi 150 milioni di chilometri, ha una potenza di 1.367 kW/m^2 , valore chiamato costante solare. La radiazione solare giunge sulla Terra come radiazione elettromagnetica e la luce visibile non è altro che una delle infinite forme assunte dalla radiazione elettromagnetica.

Nell'attraversare la nostra atmosfera l'energia solare perde gran parte della sua intensità; sulla crosta terrestre ne arriva solo una parte, circa la metà; la restante parte viene riflessa dagli strati esterni dell'atmosfera.

Questo enorme flusso di energia, che arriva sulla Terra sotto forma di radiazione solare, si stima sia pari a circa 15.000 volte l'attuale consumo energetico mondiale. Di

questa energia solo una parte può essere trasformata in energia utile.

Sulla Terra la misura della radiazione solare totale misurata su un piano orizzontale, cioè con inclinazione nulla (in inglese Global Horizontal Irradiance: GHI), si effettua mediante uno strumento chiamato piranometro (o polarimetro) ed è espressa in W/m^2 . In Italia, al livello del



Radiazione solare nell'atmosfera terrestre

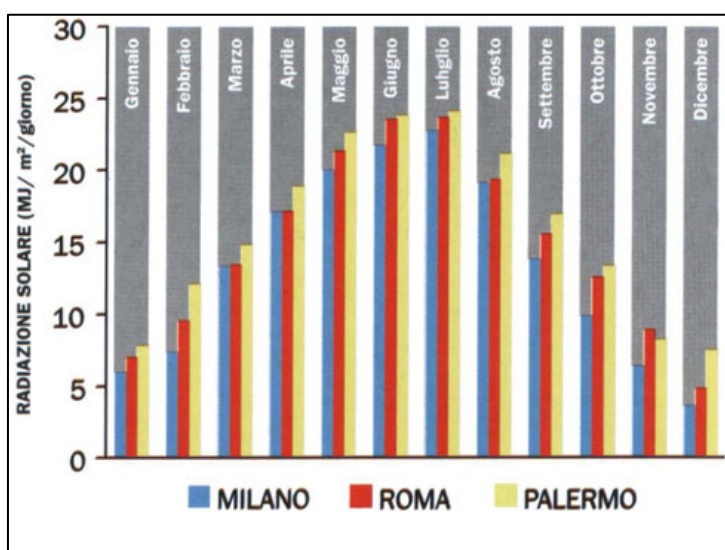
mare, durante una giornata estiva soleggiata, si può arrivare a 900-1.100 W/m².

A Berlino, nelle stesse condizioni metrologiche, si raggiungono valori di circa 300 W/m².

La luce del sole che arriva fino alla superficie terrestre consta fondamentalmente di due componenti: la luce diretta e quella diffusa, cioè deviata dal pulviscolo atmosferico e dalle nuvole e proveniente esclusivamente dal cielo e non dal disco solare. La radiazione diffusa oscilla tipicamente tra 0 e 250-300 W/m², in media in Italia rappresenta circa il 25% della radiazione globale ed è maggiore al nord.

I valori tipici della componente diretta della radiazione solare (Direct Normal Irradiance - DNI) oscillano in Italia tra 300 e 950 W/m².

La distribuzione della radiazione solare dipende generalmente dalla



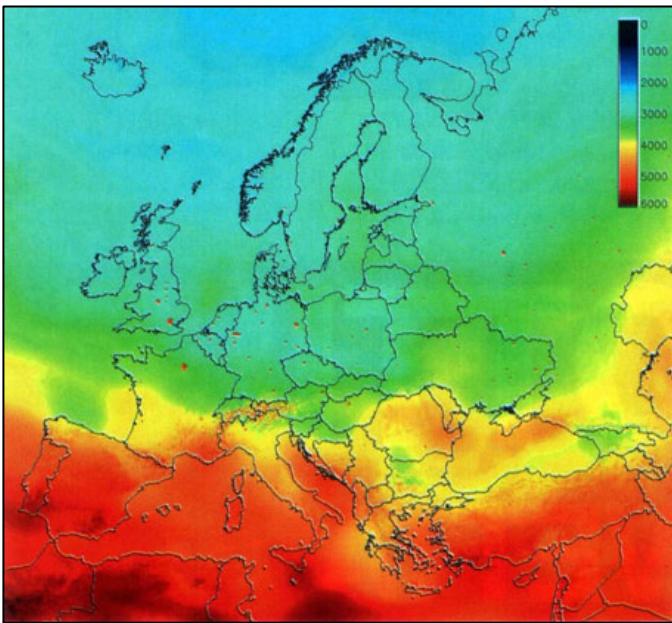
Radiazione solare orizzontale media giornaliera durante l'anno a Milano, Roma e Palermo

latitudine, grandezza che influenza l'altezza media del sole sull'orizzonte e la massa d'aria che i raggi solari devono attraversare per arrivare al suolo: più basso è il sole sull'orizzonte, maggiore è la massa d'aria attraversata dai raggi solari e maggiore è l'attenuazione della radiazione.

La differenza in latitudine fra l'arco alpino e la Sicilia è di 8-10° e ciò comporta diverse intensità medie annue della radiazione solare. Inoltre la latitudine influenza la differenza di durata del giorno tra estate e inverno; per cui al nord la differenza tra il giorno più breve e quello più lungo è di circa 6,6 ore mentre al sud è di 5,1 ore: a Cagliari, in media, una giornata di luglio equivale energeticamente a circa tre giorni di dicembre; a Milano una giornata di Luglio corrisponde a quattro giorni di Dicembre. Ne consegue

che la distribuzione dell'energia solare durante i mesi dell'anno è leggermente più uniforme al sud che al nord.

Infine latitudine e territorio diventano alleati nel determinare le ombre che possono limitare non poco l'esposizione all'irraggiamento: nelle zone collinari o montane è essenziale valutare attentamente gli effetti degli ostacoli naturali. La regola della latitudine tuttavia presenta particolari eccezioni. Infatti, oltre alla differenza di latitudine altre due peculiarità del territorio italiano influenzano clima e radiazione solare: l'arco alpino, che protegge parzialmente l'area padana dai rigori continentali e determina una vasta area a scarsa circolazione, e il Mediterraneo, che mitiga notevolmente le differenze termiche tra estate e inverno e riduce, nel periodo invernale, la nuvolosità lungo i litorali e i versanti appenninici.



Irraggiamento solare globale in Europa, in kWh/m² con inclinazione ottimale rispetto alla direzione del sole.
(Fonte: PVGIS – European Communities, 2002-2005)

Scendendo lungo lo stivale il mare domina sempre di più la meteorologia dei litorali, in modo tale che il clima diviene via via più mediterraneo. Le isole minori, infine, godono di un clima che dipende più dalla presenza del mare e dagli eventuali rilievi interni, che dalla circolazione a larga scala.

Queste osservazioni portano alla conclusione che, in Italia, il valore dell'energia solare

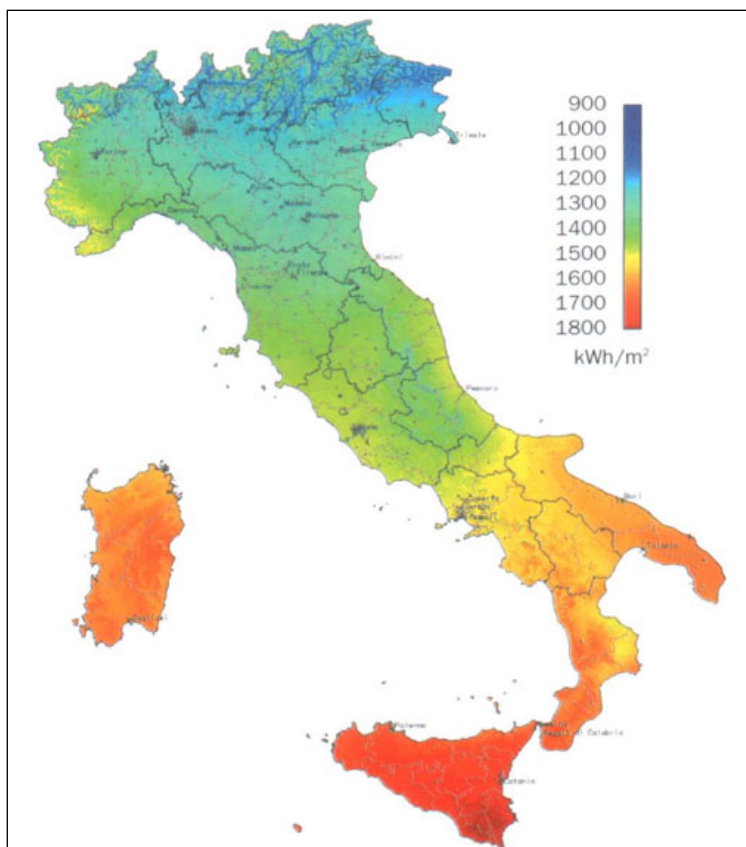
media utilizzabile, può variare in modo tangibile, fra due siti distanti anche pochi chilometri e in modo non sempre legato alla latitudine. Le coste liguri e quelle della Francia meridionale beneficiano di valori di radiazione simili a quelli dell'Italia Centro-Meridionale.

La zona di San Remo ha all'incirca la stessa radiazione media annuale di Pescara, ma durante l'inverno raggiunge le insolazioni del Golfo di Napoli.

Nel confronto con gli altri paesi europei, l'Italia, grazie al mezzogiorno, si colloca seconda/terza dopo Spagna e le isole Egee.

Rispetto invece alla Germania, Paese Europeo leader del solare fotovoltaico, in Italia si hanno potenziali doppi o tripli a seconda delle località.

Nel nostro paese, quindi, le regioni ideali per lo sviluppo delle tecnologie per la conversione dell'energia solare sono ovviamente quelle meridionali e insulari.



Mappa complessiva dell'irraggiamento solare globale su un piano orizzontale in Italia espresso in kWh/m²

generare approssimativamente in Italia 1150 kWh annui per ogni kWp di moduli fotovoltaici installati. Questo valore sale, spostandosi progressivamente verso le regioni meridionali, fino ad arrivare anche a 1500 kWh contro i 600 kWh/kWp annui della Germania.

In linea generale tutti i sistemi che sfruttano l'energia solare sono costituiti da elementi ricorrenti con funzioni differenziate, ovvero:

- dispositivo di captazione (collettore);

I valori dell'irraggiamento globale salgono ulteriormente se vengono valutati considerando un'inclinazione ottimale rispetto alla direzione del sole.

Per avere ancora un'idea delle potenzialità del territorio Italiano, con le dovute approssimazioni del caso, si rileva come, usando tecnologie comuni, un impianto fotovoltaico, ad esempio, è in grado

- sistema di trasferimento dell'energia termica all'accumulatore (circuito primario);
- unità di conservazione dell'energia raccolta (accumulo, serbatoio, ecc);
- elemento di distribuzione finale dell'energia (circuito secondario).

Le modalità di funzionamento e integrazione reciproca di queste funzioni e il loro rapporto con la struttura dell'edificio costituiscono le principali differenze tra i sistemi attivi e passivi.

2 Sistemi solari passivi

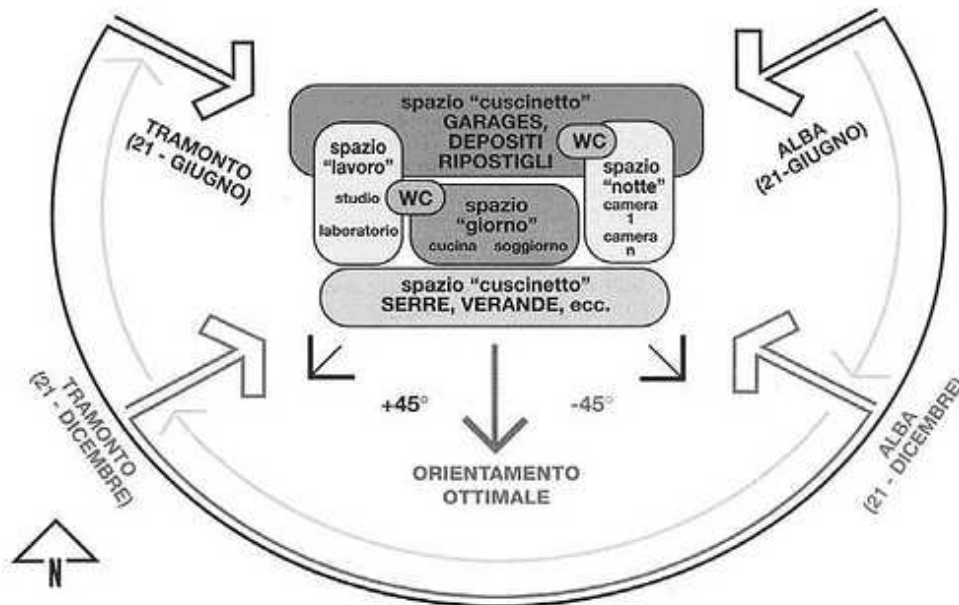
I sistemi solari passivi comprendono quell'insieme di tecnologie e accorgimenti costruttivi utili ad assorbire, mantenere e distribuire il calore all'interno degli edifici durante il periodo invernale e proteggersi dalle radiazioni solari, aumentando la ventilazione, durante il periodo estivo; tutto ciò senza l'ausilio di mezzi meccanici alimentati con fonti esogene di distribuzione dell'energia, ma soltanto sfruttando i flussi termici naturali di conduzione, convezione e irraggiamento.

In generale un sistema solare passivo è costituito da un collettore solare, molto simile nella concezione al pannello solare termico. La differenza sta nel fatto che il fluido scaldato non sarà acqua ma aria, immessa nello spazio da riscaldare per portare calore.

Il processo è semplice: si utilizza una superficie captante trasparente accoppiata ad una superficie assorbente di colore scuro, opportunamente orientate per captare la maggiore quantità di raggi solari. A queste è associato un elemento di accumulo, generalmente integrato nella struttura edilizia, costituito da materiale in grado di assorbire il calore e di rilasciarlo lentamente all'interno dell'edificio. Questo sistema deve essere integrato con dispositivi di controllo (come alberi, siepi, persiane, frangisole, torri del vento) che regolino lo scambio termico tra interno/esterno, giorno/notte, inverno/estate promuovendo o mitigando gli effetti della ventilazione, del soleggiamento e dell'umidità.

Nell'ambito dei sistemi solari passivi grande importanza assume la distribuzione degli spazi interni che, se ottimizzata, può fornire gran parte del riscaldamento e dell'illuminazione di cui hanno bisogno in fase invernale. Disponendo gli ambienti lungo il fronte Sud dell'edificio, si capta l'energia solare nelle diverse ore del giorno.

Durante l'inverno, il lato Sud sarà più caldo e soleggiato perché riceve la radiazione solare tutto il giorno e quindi esso diventa una buona ubicazione sia per gli spazi che hanno un gran fabbisogno di illuminazione e riscaldamento e allo stesso tempo idoneo ad ospitare un sistema solare.



Distribuzione ottimale degli spazi interni

Nella casa solare la zona giorno sarà posta a sud e questa costituirà proprio il sistema solare passivo; ad est e ad ovest si posiziona rispettivamente la zona notte e la zona

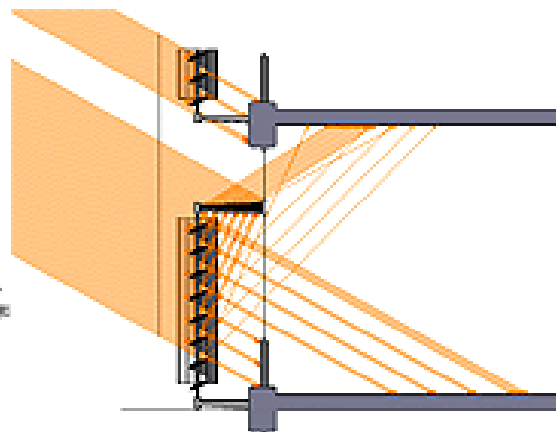
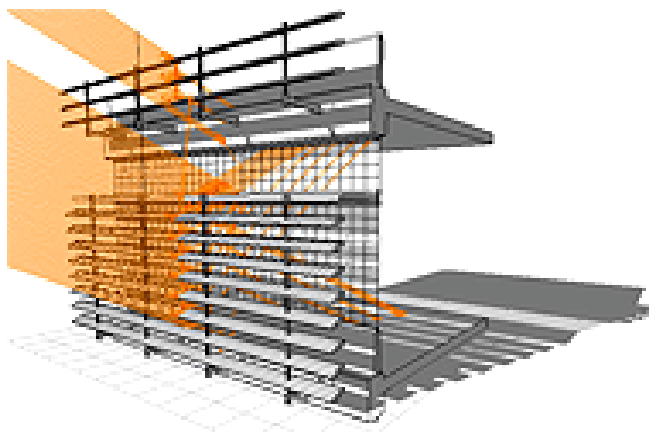
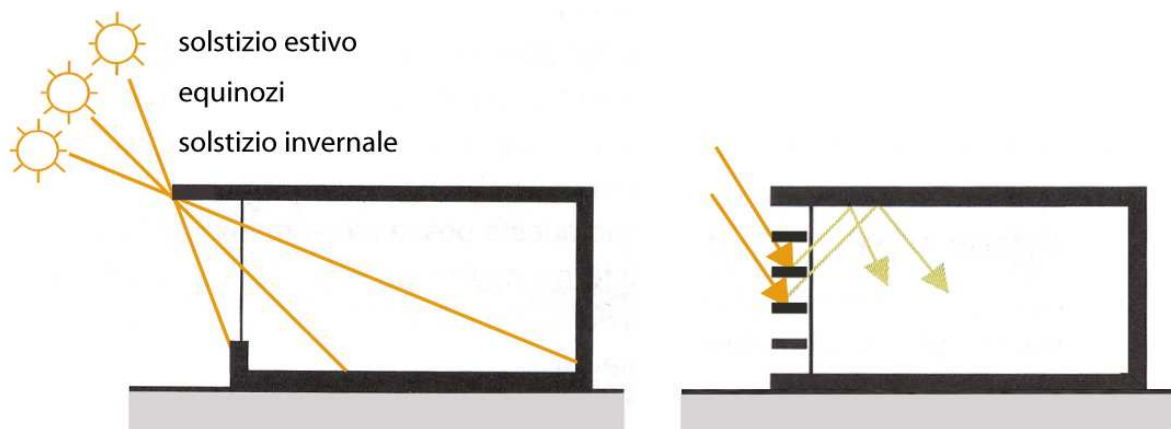
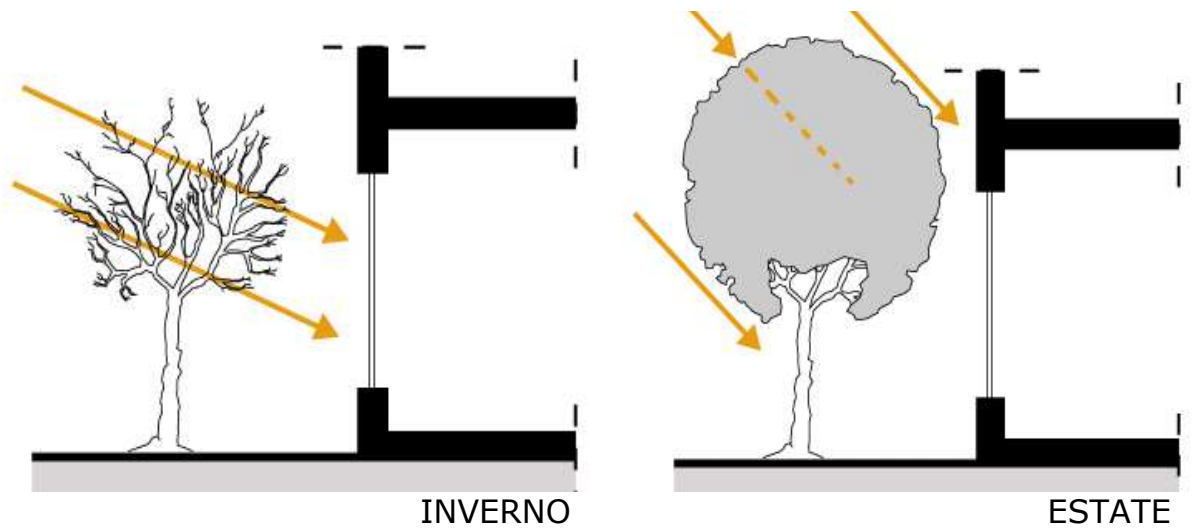
studio. I servizi e tutti gli spazi che non hanno bisogno di luce vengono dislocati a nord in modo da costituire una sorta di "cuscinetto" per limitare l'esposizione delle zone calde nella direzione più fredda.

Grande importanza assume anche il sistema di schermatura solare che ha il compito, soprattutto nella stagione estiva, di evitare il surriscaldamento dell'edificio.

I sistemi di schermatura possono essere posizionati all'esterno, all'interno della camera d'aria tra le due lastre di vetro della finestra o all'interno dei locali.

La scelta del sistema di schermatura avviene in un'ampia gamma di sistemi di ombreggiamento che possono essere: fissi quali balconate, aggetti orizzontali e verticali, ed elementi non strutturali come tettoie, brise soleil; o mobili come le tende, le veneziane, le persiane, gli scuri e le tapparelle avvolgibili.

Il controllo delle schermature può essere sia manuale sia meccanico.



Modalità di schermatura

3 Sistemi solari attivi

I sistemi solari attivi in base alla modalità di sfruttamento della radiazione solare, possono distinguersi in due grandi categorie:

- Tecnologia solare termica: capta il calore delle radiazioni solari per trasferirlo ad un liquido; è generalmente utilizzata per la produzione di acqua calda e per la produzione di energia elettrica su scala industriale.

Gli impianti solari termici possono infatti suddividersi in:

- Impianti a Collettori Solari, per la produzione di energia elettrica;
- Impianti a Pannelli Solari, per la produzione di acqua calda e di energia.

- Tecnologia fotovoltaica: sfrutta l'effetto fotovoltaico trasformando direttamente l'energia solare in energia elettrica.

3.1 Tecnologia solare termica

Attraverso opportuni sistemi, è possibile captare l'energia termica contenuta nella radiazione solare, facendo in modo che venga trasferita dai raggi del sole ad un mezzo, attraverso il quale sia possibile accumularla, convertirla o utilizzarla direttamente. In questo modo è possibile, ad esempio, riscaldare direttamente l'acqua calda che si utilizza negli edifici oppure utilizzare il calore della radiazione per la produzione di energia elettrica, in luogo di quello prodotto nelle centrali termoelettriche tradizionali attraverso la combustione di fonti fossili. Vediamo nel dettaglio questi due principali metodi di utilizzo dell'energia solare termica.

3.1.1 Impianti a collettori solari

Gli impianti solari termici utilizzano la radiazione solare per produrre calore in sostituzione dei tradizionali combustibili fossili. La concentrazione della radiazione è indispensabile, quando viene richiesto calore a temperatura maggiore di quella che può essere raggiunta con l'impiego di

una superficie piana per la sua raccolta (collettore piano – Pannelli Solari). Per ottenerla si utilizza un opportuno sistema ottico (il concentratore o collettore) che raccoglie e invia la radiazione solare diretta su un componente (il ricevitore) dove viene trasformata in calore ad alta temperatura.

Il calore così prodotto può essere impiegato in vari processi industriali (quali ad esempio la desalinizzazione dell'acqua di mare e la produzione di idrogeno da processi termochimici) o nella produzione di energia elettrica. Allo stato attuale è la generazione di energia elettrica l'obiettivo principale degli impianti solari a concentrazione. In questo caso il calore solare viene utilizzato in cicli termodinamici convenzionali come quelli con turbine a vapore, con turbine a gas o con motori Stirling.

In regioni ad alta insolazione (potenza media annua diretta superiore a 300 W/m^2), lo sfruttamento della fonte solare consente di ottenere annualmente, da 1 m^2 di superficie di raccolta, un'energia termica equivalente a quella derivante dalla combustione di un barile di petrolio, evitando inoltre l'emissione in atmosfera di circa 500 kg di CO_2 .

Per ovviare alla variabilità della sorgente solare, il calore può essere accumulato durante il giorno, rendendo il sistema più flessibile e rispondente alle esigenze dei processi produttivi. Si può comunque ricorrere all'integrazione con combustibili fossili o rinnovabili quali olio, gas naturale e biomasse.

Gli impianti solari possono utilizzare diverse tecnologie per la concentrazione della radiazione solare; in ogni caso è possibile identificare in essi le seguenti fasi del processo:

- raccolta e concentrazione della radiazione solare;
- conversione della radiazione solare in energia termica;
- trasporto ed eventuale accumulo dell'energia termica;
- utilizzo dell'energia termica.

La raccolta e la concentrazione della radiazione, che per sua natura ha una bassa densità di potenza, è una delle problematiche principali degli impianti solari. Viene effettuata, come già detto, mediante l'impiego di un

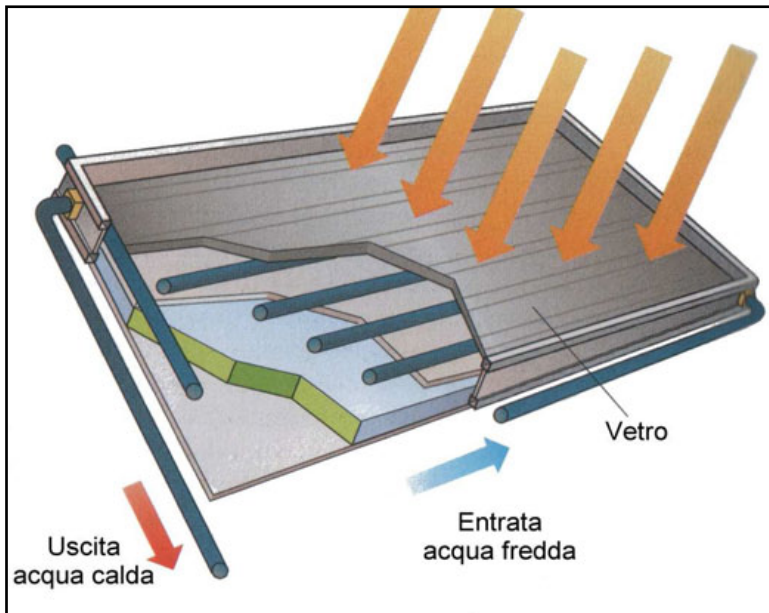
concentratore, formato da pannelli di opportuna geometria con superfici riflettenti. Questo durante il giorno insegue il percorso del sole per raccogliere la componente diretta della sua radiazione e concentrarla sul ricevitore, che trasforma l'energia solare in energia termica, ceduta poi a un fluido fatto passare al suo interno. L'energia termica asportata dal *fluido termovettore*, prima dell'utilizzo nel processo produttivo, può essere accumulata in diversi modi: sfruttando il calore sensibile del fluido stesso posto in serbatoi coibentati, oppure cedendo il suo calore a materiali inerti a elevata capacità termica o a sistemi in cambiamento di fase. In questo modo l'energia solare, per sua natura altamente variabile, può diventare una sorgente di energia termica disponibile per l'utenza su domanda.

3.1.2 Impianti a pannelli solari

Un tipico sistema termico solare consta di uno o più pannelli solari (collettori piani) per riscaldare un liquido o l'aria, con lo scopo di trasferire il calore solare per produrre acqua calda sanitaria e/o per riscaldare gli edifici.

La quantità di calore utile che un sistema termico solare può diffondere dipende dalla quantità di radiazione solare che arriva sul pannello, e dalla porzione di energia che viene utilizzata. L'insolazione, come già detto, dipende dalla superficie e dall'orientamento del pannello rispetto al sole.

La superficie e l'inclinazione del pannello dipende dall'utilizzo soggettivo: per sistemi termici di riscaldamento dell'acqua sanitaria per uso domestico, un'inclinazione leggermente più bassa (più orizzontale) può produrre una resa più elevata, poiché c'è più energia solare disponibile in estate quando il sole è alto nel cielo; per i sistemi di riscaldamento ambiente, un'inclinazione leggermente più alta (più verticale) può risultare migliore poiché il sole è basso nel cielo durante la stagione invernale quando necessita appunto il riscaldamento. Ma generalmente il pannello garantisce la migliore resa nel corso dell'anno se guarda esattamente a sud ed ha un'inclinazione approssimativa uguale alla latitudine del luogo.



Schema di pannello solare piano vetrato

Sono anche molto importanti i mutamenti stagionali e giornalieri: nell'Europa del Sud i rendimenti estivi potrebbero essere 2 volte più grandi di quelli invernali, mentre a Nord la maggior parte del rendimento annuale si ha nei mesi estivi.

Comunque sarebbe antieconomico classificare il sistema solare sulla sua capacità di soddisfare la domanda di calore durante tutto l'anno. Piuttosto, potrebbe essere usato un sistema solare più piccolo per soddisfare una porzione della domanda annuale di calore (o solo per il riscaldamento dell'acqua sanitaria o solo per il riscaldamento), con il residuo fornito da una fonte di calore accumulato come una convenzionale caldaia.

Generalmente gli impianti a pannelli solari necessitano di una superficie di circa 2-4 m² per utenze mono-familiari, 10 m² per utenze multi-familiari e possono superare i 100 m² per applicazioni specifiche, come piscine, centri sportivi, complessi turistico-alberghieri, ecc.

3.1.3 Elementi degli impianti solari termici

Un sistema termico solare normalmente consta di tre elementi differenti:

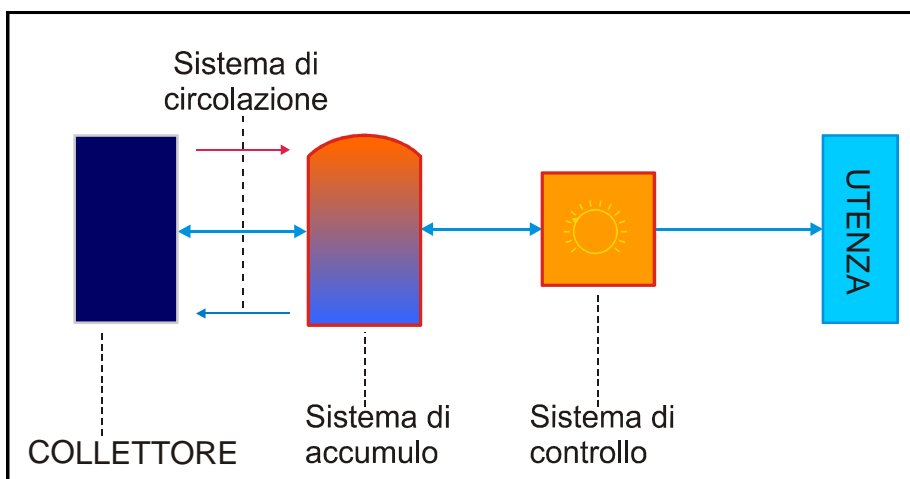
- un pannello solare
- un sistema di circolazione che include un'unità di accumulo
- un sistema di controllo

I pannelli possono classificarsi come segue:

1. Pannelli scoperti (senza vetri): sono formati da tubicini neri in polipropilene, neoprene, pvc, o metallo attraverso i quali circola l'acqua.

Non c'è isolamento supplementare così le temperature sono limitate a circa 20°C al di sopra della temperatura dell'aria. Questi pannelli sono ideali per utilizzi dove sono richieste temperature abbastanza basse, come il riscaldamento delle piscine, la produzione di acqua calda sanitaria presso strutture turistico alberghiere, camping e stabilimenti balneari.

2. Pannelli piani (vetrati): questo è il tipo di pannello più utilizzato. Consiste in una scatola piana isolante, con un lato in vetro trasparente o plastica. La scatola contiene una lastra nera piatta che assorbe l'energia solare. Il fluido che trasporta il calore (acqua o aria) scorre attraverso e sopra questa lastra assorbente, trasportando il calore assorbito. Il vetro sopra e l'isolante sotto la lastra riduce le perdite di calore. La maggior parte dei pannelli piani producono temperature fino a 70°C al di sopra della temperatura ambiente e sono adatti per il riscaldamento domestico dell'acqua e dell'ambiente.



Schema esemplificativo di impianto solare con sistema di

3. Tubi evacuati: questi pannelli sono composti da una schiera di tubi sottovuoto in vetro, ognuno contenente un assorbitore (generalmente una lastra di metallo nero) che raccoglie l'energia solare e la trasferisce ad un fluido che trasporta il calore. Grazie alle proprietà isolanti dello spazio vuoto, le perdite di calore sono molto contenute e si possono raggiungere temperature di circa 100°C al di sopra della temperatura dell'ambiente. Perciò questi pannelli sono particolarmente adatti per vari utilizzi a temperature più elevate (industria e agricoltura).

Il sistema di circolazione trasferisce calore dal pannello verso il luogo di accumulo o di utilizzo. In un sistema termico solare per il riscaldamento dell'acqua, ad esempio, il fluido che trasporta il calore circola tra il pannello ed uno scambiatore di calore in un serbatoio di accumulo. In molti sistemi, il fluido che trasporta calore è acqua o a base di acqua. Una soluzione antigelo può essere aggiunta per evitare il congelamento in inverno. In alcuni sistemi l'acqua circola tra il pannello ed il serbatoio di accumulo per mezzo di una pompa, mentre in altri la circolazione è attivata da un effetto termosifone. Nei sistemi con termosifone, l'acqua riscaldata nel pannello si espande e sale nel serbatoio di accumulo, venendo sostituita dall'acqua fredda che scende nel serbatoio. I sistemi con termosifone tendono ad essere più economici dal momento che non sono richieste pompe, ma il serbatoio di accumulo deve essere posizionato al di sopra del pannello. I sistemi a pompa vengono usati in tutta Europa, mentre quelli con termosifone vengono usati principalmente in Europa meridionale dove le temperature sono più alte anche d'inverno.

I sistemi di controllo sono necessari con tutti i sistemi di riscaldamento per assicurare un funzionamento efficiente e mantenere la temperatura desiderata fino al momento dell'utilizzo.

3.1.4 Prospettive di sviluppo

La tecnologia del solare termico, a meno di particolari applicazioni ancora molto poco diffuse quali la produzione del freddo con sistemi frigoriferi ad assorbimento, è una tecnologia matura che potrà svilupparsi nell'edilizia nuova e nel retrofit con la riduzione dei costi di investimento (sistema e installazione) e di manutenzione del sistema. Relativamente ad applicazioni multi-utenza, non solo per la produzione di acqua calda sanitaria ma anche per il riscaldamento di ambienti, vi è un certo interesse per gli accumuli stagionali che permetterebbero di superare la

penalizzazione economica dovuta al limitato periodo di riscaldamento che si registra soprattutto in Centro e Sud Italia.

Gli sviluppi attesi riguardano in particolare la disponibilità sul mercato di sistemi integrati con la componentistica tipica del settore delle costruzioni, una prospettiva che appare difficilmente realizzabile al di fuori di una logica di industrializzazione della produzione, che sembra ancora piuttosto lontana soprattutto in Italia.

In Italia, un impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria con una superficie di 4 m² e 250-300 litri di serbatoio di accumulo costa mediamente 2.000-2.500 €, inclusi installazione, materiale di consumo e IVA al 10%. Se, inoltre, è prevista l'integrazione al riscaldamento, il prezzo aumenta fino a 6.000-10.000 € (in funzione della frazione solare che si intende coprire).

A parità di superficie, i collettori a tubi sottovuoto (a seconda della tipologia) possono avere un costo tra il 30% e il 50% maggiore rispetto ai collettori piani.

I costi legati alla manutenzione e al funzionamento dell'impianto si aggirano intorno al 3% del costo dell'impianto per un impianto privato di piccola dimensione. A causa della presenza di un mercato ancora non completamente strutturato, il costo reale dipende da numerosi altri fattori e può variare in funzione delle politiche di mercato aziendali nonché dalle caratteristiche dell'interlocutore/acquirente.

Non sono stati considerati, in questa valutazione, i possibili incentivi presenti sul mercato, che indicativamente arrivano al 25-30% del costo dell'impianto. Il tempo di ammortamento in assenza di incentivi per un impianto solare per acqua calda per un nucleo domestico è nell'ordine di circa 5 anni se si sostituisce un *boiler* elettrico, di 10-12 anni se si sostituisce uno scaldabagno a gas. Da precisare però che tali valori sono da considerarsi orientativi in quanto legati al reale utilizzo dell'energia termica potenzialmente producibile con i sistemi solari.

Con ciò si vuole intendere che, mentre per le applicazioni convenzionali (combustibili fossili, biomasse, elettricità) l'utente paga l'energia

realmente consumata (quantificata mediante contatore o pesa dei combustibili), nel caso del solare l'energia producibile ma non utilizzata (ad esempio non utilizzo delle abitazioni per ferie nel periodo estivo o altro) porta ad una revisione peggiorativa dei numeri indicati. La continua crescita del mercato contribuirà probabilmente a un livellamento del costo delle componenti e quindi anche dell'installazione di un impianto solare termico.

Ad oggi, sebbene siano poco presenti in Italia, gli impianti solari termici di grandi dimensioni (maggiori di 100 m²) per utenze più grandi rappresentano l'applicazione più redditizia della tecnologia solare; grazie all'effetto scala, infatti, i costi del collettore per m² diminuiscono e allo stesso tempo gli impianti possono raggiungere rese più alte.

Tabella riassuntiva dei dati tecnici ed economici (impianto di 4 m²).

	2000	2005	2015
Quota del solare	75%	75%	80%
Efficienza termica	38%	40%	42%
Vita media impianto (anni)	20	20	20
Costo investimento (€/m ²)	650	600	450
Costi Fissi (O&M) (€/m ²)	10-15	15-20	25
Costi Variabili (O&M) (€/MWh _t)	20-25	20-25	25
Stato della tecnologia	artigianale	semindustriale	industriale

Con "quota del solare" si intende il rapporto tra l'energia coperta dalla fonte solare e l'energia richiesta dall'utente.

L'efficienza fa riferimento all'intero sistema di conversione dell'energia ed è definita come il rapporto tra energia in uscita e energia in entrata (*output/input*).

Il costo dell'investimento comprende il costo dell'impianto, i costi di installazione, i costi delle relative infrastrutture e il costo di smantellamento.

I costi annui fissi di O&M comprendono la manutenzione, il lavoro, i costi di assicurazione ecc.; sono indipendenti dal funzionamento dell'impianto.

I costi annui variabili di O&M, legati al funzionamento dell'impianto, comprendono i costi extra del lavoro, della manutenzione straordinaria ecc.

I parametri economici sono espressi in euro del 2005, al fine di evidenziare l'andamento reale di queste variabili nel periodo considerato (2000-2015).

3.2 Tecnologia solare fotovoltaica

Nel panorama delle fonti rinnovabili il solare fotovoltaico si distingue per la semplicità del sistema di conversione energetica, il basso impatto ambientale e la richiesta di manutenzione molto contenuta.

La tecnologia fotovoltaica, infatti, è caratterizzata da un processo di conversione diretta della radiazione solare in energia elettrica, che avviene interamente all'interno della cella solare (o, più in generale, dispositivo fotovoltaico). Il processo di conversione si ottiene grazie alle particolari proprietà di alcuni materiali, opportunamente trattati, di reagire alla luce solare, producendo un flusso di corrente; tale reazione è detta, appunto, effetto fotovoltaico.

3.2.1 Impianto fotovoltaico

Sfruttando l'effetto fotovoltaico, sovrapponendo e giuntando opportunamente i due strati, si crea la cella; un numero limitato di celle (elettricamente collegate tra loro e protette, mediante un apposito "contenitore", dagli agenti meccanici e atmosferici) costituisce il modulo, l'unità elementare di un impianto di produzione, la cui potenza nominale può quindi variare in un intervallo molto esteso (da qualche centinaio di W a decine di MW).

Gli impianti di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica, possono distinguersi per la modalità di "raccolta" dell'energia solare che raggiunge il nostro pianeta: si possono avere impianti "fotovoltaici piani fissi", tipologia maggiormente diffusa tipicamente priva di dispositivi ottici preposti alla concentrazione della radiazione incidente, e impianti "fotovoltaici a concentrazione", tutt'ora in fase di sviluppo e sempre abbinati ad apparati di movimentazione per l'inseguimento del sole.

Gli impianti fotovoltaici, indipendentemente dalla loro taglia, sono classificabili, inoltre, a seconda dell'uso finale dell'energia prodotta, in impianti connessi alla rete (grid connected) e isolati (stand alone).

Negli impianti connessi a una rete elettrica di distribuzione, l'energia viene convertita in corrente elettrica alternata per alimentare il carico-utente e/o per essere immessa nella rete stessa (con la quale lavora in regime di "scambio sul posto"), a seconda delle condizioni istantanee della generazione fotovoltaica e dell'utilizzatore.

Negli impianti isolati, l'energia prodotta alimenta direttamente un carico elettrico (in continua o in alternata), mentre la parte eccedente viene generalmente immagazzinata in un apposito sistema di accumulo, per renderla disponibile all'utenza nelle ore di generazione fotovoltaica nulla o insufficiente.

Sostanzialmente, la rete di distribuzione negli impianti grid connected e il sistema di accumulo negli impianti stand alone si comportano in maniera del tutto analoga.

In un impianto fotovoltaico, che è costituito da un insieme di più componenti elettronici ed elettrici, oltre alle strutture (tipicamente meccaniche) di supporto dei moduli, possono essere individuati due sottosistemi principali: quello di generazione e quello di controllo e condizionamento della potenza.

Il componente base del sistema di generazione, generatore o campo fotovoltaico, è costituito dal modulo, a sua volta costituito, come già sottolineato, da più celle fotovoltaiche; mentre il componente principale del sistema di controllo e condizionamento della potenza, è costituito dal

convertitore continua-alternata, più comunemente noto con il nome di inverter; la velocità di ricarica e lo stato di carica delle batterie, nel caso di impianti con sistemi di accumulo, sono affidati ad un regolatore di carica. Alcuni impianti, a seconda delle esigenze e delle possibilità di installazione, possono essere dotati dei cosiddetti inseguitori solari, per aumentare la captazione.

Analizziamo ora singolarmente i componenti e le tecnologie di un tipico impianto fotovoltaico, a partire dall'elemento base, il silicio.

3.2.2 *Elemento base: il Silicio*

Il materiale di base per la produzione delle celle è un semiconduttore e ad oggi il più utilizzato è il silicio, il secondo materiale più presente sul pianeta dopo l'ossigeno. Sulla Terra questo elemento non esiste in forma pura perché reagisce con l'ossigeno, per cui lo si trova comunemente come ossido di silicio (SiO_2). Il silicio può avere le seguenti strutture cristalline (in ordine decrescente rispetto alle efficienze raggiungibili con le celle solari):

- struttura monocristallina, gli atomi sono ordinati regolarmente per formare un unico cristallo e sono legati uniformemente fra loro;
- struttura policristallina, gli atomi si presentano aggregati in piccoli grani monocristallini orientati in maniera casuale;
- struttura amorfa, gli atomi sono orientati disordinatamente e non formano un cristallo regolare (ciò avviene ad esempio nel caso del vetro).

Comunemente il silicio viene suddiviso in tre gradi di purezza, cioè assenza di sostanze estranee: silicio metallurgico (1-2% di impurezze), silicio di grado solare (circa 0,01 % di impurezze e adatto all'industria fotovoltaica), silicio di grado elettronico (circa 10^{-6} % di impurezza e adatto per le applicazioni dell'industria elettronica). Il silicio viene estratto dalle miniere con un grado di purezza che in genere non è sufficiente per le applicazioni industriali e deve essere purificato attraverso reazioni a 1800°

con il carbonio. Il consumo di energia per la produzione di silicio con i processi di purificazione è piuttosto elevato: circa 200 kWh per kg di materiale prodotto.

3.2.3 Cella e modulo fotovoltaico

La cella fotovoltaica è un dispositivo elettronico costituito da un materiale semiconduttore (molto spesso silicio), e costituisce l'unità elementare di un impianto, nella quale avviene la conversione della radiazione solare in elettricità.

In termini di produzione commerciale, sono oggi disponibili essenzialmente due tipologie di celle fotovoltaiche: la prima basata sul silicio cristallino (mono- e multicristallino) e la seconda, quella dei dispositivi a "film sottile".

Per quanto riguarda la base silicea, le tecnologie di realizzazione più comuni sono:

- Silicio monocristallino, in cui ogni cella è costituita da un wafer prodotto da un lingotto di silicio purissimo;
- Silicio policristallino, in cui il lingotto di cui sopra è prodotto mediante drogaggio chimico;
- Silicio amorfo, in cui gli atomi silicei vengono depositi chimicamente in forma amorfa, ovvero strutturalmente disorganizzata, sulla superficie di sostegno;
- Eterogiunzione, in cui viene impiegato uno strato di silicio cristallino come superficie di sostegno di uno o più strati amorfi, ognuno dei quali ottimizzato per una specifica sotto-banda di radiazioni;
- Silicio microsferico, in cui si impiega silicio policristallino ridotto in sfere del diametro di circa 0,75 mm ingabbiate in un substrato di alluminio;



Cella fotovoltaica in silicio policristallino

Di queste, soltanto l'amorfo e il microsferico consentono la **flessione** del loro substrato di sostegno: nel caso dell'amorfo non vi è la struttura cristallina del materiale ad impedirne la flessione, nel caso del microsferico non è la cella (sfera) a flettersi, ma la griglia a nido d'ape su cui è



Pannelli Fotovoltaici

disposta.

I moduli fotovoltaici realizzati con celle al silicio cristallino detengono oltre il 90% del mercato mondiale, mentre la restante parte del mercato riguarda essenzialmente quelli al silicio amorfo e, solo marginalmente, quelli basati sui cosiddetti dispositivi a film sottile policristallino.

La tipica cella fotovoltaica presente sul mercato è costituita da una sottile fetta (*wafer*) di silicio cristallino, di spessore complessivo compreso tra 0,25 mm e 0,35 mm circa, generalmente di forma quadrata e di superficie pari a circa 100 cm² (fino a 225 cm²). Le celle al silicio cristallino sono ottenute attraverso un taglio di un singolo cristallo di silicio o di un lingotto di silicio multi-cristallino; le fette così ottenute (di spessore compreso tra 250 e 350 µm circa) vengono sottoposte a un processo ad alta temperatura (dell'ordine di 800-900 °C) per la formazione della giunzione p-n.

Nel caso dei dispositivi a film sottile, uno strato di materiale semiconduttore (principalmente silicio amorfo) è depositato su una lastra di vetro o su una sottile lamina di metallo o di altro materiale flessibile che agisce da supporto.

La cella si comporta come una minuscola batteria, producendo – nelle condizioni di radiazione solare di prova STC (*Standard Test Conditions* cioè radianza pari a 1 kW/m² e temperatura di cella pari a 25 °C) – una corrente tra i 3 A e 4 A a una tensione di circa 0,5 V, generando quindi una potenza di 1,5-2 Watt di picco (Wp). Tra le celle oggi disponibili sul

mercato, quelle al silicio cristallino presentano prestazioni e durata nel tempo maggiori rispetto a qualsiasi altro materiale usato per lo stesso scopo.

Le celle solari costituiscono un prodotto intermedio dell'industria fotovoltaica; esse infatti vengono assemblate in moduli fotovoltaici.

I moduli fotovoltaici in commercio attualmente più diffusi, hanno dimensioni variabili da 0,1 mq a 1,8 mq, con punte di 2,5 mq in esemplari per grandi impianti. Non vi è comunque particolare interesse a costruire moduli di grandi dimensioni, a causa delle grosse perdite di prestazioni che l'intero modulo subisce all'ombreggiamento (o malfunzionamento) di una sua singola cella.

I moduli hanno superfici variabili tra 0,1 mq e 0,8 mq, prevedono da 32 a 108 celle opportunamente collegate elettricamente in serie/parallelo fra loro, hanno una tensione di lavoro tra i 15 e i 40 Volt e una potenza nominale erogata che varia fra i 5 Wp e i 230 Wp, in condizioni STC, a seconda del tipo e dell'efficienza delle celle. La potenza più comune si aggira intorno ai 150 Wp a 24 V, raggiunti in genere impiegando 72 celle fotovoltaiche. La superficie occupata dai modelli commerciali si aggira in genere intorno ai 7,5 mq/kWp, ovvero sono necessari circa 7,5 metri quadrati di superficie per ospitare pannelli per un totale nominale di 1.000 Wp.

I moduli comunemente usati nelle applicazioni commerciali hanno un rendimento complessivo compreso tra il 6% e il 17%. Con rendimento si intende la percentuale di energia captata e trasformata rispetto a quella totale giunta sulla superficie del modulo, e può essere considerato un indice di correlazione tra watt erogati e superficie occupata, ferme restando tutte le altre condizioni. Il rendimento complessivo del modulo è inferiore a quello delle singole celle, sia perché non tutta la superficie del modulo può essere occupata dalle celle, sia per problemi di *mismatch* elettrico (perdita di efficienza a causa dell'accoppiamento dei moduli) tra le celle costituenti il modulo stesso. Per motivi costruttivi, il rendimento

dei moduli fotovoltaici è in genere inferiore o uguale al rendimento della loro peggior cella.

I rendimenti dei pannelli fotovoltaici sono suscettibili di variazione in base a:

- rendimento dei materiali;
- tolleranza di fabbricazione percentuale rispetto ai valori di targa;
- irraggiamento a cui le sue celle sono esposte;
- angolazione con cui questa giunge rispetto alla sua superficie;
- temperatura di esercizio dei materiali (tendono ad "affaticarsi" al caldo);
- composizione dello spettro di luce.

Valori tipicamente riscontrabili in prodotti commerciali a base silicea si attestano intorno al:

- 16% nei moduli in eterogiunzione;
- 14% nei moduli in silicio monocristallino;
- 13% nei moduli in silicio policristallino;
- 10% nei moduli in silicio microsferico;
- 6% nei moduli con celle in silicio amorfo.

Ne consegue che ad esempio a parità di produzione elettrica richiesta, la superficie occupata da un campo fotovoltaico amorfo sarà più che doppia rispetto ad un equivalente campo fotovoltaico cristallino.

A causa del naturale affaticamento dei materiali, le prestazioni di un pannello fotovoltaico comune diminuiscono di circa un punto percentuale su base annua. Per garantire la qualità dei materiali impiegati, è prassi comune che i produttori coprano con un'opportuna garanzia oltre ai difetti di fabbricazione anche il calo di rendimento del pannello nel tempo. La garanzia oggi più comune è del 90% sul nominale per 10 anni e dell'80% sul nominale per 20 anni.

I moduli fotovoltaici odierni hanno una vita stimata di 50 anni circa, anche se è plausibile ipotizzare che vengano dismessi dopo un ciclo di vita di 20-25 anni, a causa dell'obsolescenza della loro tecnologia.

Caratteristiche Dimensionali e Meccaniche dei moduli				
Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Area (m ²)	Spessore (mm)	Peso (kg)
205 ÷ 1899	270 ÷ 1979	0,1 ÷ 1,8	20 ÷ 56	0,8 ÷ 18,5

Il processo di fabbricazione del modulo è articolato in varie fasi: connessione elettrica, incapsulamento, montaggio della cornice e della scatola di giunzione. La connessione elettrica consiste nel collegare in serie-parallelo le singole celle per ottenere i valori di tensione e di corrente desiderati. L'incapsulamento consiste nell'inglobare le celle fotovoltaiche tra una lastra di vetro e un materiale plastico sul retro, tramite laminazione a caldo di materiale polimerico. Il montaggio della cornice fornisce al modulo maggiore robustezza e ne consente l'ancoraggio alle strutture di sostegno.

Caratteristiche Elettriche dei Moduli			
(riferite alle condizioni di prova STC-Standard Test Conditions: radiazione di 1000 W/m ² , temperatura della cella 25 °C, spettro AM 1,5).			
Potenza di Picco (Wp)	Efficienza del modulo (%)	Tensione di Lavoro (V)	Temperatura nominale delle celle (°C)
5 ÷ 230	6 ÷ 17	15 ÷ 40	50 ÷ 25

Un insieme di moduli, collegati elettricamente in serie in modo da fornire la tensione richiesta, costituisce una stringa. Più stringhe collegate in parallelo, per fornire la potenza voluta alla tensione di stringa, costituiscono il generatore o campo fotovoltaico. Le varie stringhe di moduli fotovoltaici possono, a seconda delle esigenze, essere tra loro connesse in parallelo mediante opportuni quadri elettrici prima di raggiungere l'inverter o il regolatore di carica nel caso di impianti stand-alone ovvero ad isola in corrente continua.

Il campo fotovoltaico può essere paragonato ai polmoni di un impianto, ovvero il punto di contatto tra l'impianto e la sua fonte di energia, la luce del sole.

3.2.4 Convertitore corrente continua/alternata

Il convertitore continua/alternata, comunemente chiamato inverter, fa parte, con il sistema di controllo e le connessioni e le protezioni elettriche, del cosiddetto BOS (Balance of System) di un sistema fotovoltaico; esso svolge la funzione di trasformare l'energia prodotta dal generatore fotovoltaico (sotto forma di corrente continua), con valori di tensione variabili in funzione della radianza solare e della temperatura ambiente (e, quindi, di lavoro delle celle fotovoltaiche), in corrente alternata alla tensione tipica di 220/380 V nel caso di impianti per utenze domestiche, o in media tensione (generalmente 8-20 kV a seconda della rete) nel caso di impianti di media-grande taglia grid connected.

Si trovano in commercio inverter *grid connected*, da utilizzare per impianti collegati alla rete elettrica, e inverter stand alone, isolati dalla rete elettrica.

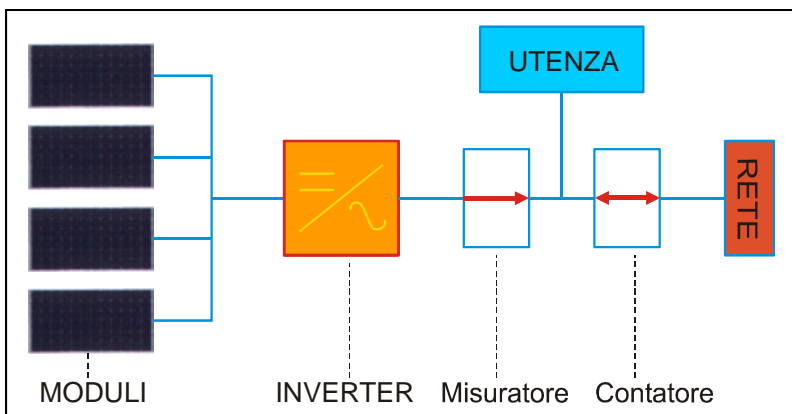
Negli ultimi dieci anni sono stati fatti notevoli passi avanti nella tecnologia legata all'impiantistica modulare e quindi alla produzione degli inverter.

L'introduzione della tecnologia *string*, per gli impianti connessi in rete, e degli inverter modulari ha permesso di abbandonare gli impianti dotati di un solo inverter al quale erano collegati molti moduli connessi in parallelo, ottenendo i seguenti vantaggi: una riduzione dei costi grazie all'installazione semplificata (nessuna connessione in parallelo dei moduli), maggiore rendimento energetico a causa della riduzione delle perdite dovute al mismatch dei moduli; maggiore sicurezza di funzionamento dei sistemi FV; maggiore disponibilità grazie al monitoraggio ottimale del sistema; possibilità di ampliamento modulare.

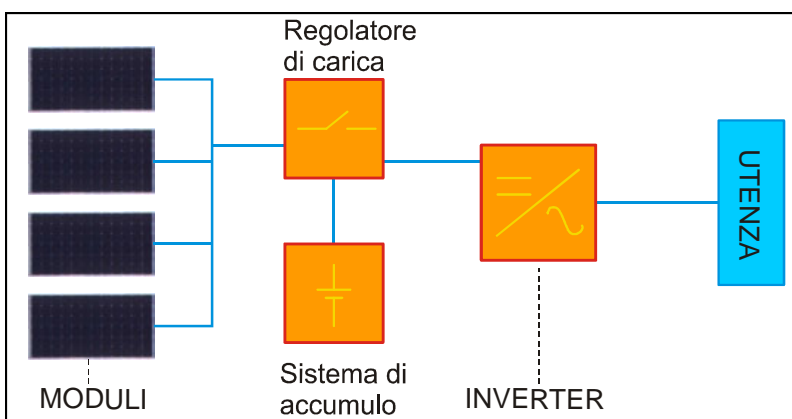
3.2.5 Sistemi di accumulo e misuratori di energia

Nel caso di impianti non collegati alla rete può essere necessario immagazzinare energia elettrica da utilizzare in funzione del profilo della domanda di energia da parte dell'utenza elettrica. A questo fine viene utilizzato quasi esclusivamente un banco di accumulatori ricaricabili, dimensionato in modo da garantire la sufficiente autonomia di alimentazione del carico elettrico. Le batterie, utilizzate a tale scopo, sono accumulatori di tipo stazionario e solo in casi particolari è possibile utilizzare batterie per autotrazione.

I misuratori di energia sono degli apparecchi che vengono installati sulle linee elettriche e misurano l'energia prodotta dall'impianto e quella immessa in rete



Schema esemplificativo di impianto fotovoltaico connesso alla rete -GRID CONNECTED-



Schema esemplificativo di impianto fotovoltaico isolato con sistema di accumulo -STAND ALONE-

3.2.6 *Inseguitore solare*

Un campo fotovoltaico può, secondo le esigenze, essere montato su strutture fisse o semoventi. Il silicio cristallino, infatti, risulta molto sensibile all'incidenza con cui la luce ne colpisce la superficie. Perciò in alcuni casi risulta opportuno impiegare strutture dette inseguitori che rilevano la posizione del sole e orientano il campo fotovoltaico di conseguenza. Gli inseguitori più diffusi sono quelli a un grado di libertà, l'*azimut*. Per ottenere ciò una o più stringhe vengono montate a bordo di una base rotante. L'incremento di produzione elettrica risultate è approssimativamente pari al 17%.

Gli inseguitori a *tilt* sono anch'essi ad un grado di libertà, ma nel senso verticale. In questo caso il campo fotovoltaico viene sollevato verso l'orizzonte in modo che l'angolo rispetto al suolo sia ottimale per la posizione del sole. L'incremento di produzione rispetto ad una soluzione fissa è di circa il 6%.

Gli inseguitori più sofisticati sono quelli chiamati in gergo *girasoli*, ovvero inseguitori a due gradi di libertà. In questo caso entrambe le caratteristiche degli inseguitori poc'anzi citati vengono combinate per rinforzarsi a vicenda. I vantaggi in termini elettrici raramente superano il 25%.

3.2.7 *Produzione energetica*










La produzione energetica di un impianto fotovoltaico può essere stimata tenendo conto di alcuni fattori, tra i quali:

- la radiazione solare del luogo (dipendente come già detto da latitudine, altitudine e fattori climatici);
- le prestazioni tecniche di moduli fotovoltaici, inverter e dagli altri componenti dell'impianto;

- l'orientamento, l'angolo di inclinazione dei moduli e le eventuali ombre temporanee (l'influenza questi fattori è sintetizzata da un coefficiente correttivo riportato in tabella);
- le condizioni operative dei moduli.

Nella tabella seguente sono indicati i coefficienti correttivi che tengono conto dell'inclinazione e dell'orientamento del pannello rispetto all'orizzontale; per ottenere le massime prestazioni deve essere inclinato di 30° e orientato a sud.

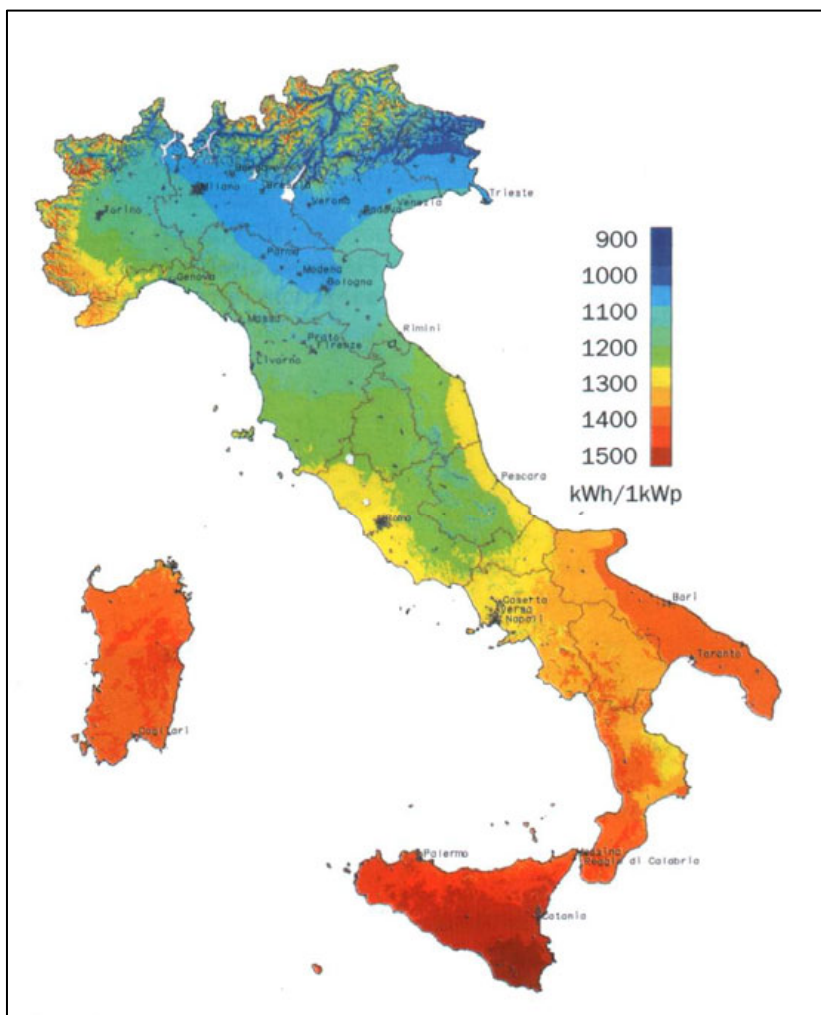
I riquadri evidenziati in arancio mostrano le condizioni che sarebbe meglio evitare, in quanto ridurrebbero troppo l'efficienza dell'impianto.

INCLINAZIONE \ ORIENTAMENTO		0 °	30 °	60 °	90 °
		 —	 /	 /	
EST		0,93	0,90	0,78	0,55
SUD-EST		0,93	0,96	0,88	0,66
SUD		0,93	1,00	0,91	0,68
SUD-OVEST		0,93	0,96	0,88	0,66
OVEST		0,93	0,90	0,78	0,55

Orientativamente un impianto da 1 kWp può essere realizzato, considerando i prodotti attualmente in commercio, utilizzando una superficie minima di pannelli solari variabile (in base all'efficienza del modulo installato) dai 6 m² (moduli con efficienza del 16%) ai 9-10 m² (moduli con efficienza del 10-11%).

In una città come Cagliari, con un impianto da 1 kW è possibile produrre circa 1400-1500 kWh di energia elettrica, cioè circa la metà dei consumi elettrici medi di una famiglia, che si aggirano intorno ai 3000kWh/anno.

La mappa mostra la produzione elettrica annua per un impianto



fotovoltaico da 1 kWp (cioè la potenza teorica massima che l'impianto può produrre nelle condizioni standard di insolazione e temperatura dei moduli, 1 kW/m² e 25 °C), installato in Italia, nelle le migliori condizioni locali di installazione (inclinazione di 30° rispetto all'orizzontale, orientamento a sud, assenza di ombreggiamenti).

Produzione di elettricità di un impianto fotovoltaico in Italia da 1 kWp con l'inclinazione ottimale rispetto alla direzione del sole.

3.2.8 Costi

La particolarità di un impianto fotovoltaico, per quello che riguarda l'aspetto economico, consiste nel forte impegno di capitale iniziale richiesto per la sua realizzazione e nelle basse spese di manutenzione.

I costi che potrebbero essere definiti di tipo impiantistico, si dividono in due gruppi principali: moduli e BOS (Balance of system: elementi e

apparecchiature complementari, come inverter, cablaggi, ecc.). Alle condizioni di mercato attuali, per i soli moduli, si può parlare di un costo oscillante tra 3.000 e 4.000 €/kWp installato, a seconda del tipo di celle, della qualità del prodotto, dell'azienda produttrice e del fornitore/installatore.

Per le altre voci si può indicare un costo di 600 €/kWp riferito ai cablaggi e di 500-700 €/kWp per gli inverter, cui si aggiungono altri 1.000-2.000 €/kWp per quadri elettrici, collegamenti e sistemi di fissaggio.

Si devono considerare, inoltre, i costi relativi alla progettazione e alla manodopera, entrambe fortemente vincolate alle specifiche caratteristiche tecniche e qualitative dell'impianto. La prima voce può comprendere progettazione preliminare, definitiva ed esecutiva, elettrica, architettonica, tecnologica e strutturale, la relativa direzione dei lavori e il collaudo finale. Il suo ammontare complessivo può variare, all'incirca tra il 5 e il 20% del costo dell'opera realizzata.

Riguardo alla manodopera, per la quale si dovrebbe ricorrere a personale qualificato, si può stimare un costo intorno al 10-15% di materiali e componenti installati.

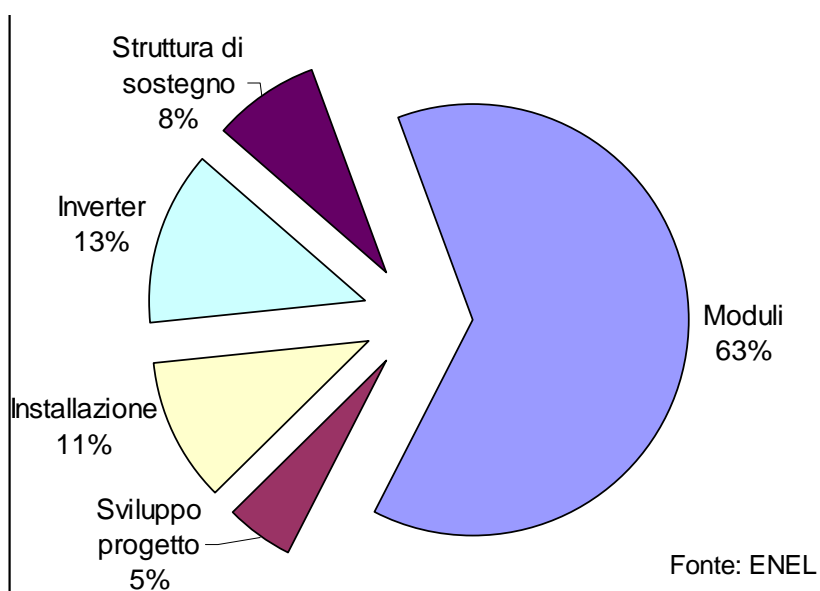
Sulla base di quanto esposto, dati comunque indicativi e approssimati, si può dire che i costi complessivi dei sistemi fotovoltaici si aggirano attorno ai:

- 10.000-12.000 €/kW_p per unità di alimentazione di piccole utenze isolate e non raggiunte dalla rete elettrica, per le quali si devono considerare anche i costi dovuti ai sistemi di accumulo dell'energia elettrica;
- 7.000-9.000 €/kW_p per piccoli impianti connettabili alla rete integrati negli edifici;
- 6.000-8.000 €/kW_p per unità produttive di media taglia, integrate negli edifici;
- 5.000-6.000 €/kW_p per le grandi centrali.

All'interno dei valori orientativi suindicati, si noti come rispetto a tipologie applicative più semplici (ad esempio cavalletti o sostegni metallici standard) l'integrazione architettonica sia caratterizzata da extracosti dovuti a sistemi tecnologici aggiuntivi, generalmente, ma non necessariamente, proporzionali alla qualità estetica e funzionale della realizzazione.

In questo caso, però, deve essere considerato il risparmio sugli elementi edilizi sostituiti, che approssimativamente può variare dai 50 ai 300 €/m² di pannelli installati (cioè all'incirca tra i 400 e i 3.000 €/kW_p).

Il costo annuo di manutenzione è generalmente piuttosto basso: normalmente nelle analisi economiche si stima intorno all'1% del costo d'impianto, da conteggiare sul costo dell'intera vita; in tale stima sono compresi anche gli eventuali costi di manutenzione straordinaria, dovuti alla riparazione o sostituzione di componenti dell'impianto.



Suddivisione dei costi in percentuale

Nella maggior parte dei casi il costo dell'energia prodotta, 25-40 c€/kWh, risulta ancora superiore al costo dell'energia elettrica prodotta con una centrale convenzionale di grande dimensione. Per questo motivo, sebbene i costi siano

fortemente diminuiti nell'ultimo decennio a seguito della crescita del mercato e del miglioramento tecnologico, la convenienza all'installazione di un impianto fotovoltaico sembra dipendere ancora fortemente da eventuali forme di incentivi, che verranno esaminati in seguito.

Nei costi del kWh prodotto da fotovoltaico non emergono però i fattori positivi che un tale impianto determina sull'utenza: minore dispersione nella rete di distribuzione, indipendenza dal gestore di rete e minore impatto sull'ambiente. Tutti questi elementi fanno del fotovoltaico la soluzione più praticabile per la generazione elettrica distribuita in ambiente urbano.

Appare quindi evidente come gli sviluppi di questa tecnologia siano legati al sistema degli "usi finali" dell'energia piuttosto che a quelli della generazione di potenza. Sono infatti le applicazioni integrate con l'edilizia che possono contribuire in modo significativo al decollo di questa tecnologia.

Una indicazione in questo senso ci viene dal Giappone, paese che ha puntato in modo strategico su tale tecnologia il cui mercato sta rapidamente crescendo in un contesto di graduale diminuzione degli incentivi statali. In Giappone, infatti, gli incentivi, partiti 15 anni fa con un contributo in conto capitale pari all'80%, sono arrivati nel 2004 al 5% in conto capitale più un tasso agevolato.

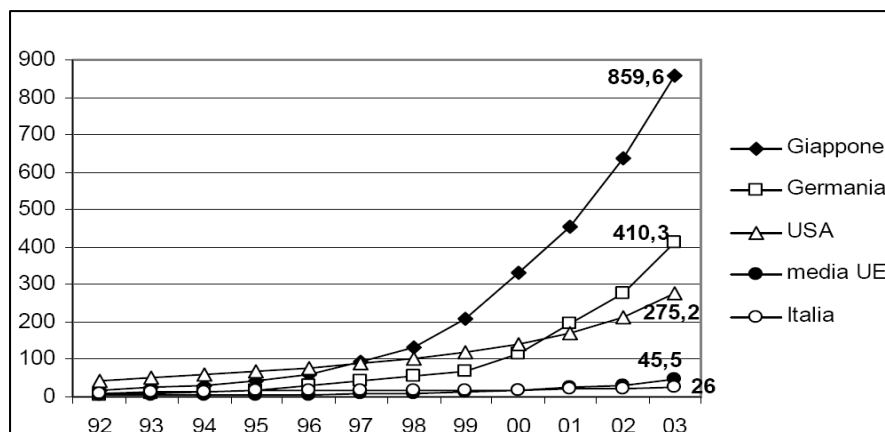
3.2.9 Diffusione della tecnologia e prospettive di sviluppo

La capacità fotovoltaica installata a livello mondiale ha superato, nel 2003, i 2.200 MW, con un tasso di crescita del 32,4% che si è mantenuto pressoché costante rispetto agli anni precedenti. In figura è riportato l'andamento delle installazioni in alcune aree geografiche in cui le applicazioni fotovoltaiche sono più diffuse.

Paese leader è il Giappone che, insieme alla Germania, è quello che presenta il più elevato tasso di crescita annuale. Molto meno marcato, anche se positivo, appare il trend di crescita negli Stati Uniti, paese tra i primi a sviluppare questo settore di applicazioni. Molto contenuto invece è il trend di crescita in Italia che, a partire dal 2001, risulta inferiore alla pur bassa media europea.

L'Italia, che fino agli anni 90 aveva mantenuto una posizione di leadership in Europa, non è stata in grado di allinearsi all'improvviso e sostenuto sviluppo che si è determinato, a partire dalla fine degli anni 90, non solo in Germania ma anche in Olanda, Spagna e, con valori più bassi, anche in Francia e Austria.

Stime
 EurObserv'ER
 danno al 2004
 una potenza
 totale installata
 in Europa di oltre
 1 GWp, con una
 crescita del
 69,2% rispetto



Potenza installata per aree geografiche 1992-2003 (MW)

al 2003, determinata principalmente dal forte sviluppo del settore registrato in Germania che per la prima volta, durante il 2004, con una nuova potenza installata pari a 363 MWp (circa 30.000 nuovi impianti) ha superato il Giappone (280 MWp nel 2004) in quantità annuale installata. In Italia, di cui è rappresentato in Figura 7.9 l'andamento delle installazioni per tipologia negli ultimi quattro anni, si raggiunge nel 2004 la potenza totale installata di 31 MW, con una nuova capacità installata identica a quella installata nel 2003 (4,3 MWp).

Secondo gli ultimi dati disponibili (marzo 2006) forniti da Solarbuzz sui prezzi di vendita al dettaglio dei moduli (sulla base di un indice costruito su una media dei prezzi di oltre 580 moduli di 89 società presenti sul mercato mondiale), l'indice europeo si attesta sui 5,80 € per watt di picco, con una variazione percentuale che non risulta essere così ampia come è invece accaduto nel 2005, anche se il trend dei prezzi rimane in aumento.

Dalla ricerca risulta che nei primi mesi del 2006 il numero dei prezzi dei moduli in aumento rispetto a quelli in diminuzione è in un rapporto di 2 a 1 (ad esempio, a marzo sono 68 quelli in aumento e 34 in diminuzione),

mentre nel 2005 il rapporto era anche di 3 a 1 o 4 a 1, soprattutto a causa di una domanda in rapidissima crescita.

Infatti, nonostante la carenza di silicio, il 2005 è stato un anno in cui la crescita della domanda è stata notevolissima, come risulta anche dal rapporto "Marketbuzz 2006": le installazioni a livello mondiale nel 2005 sarebbero state pari a 1.460 MW, con un incremento del 34% rispetto al 2004.

La Germania ha avuto un nuovo impressionante boom di impianti, con una potenza installata di 837 MW in un solo anno (+53% rispetto al 2004), pari al 57% del totale mondiale. Il Giappone con 292 MW installati ha registrato una crescita di solo il 14% rispetto all'anno precedente. Ne risulta che in totale oggi nel mondo si stima siano installati oltre 5.000 MW fotovoltaici.

Per quanto riguarda la produzione di celle, nel 2005 si è arrivati a produrne una potenza pari 1.650 MW (era stata di circa 1.200 MW nel 2004). In questo caso il Giappone mantiene la leadership con una quota del 46% sul totale. Gli investimenti per la nuova produzione di celle FV sono stati nel 2005 di circa un miliardo di dollari.

Per quanto riguarda la ricerca nazionale nel settore fotovoltaico, questa è essenzialmente concentrata, sulle tecnologie di fabbricazione dei dispositivi e, in misura minore, sui materiali; essa, inoltre, si distingue fortemente per settore di applicazione: mentre per gli usi spaziali l'attenzione prevalente è sull'efficienza di conversione, sul peso, sulle dimensioni e sull'affidabilità della cella (che deve lavorare in condizioni ambientali estreme), per il settore terrestre si punta prioritariamente alla riduzione del costo dell'energia prodotta.

Per quanto riguarda il fotovoltaico per gli usi terrestri, le attività di ricerca e sviluppo riguardano quattro principali temi: silicio cristallino (nel medio termine), film sottili e i dispositivi a bassissimo costo (nel lungo termine) e, in un futuro meno prossimo, i dispositivi ad altissima efficienza

(cioè, prossima al limite termodinamico di conversione della radiazione solare in energia elettrica).

La tecnologia del silicio cristallino, sebbene sia, fra tutte, quella più matura e la meno promettente al contempo, gode ancora di molta attenzione da parte dei ricercatori, sia perché è, di fatto, la più diffusa, sia perché ancora passibile di una limitata riduzione dei costi di produzione. Più precisamente, si mira, in fabbrica, all'uso di fette di silicio più sottili (sotto i 200 μm) e di dimensioni maggiori (sopra i 12,5 x 12,5 cm^2) nonché all'introduzione di processi sperimentati con successo in laboratorio, come la tecnologia a base serigrafica e trattamento superficiale al nitruro di silicio e la tecnica dei contatti sepolti e dell'emitter selettivo; inoltre, una certa rilevanza è attribuita ai materiali e alle tecnologie per l'incapsulamento del modulo, cruciali per abbattere i costi.

Parte di queste attività vengono svolte presso l'ENEA, in collaborazione con Eni Tecnologie: esse riguardano l'industrializzazione di processi di laboratorio per celle di grande area (150 cm^2), a basso costo ed alta efficienza ($\eta > 17\%$).

Relativamente ai film sottili, l'attenzione della ricerca è in massima parte rivolta al silicio amorfo (anche su substrati flessibili): ricerca di base e ricerca industriale sono entrambe coinvolte nello sviluppo di questa tecnologia. In particolare diversi laboratori di ricerca lavorano per migliorare l'efficienza di conversione delle celle solari su piccola area mentre la ricerca industriale punta a effettuare lo sviluppo della tecnologia sulla larga area.

Silicio amorfo a parte, sostanziali progressi sono stati registrati nello sviluppo di celle a base di altri materiali, come il telluriuro di cadmio (CdTe), diseleniuro di indio e rame (CIS), diseleniuro di indio rame e gallio (CIGS) e di altri film sottili policristallini, per i quali acquista spesso importanza lo sviluppo di substrati trasparenti flessibili e di film trasparenti conduttori. I moduli al CdTe, per esempio, stanno dimostrando una buona stabilità ai vari test di invecchiamento accelerato: un'efficienza

del 10,5% è stata raggiunta con moduli da 0,13 m² di produzione industriale.

Il mondo della ricerca guarda con attenzione anche il silicio microcristallino, un materiale che, rispetto al silicio amorfo, ha caratteristiche strutturali tali da consentire la realizzazione di dispositivi con un'efficienza stabile più elevata. Presso l'ENEA viene condotta un'attività di ricerca e sviluppo di tecnologie di preparazione dei film sottili per realizzare moduli fotovoltaici di grande area, con buona efficienza stabile ($\eta > 8\%$) su substrati economici, anche flessibili.

Esistono anche approcci ibridi per la realizzazione di celle di silicio cristallino di alta efficienza, ove la giunzione viene realizzata a bassa temperatura con delle tecniche mutuata dalla tecnologia del film sottile di silicio. Lo sviluppo di moduli a eterogiunzione di silicio amorfo su silicio cristallino (con $\eta_{\text{cella}} > 15\%$), realizzati mediante processi interamente automatizzati, affidabili e a bassa temperatura.

Per quanto riguarda le celle a bassissimo costo (inferiore a 1€/Wp, contro i circa 3,5 €/Wp dell'attuale mercato), appaiono molto promettenti i dispositivi basati sull'uso di materiali organici (polimeri) con tecniche di stampa per la produzione di celle (*printed organic solar cell*) o altri materiali e quelli ibridi (organici/ inorganici), i cui valori di efficienza di conversione (attualmente compresa tra il 3% e il 5%) e stabilità nel tempo (stimata non superiore a qualche anno, nelle migliori delle ipotesi) sono in aumento.

Indicazioni alquanto attraenti provengono anche dalla tecnologia dell'ossido di rame (Cu₂O): la ricerca su queste celle non è mai stata particolarmente intensa e l'efficienza massima finora ottenuta è solo dell'1,6%, nonostante dovrebbe essere possibile realizzare dispositivi con minori problemi di stabilità rispetto alle tecnologie concorrenti (silicio amorfo, celle organiche), con efficienze superiori al 10% e costo dell'ordine di 0,2 €/Wp.

In un'ottica decisamente più lontana, sono inquadrati le attività esplorative su nuovi materiali e strutture del dispositivo per l'altissima

efficienza ($\eta > 40\%$), di recente avviate presso i principali centri di ricerca. Gli approcci e le strade intraprese sono alquanto diversi tra loro e tutti, per ora, ad elevato rischio.

Tra le altre attività di ricerca e sviluppo intraprese a livello internazionale, sebbene con un impegno complessivo mediamente più contenuto, figura il fotovoltaico "a concentrazione" che, rispetto a quello "piano fisso", presenta vari aspetti da approfondire: la struttura della cella è più sofisticata (per poter ottenere alti valori di efficienza in presenza di una maggiore radiazione solare incidente), il modulo che ospita le celle presenta una maggiore complessità, dovuta alla numerosità dei componenti da assemblare e ai problemi di tenuta e di smaltimento del calore e, infine, l'eliostato, il sistema di supporto dei moduli capace di "puntare" costantemente il sole. Anche in Italia vengono condotte attività in questo specifico settore, sia di ricerca e sviluppo, sia di sperimentazione sul campo e dimostrazione (ENEA, Progetto PhoCUS).

3.2.10 Incentivi per lo sviluppo del fotovoltaico in Italia

Sulla base delle considerazioni fatte finora sui costi degli impianti fotovoltaici, ancora troppo elevati, e sulle difficoltà che incontrano tuttora ricerca e sviluppo a inserirsi nella produzione industriale, appare fondamentale la necessità di una forte presa di posizione delle istituzioni, attraverso la realizzazione di normative specifiche per l'incentivazione statale ai fini della diffusione della tecnologia fotovoltaica. Anche in questo settore l'Italia si è dimostrata negli ultimi decenni impreparata e in forte ritardo.

Si è dovuto aspettare fino all'entrata in vigore del Decreto istitutivo del Programma nazionale "10.000 Tetti fotovoltaici" del 16 marzo 2001, perché venisse avviata in Italia una campagna decisa di incentivazione del fotovoltaico volta alla diffusione di sistemi fotovoltaici integrati negli edifici e connessi alla rete elettrica e alla creazione di un mercato nazionale stabile negli anni, per l'abbattimento dei costi e l'ottimizzazione tecnico-

economica dei singoli componenti. Il programma promuoveva la realizzazione, nell'arco di 5 anni, di 10.000 impianti fotovoltaici, dei quali 9.000 di piccola taglia (potenza da 1 a 5 kWp) e 1.000 di media taglia (da 5 a 50 kWp) per una potenza complessiva di 50 MWp.

Il Programma riguarda la realizzazione di impianti FV da installare/integrare direttamente su edifici (facciate, tetti) o su loro pertinenze (cortili, terrazzi, lastrici solari, pensiline, ecc.).

Il Programma era rivolto a soggetti privati e/o pubblici che intendevano installare impianti fotovoltaici su immobili di loro proprietà, ed era regolato da un "bando generale", che definiva le modalità di partecipazione: i soggetti e la tipologia di impianti ammessi, le relative forme di contributo, i criteri per essere inseriti nell'elenco dei progettisti ed installatori autorizzati.

Gli incentivi economici previsti erano in conto capitale e diversificati per tipologia di impianto. Per il primo anno era previsto che tale incentivo fosse dell'ordine del 75-80% per gli impianti di piccola taglia (1-5 kWp) e del 70-75% per gli impianti di taglia superiore (5-50 kWp). Il sistema dei contributi non ha però riscosso il successo sperato. Le procedure burocratizzate e la presenza dei bandi di concorso non hanno garantito una stabile domanda dei pannelli e il mercato del fotovoltaico non è mai decollato del tutto.

Per questo motivo nel 2003 è stato introdotto un nuovo quadro normativo, basato sull'incentivazione, non dell'acquisto dell'impianto, ma della produzione in conto esercizio della produzione elettrica da fonte solare mediante impianti fotovoltaici permanentemente connessi alla rete elettrica. Il sistema è detto "Conto Energia" e garantisce il riacquisto a tariffe incentivate dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico.

Il Conto energia arriva in Italia attraverso la Direttiva comunitaria per le fonti rinnovabili (Direttiva 2001/77/CE), che viene recepita con l'approvazione da parte del Parlamento italiano del Decreto legislativo 387 del 2003. L'avvio del conto energia passa per altre due fondamentali tappe, in particolare l'approvazione del Decreto attuativo n. 181 del 5

agosto 2005 (che fissa i tempi e i termini di attuazione) e la Delibera 185 del 14 settembre 2005 (che invece stabilisce i modi di erogazione degli incentivi). Dal 19 settembre 2005 è possibile presentare la domanda al GSE per accedere al Conto energia.

La copertura finanziaria necessaria all'erogazione di questi importi è garantita da un prelievo tariffario obbligatorio a sostegno delle fonti rinnovabili di energia, presente dal 1991 in tutte le bollette dell'energia elettrica di tutti gli operatori elettrici italiani. Va comunque segnalato che fino al 2003 questo fondo veniva sistematicamente dirottato verso le fonti cosiddette assimilate alle rinnovabili (concetto inesistente nella normativa europea), quali ad esempio l'energia derivata da combustibili considerati di scarto, che di fatto impediva al fotovoltaico italiano la benché minima strategia di sviluppo.

A differenza del passato, in cui l'incentivazione all'utilizzo delle fonti rinnovabili avveniva mediante assegnazioni di somme a fondo perduto, grazie alle quali il privato poteva limitare il capitale investito, il meccanismo del conto energia è assimilabile ad un finanziamento in conto esercizio, in quanto non prevede alcuna facilitazione particolare da parte dello Stato per la messa in servizio dell'impianto. Il principio che regge il meccanismo del Conto energia consiste nell'incentivazione della produzione elettrica, e non dell'investimento necessario per ottenerla. Il privato proprietario dell'impianto fotovoltaico percepisce somme in modo continuativo, con cadenza tipicamente mensile, per i primi 20 anni di vita dell'impianto.

Condizione indispensabile all'ottenimento delle tariffe incentivanti è ovviamente la provenienza dell'energia da un impianto fotovoltaico connesso alla rete, ovvero privo di accumulo proprio di energia. La dimensione nominale dell'impianto fotovoltaico deve essere compresa tra 1 kWp e 1 MWp.

Tra i componenti dell'impianto, i moduli fotovoltaici devono obbligatoriamente rispettare la normativa IEC 61215 e possibilmente, per la sicurezza elettrica e di chi acquista, essere certificati per l'utilizzo come

componente in Classe II (componente con doppio isolamento) definito dalle norme.

Il sistema di conversione, deve essere conforme alla norma italiana CEI 11-20 e, per quanto concerne alcuni aspetti tecnici, alle specifiche tecniche del gestore locale della rete (esempio per ENEL la specifica tecnica DK5940 Ed. Feb 2006, per AEM ne esiste una simile, etc), in quanto pur circolando l'euro in Europa un gruppo di conversione realizzato per il mercato Italiano (con marchio CE) non può essere atto all'utilizzo in Francia, Germania, Olanda, etc e viceversa. In tutta Europa quindi ogni paese in questo tema ha una sua norma.

Il tetto massimo annuo finanziabile è stato fissato in 85 MWp, divisi in 60 MWp di impianti inferiori a 50 kWp e 25 MWp di impianti superiori. Raggiunti questi tetti la categoria viene dichiarata negativa dal GSE, che procederà a rigettare le eventuali ulteriori domande pervenute.

Dal lato economico i soggetti pubblici interessati da questa campagna sono GSE Spa e il gestore di rete che prende in carico l'energia. Con l'entrata in vigore del nuovo Decreto nr. 38 del 15 febbraio 2006, si è istituita una profonda spaccatura tra impianti casalinghi (intestati a persone fisiche) e mini-centrali (intestate a soggetti con personalità giuridica).

Nello specifico:

“Il Conto Energia è il decreto che stabilisce un incentivo per 20 anni per privati, imprese ed enti pubblici che installano un impianto solare fotovoltaico (cioè un impianto che genera elettricità dall'energia solare) connesso alla rete elettrica. L'incentivo è proporzionale all'energia elettrica prodotta.

Il decreto, pubblicato in versione aggiornata, D. M. del 19 Febbraio 2007 presenta sostanziali miglioramenti, snellimenti burocratici e tariffe incentivanti che privilegiano l'integrazione architettonica dei pannelli nell'edificio: ad esempio gli impianti installati a terra sono considerati "non integrati", gli impianti montati sopra le tegole sono considerati

"parzialmente integrati", gli impianti in cui i moduli prendano il posto delle tegole sono considerati "integrati".

Le tariffe incentivanti sono state fissate in base a tre categorie di impianti in base alla taglia:

- da 1 a 3 kWp (kilowatt di potenza);
- da 3 a 20 kWp;
- oltre 20 kWp; (non sono previsti limiti di potenza).

All'interno di queste categorie, ognuna è divisa in impianti:

- non integrati o installati a terra



- parzialmente integrati



- integrati nell'edificio.



Il provvedimento consente di allineare l'Italia agli altri paesi europei all'avanguardia nel settore e di eliminare parte delle lungaggini burocratiche, che avevano appesantito il vecchio Conto Energia.

In sintesi tutta l'energia elettrica prodotta da Impianti Solari Fotovoltaici (misurata tramite un contatore che verrà installato a valle del sistema) verrà pagata per 20 anni con una tariffa molto interessante.

Gli incentivi per gli impianti che entrano in servizio nel 2010 sono i seguenti, espressi in € per ogni kWattora prodotto dall'impianto fotovoltaico:

Per gli impianti fotovoltaici da 1 a 3 kWp è prevista una tariffa di:

- 0,384 € per kWh prodotto se non integrato;
- 0,422 € per kWh se parzialmente integrato;
- 0,470 € per kWh se integrato;

Per gli impianti fotovoltaici da 3 a 20 kWp si scende, rispettivamente a:

- 0,365 € per kWh prodotto se non integrato;
- 0,403 € per kWh se parzialmente integrato;
- 0,442 € per kWh se integrato;

Per gli impianti fotovoltaici con potenze superiori a 20 kWp a:

- 0,346 € per kWh prodotto se non integrato;
- 0,384 € per kWh se parzialmente integrato;
- 0,422 € per kWh se integrato;

Queste nuove tariffe rimarranno in vigore fino al 31 dicembre 2010 e resteranno sempre fisse per 20 anni (nessuna integrazione è prevista in base al tasso di inflazione).

Altra novità riguarda la certificazione energetica dell'edificio, richiesta solo per avere diritto al premio aggiuntivo (art. 7) e non più requisito per accedere alle tariffe incentivanti. È previsto un ulteriore aumento dell'incentivo, anche fino al 30%, per i piccoli impianti che alimentano le utenze di edifici sui quali gli interessati effettuano interventi di risparmio energetico adeguatamente certificati.

È stato introdotto un incremento del 5% delle tariffe incentivanti per le scuole pubbliche, gli ospedali pubblici e gli impianti integrati negli edifici e installati in sostituzione di coperture contenenti amianto e per gli enti locali con popolazione inferiore a 5.000 abitanti.

Ricordiamo che non si tratta di un finanziamento in conto capitale a fondo perduto necessario per la realizzazione degli impianti, bensì di un

meccanismo di incentivi che remunerano l'elettricità prodotta dagli impianti per 20 anni.

Chiariamo subito un dubbio molto comune:

l'incentivo è proporzionale all'energia elettrica prodotta, cioè l'incentivo viene pagato su tutta l'energia prodotta dall'impianto che installiamo, non soltanto su quella in eccesso che riversiamo nella rete elettrica.

L'incentivo non viene pagato dall'ENEL, ma dal GSE, il Gestore dei Servizi Energetici nazionale: il pagamento è mensile, per 20 anni." (cfr. www.contoenergia.it)

Il meccanismo del Conto energia è stato atteso da anni da parte degli operatori del settore, soprattutto quando le sue qualità si sono messe in luce in Germania nel mese di maggio del 2004, dove si è generato un vero e proprio volano economico, occupazionale e culturale, raggiungendo nel 2005 ben 700MW di potenza installata (in Italia sono presenti soltanto 5MW).

La favorevole situazione climatica italiana permette al beneficiario di rientrare interamente dei costi sostenuti sicuramente entro il decimo anno, e di realizzare approssimativamente altrettanto nei successivi 10 anni. Al sud la situazione migliora ulteriormente, poiché l'investimento tende a rientrare in 8 anni circa.

Di contro, a differenza dei finanziamenti a fondo perduto precedentemente impiegati per incentivare il settore, non vi è alcuno strumento di agevolazione per l'esborso necessario alla realizzazione dell'impianto. Infatti, l'incentivo del conto energia non è compatibile, quindi cumulabile, con la detrazione IRPEF del 55%.

Per gli impianti non superiori a 20 kW, con il nuovo decreto di febbraio 2006, è possibile scegliere fra 2 opzioni, la prima prevede di sottoscrivere con il distributore locale un contratto di scambio sul posto, in tal caso è incentivata la produzione per i propri consumi e ciò implica che è vantaggioso dimensionare l'impianto sul proprio fabbisogno. Eventuale eccedenza di produzione non viene pagata ma messa in un conto e

consumabile sino a tre anni più tardi. L'altra opzione prevede che l'incentivo venga erogato per tutta la produzione immessa in rete o autoconsumata in parte o in toto, in loco e nel momento che viene prodotta. Tuttavia quest'ultima possibilità, pur allineando la tariffa a quella degli impianti superiori, è preclusa ai privati.

Di fatto reso operativo il 19 settembre 2005, il Conto energia ha avuto un successo inaspettato, esaurendo in soli 9 giorni lavorativi il monte impianti finanziabile secondo il Ministero fino al 2012, di 100 MWp. Con il decreto di febbraio 2006, la capacità incentivabile è stata incrementata da 100 a 500 MW sino al 2015.

Secondo quanto dichiarato dal GSE, attualmente i dati relativi alle domande presentate dal 19 settembre 2005 al 31 dicembre 2005 sono:

- 11915 richieste pervenute per un totale di 345,5 MWp;
- 9121 richieste approvate per un totale di 266 MWp.

III Integrazione architettonica della tecnologia fotovoltaica

1 Considerazioni generali

Da quando l'uomo ha iniziato a dotarsi di un tetto sotto il quale vivere, ha sempre cercato di sfruttare, a suo favore e a favore delle condizioni di vita all'interno delle abitazioni, il sole e l'energia che questo irradia sulla Terra.

E' sempre stato un presupposto imprescindibile quello di creare le migliori condizioni affinché il sole contribuisse al massimo all'ottimizzazione delle condizioni ambientali all'interno degli spazi costruiti. Basandosi su manuali non scritti e fondati solo sull'esperienza, sono stati messi in pratica per secoli principi costruttivi e semplici regole esatte, che nel tempo e nello spazio sono stati adattati a sempre diverse condizioni di vita, condizioni climatiche e differenti livelli di progresso, sociale e tecnologico.

A qualsiasi latitudine, dalle zone costiere a quelle montane, l'architettura degli edifici ha quasi sempre seguito questi principi, ponendo il sole come punto di riferimento principale, sin dalle primissime fasi della progettazione. Per questo motivo, anche le abitazioni più umili, avevano le facciate orientate in modo da garantire un certo comfort all'interno, ovvero: quelle da riscaldare orientate a sud e quella da proteggere dai raggi solari orientate a nord e se possibile collocate a ridosso di rilievi naturali che le riparassero ulteriormente. Nello stesso modo venivano progettate le aperture, le soluzioni per una corretta ventilazione dell'abitazione e l'isolamento delle superfici a contatto con l'atmosfera.

Tutto questo è sempre stato fatto sia per il raggiungimento dei migliori livelli di comfort abitativo, sia per poter ottimizzare le spese per i materiali da costruzione e per i combustibili necessari al riscaldamento degli edifici.

Con il passare del tempo, soprattutto nell'ultimo secolo, sono cresciute notevolmente le possibilità economiche e il progresso di tecniche e

tecnologie nel campo dell'edilizia ha fatto enormi passi avanti. Paradossalmente però a questa crescita è corrisposta una diminuzione sostanziale dell'attenzione nei confronti di quelle problematiche legate al miglioramento delle prestazioni energetiche e del livello di vivibilità degli edifici.

Il progresso tecnologico ha portato al benessere economico, e spesso l'economia ha preso il sopravvento sulla pratica edilizia, a favore di costi più contenuti e alla portata di tutti ma a discapito della qualità delle costruzioni.

Contemporaneamente è venuta meno quella coscienza collettiva che ha permesso all'umanità di vivere in sintonia con la terra e con le sue risorse fino a uno o due secoli fa. Sono aumentati vertiginosamente l'uso di fonti fossili non rinnovabili e la produzione e i consumi di energia, e gran parte di questa energia viene consumata da edifici mal progettati e mal costruiti.

Perché venissero a galla, in maniera allarmante, le problematiche dell'inquinamento, dell'efficienza e del risparmio energetico e quelle legate alle migliori condizioni di vita dell'uomo, si è dovuto attendere fino agli anni 70 del secolo scorso, quando cominciavano a costituirsi i primi gruppi ambientalisti e ad affermarsi i primi architetti e ingegneri che iniziavano a portare avanti, in modo pionieristico e tra mille difficoltà, la progettazione solare passiva e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

Iniziano così a diffondersi le idee legate alla sostenibilità e alla compatibilità ambientale degli edifici, secondo le quali alla ricerca di fonti energetiche pulite doveva affiancarsi un utilizzo più razionale di quelle già esistenti.

E questo poteva essere fatto solamente attraverso l'affermazione di un nuovo modo di pensare e costruire gli edifici e attraverso il convincimento delle comunità della validità di queste nuove metodologie e sulle opportunità che esse potevano offrire. Una strada che si dimostrava essere in salita e piena di ostacoli sin dai primi passi.

Innanzitutto si presentò il problema dei costi iniziali elevati che tali pratiche avrebbero comportato; costi che però si sarebbero potuti ammortizzare nel tempo grazie al risparmio derivante dall'efficienza energetica e possibilmente dalla produzione in loco di energia attraverso l'uso di fonti rinnovabili.

Istituzioni e comunità accolsero con molto ritardo sia gli allarmi lanciati dagli ambientalisti sia le questioni poste da tutti quegli architetti e ingegneri che si sarebbero identificati, verso la fine degli anni ottanta, nei precetti dell'Architettura sostenibile.

In realtà questo approccio innovativo, che sarebbe sbagliato definire "nuovo" in quanto come già detto è stato utilizzato per secoli, è stato definito negli ultimi tempo con tanti vocaboli diversi, da bioarchitettura a bioedilizia a bioecoarchitettura; allo stesso modo gli edifici risultanti da tali pratiche venivano descritti come ecologici, biocompatibili, naturali, solari, bioclimatici, ecc.

Questi termini, che riguardano approcci alle problematiche energetiche e ambientali e discipline diverse, esprimono sostanzialmente tre fondamentali concetti.

Il primo è poter realizzare edifici più salubri, utilizzando materiali privi di sostanze nocive per la salute, sia di chi li lavora che di chi dovrà poi abitare l'edificio; materiali che una volta arrivati alla fine della loro vita utile, potessero essere dismessi senza arrecare danni all'ambiente.

Il secondo è offrire edifici rispettosi dell'ambiente che al contempo garantiscano un elevato livello di comfort interno; edifici progettati e costruiti quindi minimizzando i consumi energetici, non solo nella fase di utilizzo, ma anche in quella di realizzazione dell'edificio stesso, utilizzando materiali che non richiedano elevati consumi di energia per la lavorazione o per il trasporto in opera.

Per poter minimizzare i consumi energetici, in base ai principi dettati da queste "nuove" scuole di pensiero, è fondamentale curare l'isolamento termico, orientare gli ambienti in modo da sfruttare al meglio l'illuminazione naturale, predisporre le aperture verso sud per sfruttare la

radiazione solare nel periodo invernale e schermarle opportunamente per proteggerle dal caldo in quello estivo, localizzarle inoltre in modo tale da assicurare una buona ventilazione naturale e così via.

Principi questi ultimi che, fino a non troppo tempo fa, costituivano la regola e che oggi si stanno ponendo come necessità legate, non più a esigenze pratiche e economiche come poteva essere un tempo, ma a serie problematiche ambientali.

Il terzo concetto riguarda la produzione dell'energia. Grazie alle attuali tecnologie che il progresso ci ha messo a disposizione, è possibile produrre in loco l'elettricità e il calore per coprire parzialmente o totalmente, il fabbisogno dell'edificio attraverso l'uso di tecnologie che sfruttano l'energia solare.

I risultati migliori, per quanto riguarda l'efficienza energetica e quindi il rispetto dell'ambiente, derivano senza dubbio da una applicazione organica e integrata di questi ultimi due concetti.

L'architettura è quindi chiamata a rispondere nel modo più adeguato a queste problematiche, proponendo nuove tecniche e nuove tecnologie affinché si possano mettere in pratica tali propositi. Una sfida importante in questo senso viene dall'integrazione negli edifici dei dispositivi atti a produrre energia sfruttando la radiazione solare, ossia i sistemi fotovoltaici: occorre fare in modo che questi siano energeticamente efficienti, meno impattanti possibile e economicamente vantaggiosi.

Molti Paesi hanno già intrapreso questa strada con ottimi risultati sia dal punto di vista economico e energetico sia da quello architettonico: in molte nazioni del nord Europa, ma anche in Giappone e negli Stati Uniti, si costruisce sempre di più cercando di integrare, o sostituire, gli elementi costruttivi tradizionali, con elementi in grado di assolvere alle normali funzioni delle varie parti dell'edificio e di produrre energia. Questo è stato però possibile grazie, oltre ad una diffusa convinzione della validità di questi metodi, alla forte presa di posizione delle amministrazioni statali che, attraverso mirate politiche di incentivazione e la promozione dei

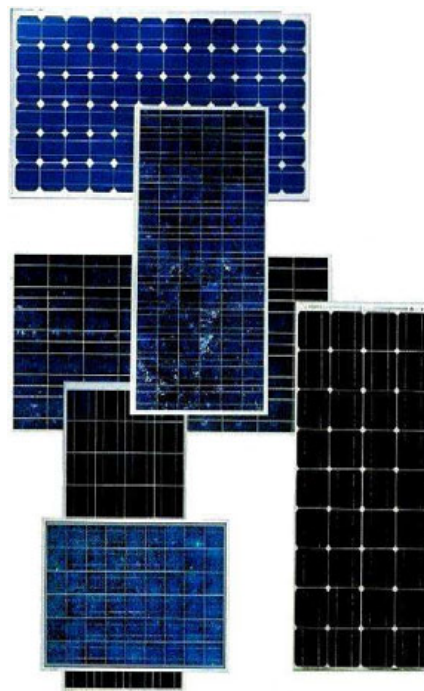
sistemi fotovoltaici, hanno accelerato la diffusione di tali tecnologie nell'edilizia, con apprezzati esiti sotto il profilo architettonico.

Altri Paesi, tra i quali l'Italia, sono ancora molto in ritardo per quanto riguarda la diffusione e quindi l'integrazione del fotovoltaico.

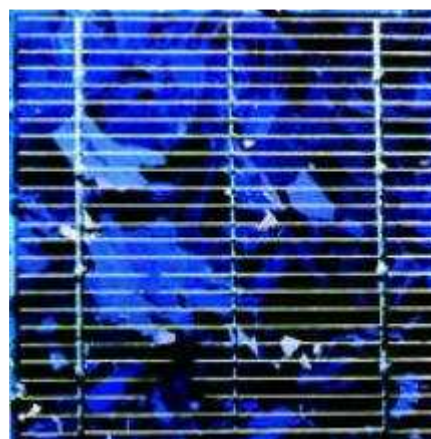
Le campagne di incentivazione messe in atto non sono sufficienti, da sole, a consentire una diffusione capillare del fotovoltaico; è fondamentale la partecipazione e la collaborazione tra tutti i soggetti interessati, a tutti i livelli, dai progettisti, ai tecnici specializzati e alle ditte produttrici, dai rappresentanti delle istituzioni ai cittadini, affinché cresca la consapevolezza delle problematiche ambientali e energetiche e di conseguenza l'utilizzo di fonti rinnovabili. E per il momento, per quello che riguarda la tecnologia fotovoltaica, la strada dell'integrazione architettonica pare essere una valida, seppur parziale e probabilmente non immediata, soluzione a tali problematiche.

2 Caratteristiche formali dei moduli

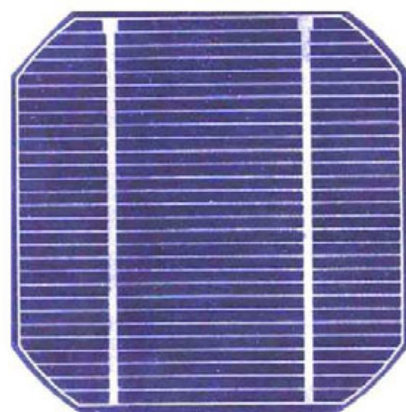
Prima di addentrarsi nelle casistiche di integrazione del fotovoltaico è bene soffermarsi sulle caratteristiche dei moduli che consentono un'ampia gamma di scelta per quanto riguarda dimensioni, forma, colore e grado di trasparenza.



Moduli fotovoltaici di varie forme e dimensioni



Cella in silicio policristallino



Cella in silicio monocristallino

Il modulo fotovoltaico, da un punto di vista strettamente formale, si configura come un elemento piano, di dimensioni, forme e colori variabili e adattabili ad ogni tipologia e configurazione di integrazione architettonica.

Per quello che riguarda le dimensioni, i moduli, fotovoltaici e solari-termici, in commercio hanno lunghezze e larghezze comprese tra i 20 cm e i 2 m; anche in questo caso è possibile comunque dimensionare e far realizzare appositamente i moduli dalle ditte produttrici. E' possibile arrivare a moduli di superficie anche oltre i 5 m² (non comunque superiori a 6m² per limiti tecnologici nel processo produttivo).

Gli spessori possono variare da un minimo di 2 cm a un massimo di 6 cm, a seconda dei materiali e della struttura del modulo.

Il peso dei moduli fotovoltaici varia anch'esso con le dimensioni, i materiali e la struttura del modulo; per i moduli in commercio è generalmente compreso tra i 9 kg/m² e i 14 kg/m².

Per ciò che concerne invece la forma generalmente i moduli in commercio hanno configurazione parallelepipedica regolare, rettangolare o quadrata. Se esigenze progettuali lo richiedono, la tecnologia attuale consente alle ditte produttrici di realizzare su misura i moduli, in forme e dimensioni desiderate.

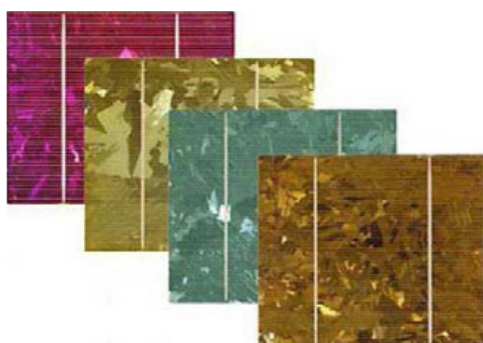
Il colore dipende principalmente dal materiale con cui è realizzata la cella: è possibile infatti aggiungere al silicio, monocristallino, policristallino o amorfo, altri elementi che ne modificano l'aspetto cromatico.

I moduli in commercio comunemente montano celle nere, grigie, marroni o nelle varie tonalità di blu, di forma quadrata o rettangolare o trapezoidale. E' però possibile reperire celle dalle più variegata tonalità di

colore e anche creare sulla superficie silicea geometrie e disegni.

E' inoltre possibile realizzare anche celle, in silicio mono e policristallino, semitrasparenti.

C'è da sottolineare inoltre il fatto che le prestazioni migliori sono raggiunte dalle



Celle colorate in silicio policristallino

celle quando queste sono in grado di riflettere la minore quantità possibile di radiazione solare.

Le massime prestazioni si raggiungono con tradizionali celle blu e nere, e, sia variando i colori verso tonalità più chiare che aumentando la trasparenza della cella, se ne diminuisce in maniera sostanziale il rendimento complessivo.



Moduli standard sotto vetro colorato



Modulo CIS serigrafato

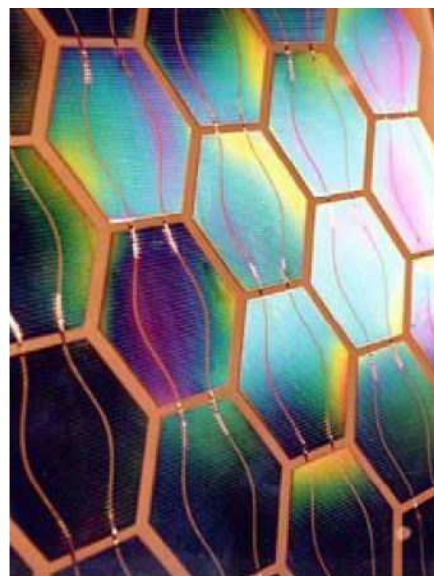
Anche la forma della cella condiziona fortemente l'estetica del modulo; recentemente alle classiche celle rettangolari, quadrate e circolari, si sono aggiunte quelle triangolari ed esagonali. Comunque non esistono particolari limiti alla realizzazione di celle dalle più svariate forme.

Sia le variazioni cromatiche che quelle formali, sono possibili solo su celle realizzate in silicio monocristallino,

policristallino e amorfo; nelle celle a film sottile non sono possibili questi trattamenti.

Per quanto riguarda il grado di trasparenza dei moduli, fondamentalmente si possono individuare due categorie principali:

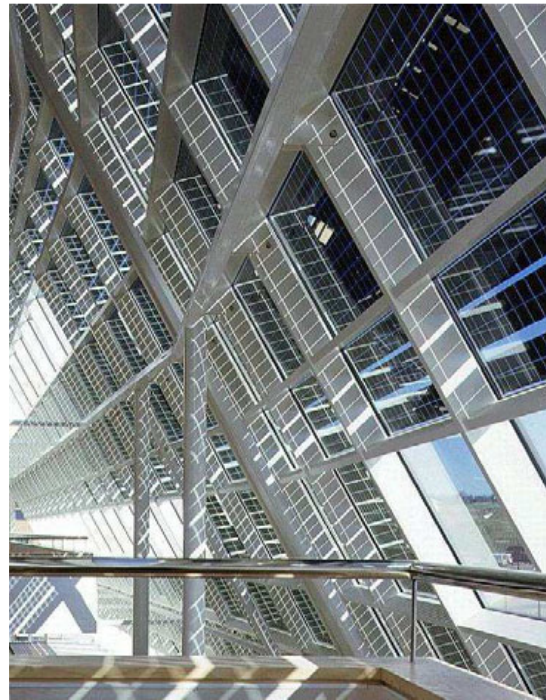
- moduli opachi, costituiti da celle tra vetro e foglio plastico;
- moduli trasparenti, realizzati con celle inserite tra due lastre di vetro.



Celle colorate esagonali

In questi ultimi le celle cristalline possono essere disposte all'interno del modulo come elementi autonomi ed essere distanziate a piacere, il che consente, ad esempio per pannelli con celle tra due lastre di vetro, di far passare la luce attraverso il modulo.

Questo rende ovviamente il modulo molto più versatile ai fini dell'integrazione nell'edificio, o della sostituzione di suoi specifici elementi costruttivi, permettendone l'inserimento in pareti e coperture vetrate, in elementi schermanti o in lucernai.



Solar Office, Londra,
Parete inclinata con moduli semitrasparenti

3 Modalità di integrazione

Gli interventi di integrazione architettonica dei sistemi fotovoltaici negli edifici si possono distinguere in tre categorie, che andiamo a descrivere di seguito, a seconda dell'oggetto dell'intervento:

- interventi su edifici esistenti retrofit
- interventi su nuovi edifici (BIPV)
- interventi su elementi di arredo urbano

In queste tipologie di integrazione gli elementi di cui tenere conto sono molteplici e variano a seconda del tipo di intervento e di integrazione.

Sicuramente la difficoltà maggiore in fase di progettazione dell'intervento sta nel dimensionare, orientare e posizionare i moduli nel sistema, e nell'edificio, affinché se ne possa massimizzare il rendimento energetico. Negli interventi BIPV la procedura è semplificata dal fatto che l'edificio può essere progettato interamente in funzione di questo, anche se permangono limiti e problemi legati a regolamenti edilizi e al contesto urbano in cui si inserisce l'edificio. Al contrario, per interventi ex-novo,

dovendo intervenire su edifici già esistenti, si può intervenire solo sulle superfici che hanno la migliore esposizione al sole. In tutti e due i casi è fondamentale comunque tenere conto delle possibili ombreggiature dovute agli edifici adiacenti a quello interessato dall'intervento, alla presenza di alberi o ad altri elementi che ostacolano alla luce del sole.

Negli interventi retrofit va sicuramente posta particolare attenzione alla progettazione della struttura di sostegno e di ancoraggio dei moduli, specie nelle integrazioni in facciata; bisogna fare in modo che sia in grado di sopportare i carichi dei moduli e che non comprometta l'estetica dell'edificio.

Altrettanto delicata è la progettazione di facciate vetrate fotovoltaiche, sia in interventi retrofit che BIPV; occorre curare l'isolamento della struttura nelle giunture tra i pannelli; è difficoltoso anche riuscire a nascondere, dove costituisca un problema per l'estetica dell'intervento, i cablaggi di collegamento tra i pannelli, e tra le stringhe e l'inverter.

Nella realizzazione di lucernai fotovoltaici o di coperture vetrate è fondamentale tenere conto di eventuali sovraccarichi dovuti alla neve e delle possibili infiltrazioni d'acqua; in questo caso va curato sia l'isolamento e l'impermeabilizzazione dei giunti tra i pannelli, sia la resistenza della struttura di sostegno e degli stessi pannelli vetrati.

E' importante fare in modo di predisporre il sistema, già in fase di progettazione, ad una agevole manutenzione; lo sporco o il malfunzionamento di collegamenti o scatole di giunzione può causare notevoli inefficienze dell'impianto, con conseguenti perdite di rendimento.

3.1 Su edifici esistenti (retrofit)

Si definiscono interventi retrofit quelli in cui il sistema fotovoltaico è integrato nella struttura di un edificio esistente. Sono interventi spesso complessi perché non sempre vengono soddisfatti tutti i requisiti che garantiscono un'ottima collocazione della superficie dell'impianto. Inoltre tali interventi spesso rendono difficile l'integrazione dell'impianto con la



Intervento retrofit in Olanda
Brise soleil fotovoltaici in facciata



Intervento BIPV in Giappone
Facciata vetrata fotovoltaica

struttura dell'edificio esistente e quindi è necessario intervenire impiegando telai autonomi da applicare all'edificio.

3.2 Su nuovi edifici (BIPV)

Gli interventi su nuovi edifici - identificati anche con l'acronimo BIPV - sono così definiti quando il sistema fotovoltaico è concepito già in fase di progettazione di un edificio. In questo caso è possibile curare contemporaneamente gli aspetti impiantistici ed estetici del progetto.

3.3 Su elementi di arredo urbano

Questo tipo di integrazione si applica a elementi accessori del contesto urbanizzato (ad esempio lampioni stradali, percorsi pedonali coperti, pensiline per il ricovero di biciclette, ecc) proponendosi come valida alternativa quando sia impossibile effettuare un'integrazione sugli edifici circostanti.



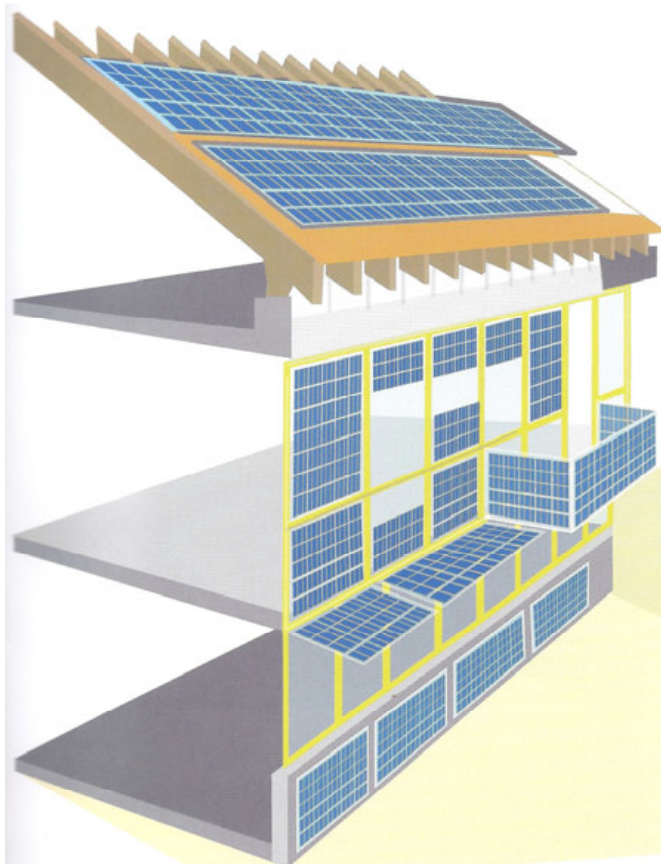
Intervento sull'arredo urbano
Pensilina pedonale fotovoltaica

4 *Tipologie di integrazione*

La conformazione e la flessibilità di adattamento del modulo fotovoltaico, grazie alla grande variabilità delle sue caratteristiche geometriche e formali, estendono a dismisura i suoi campi di applicazione.

Le tipologie di integrazione possono essere perciò le più svariate e di sicuro non possono essere racchiuse in un elenco esaustivo.

La tecnologia attuale e i suoi possibili sviluppi, anche a breve termine, fanno pensare che questo ipotetico elenco sia destinato a crescere nel tempo e che le possibilità di integrazione aumentino a vantaggio della validità estetica degli interventi e della loro convenienza ambientale e economica, e quindi anche della accettazione di tali sistemi da parte della società. Le tipologie prese in esame sono quindi solo alcune tra quelle oggi più diffuse al mondo.



Modalità di integrazione in un organismo edilizio

4.1 Integrazione in copertura

Può variare a seconda che la copertura sia piana, inclinata o curva e che i moduli siano integrati o montati su strutture di sostegno.

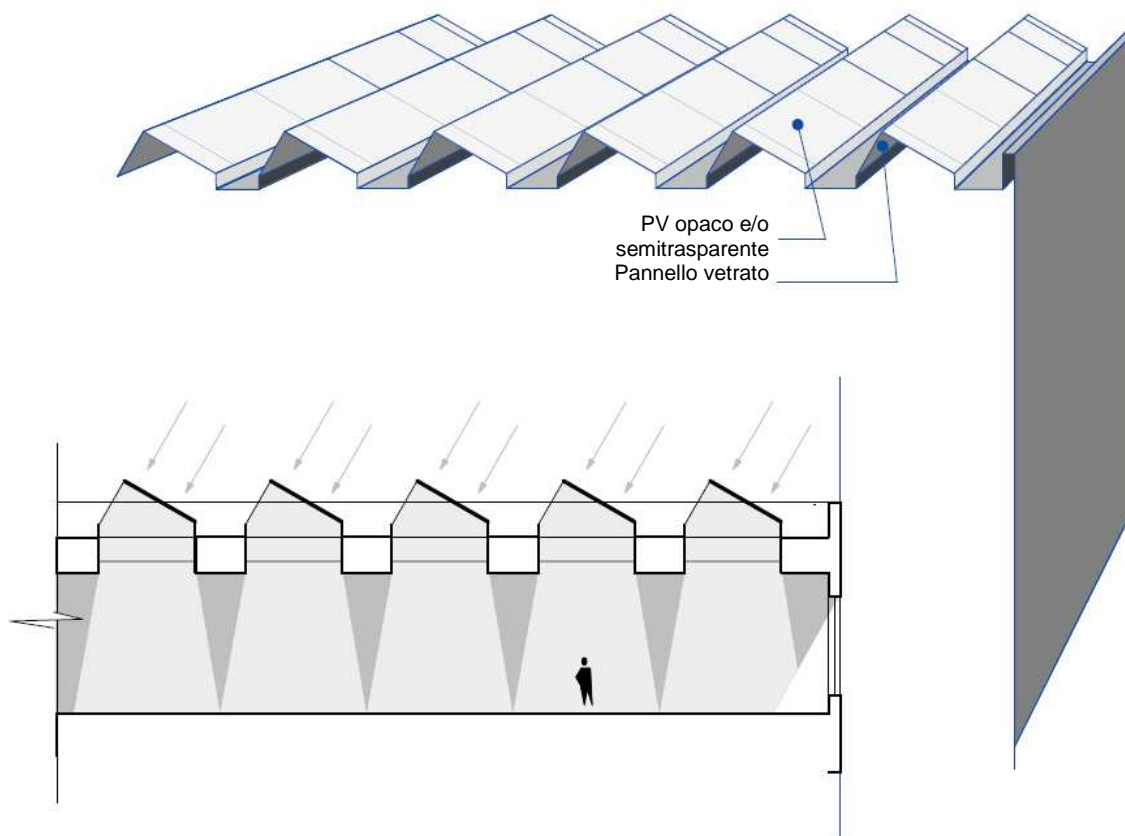
- Integrazione a riseghe
- Integrazione a stringhe
- Integrazione con lucernai fotovoltaici
- Integrazione totale
- Integrazione su substrato flessibile



Integrazione in copertura
Complesso residenziale, Amersfort

- INTEGRAZIONE A RISEGA SU COPERTURA PIANA

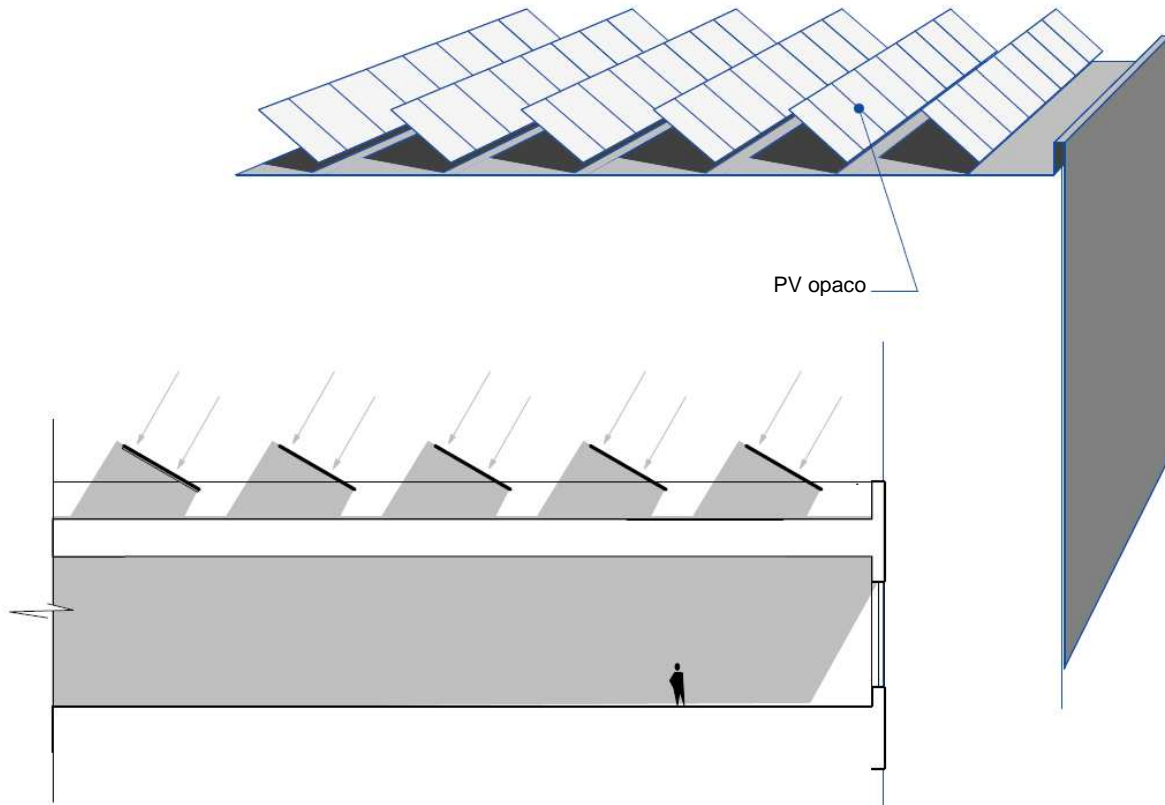
In questa tipologia i moduli, che diventano parte integrante della copertura, sono disposti a risega e inclinati in maniera ottimale rispetto ai raggi solari, garantendo un'alta efficienza energetica e un'ottimo sfruttamento della luce naturale che filtra all'interno.



Neubau Fraunhofer ISE, Friburgo, Germania

- INTEGRAZIONE A STRINGHE SU COPERTURA PIANA

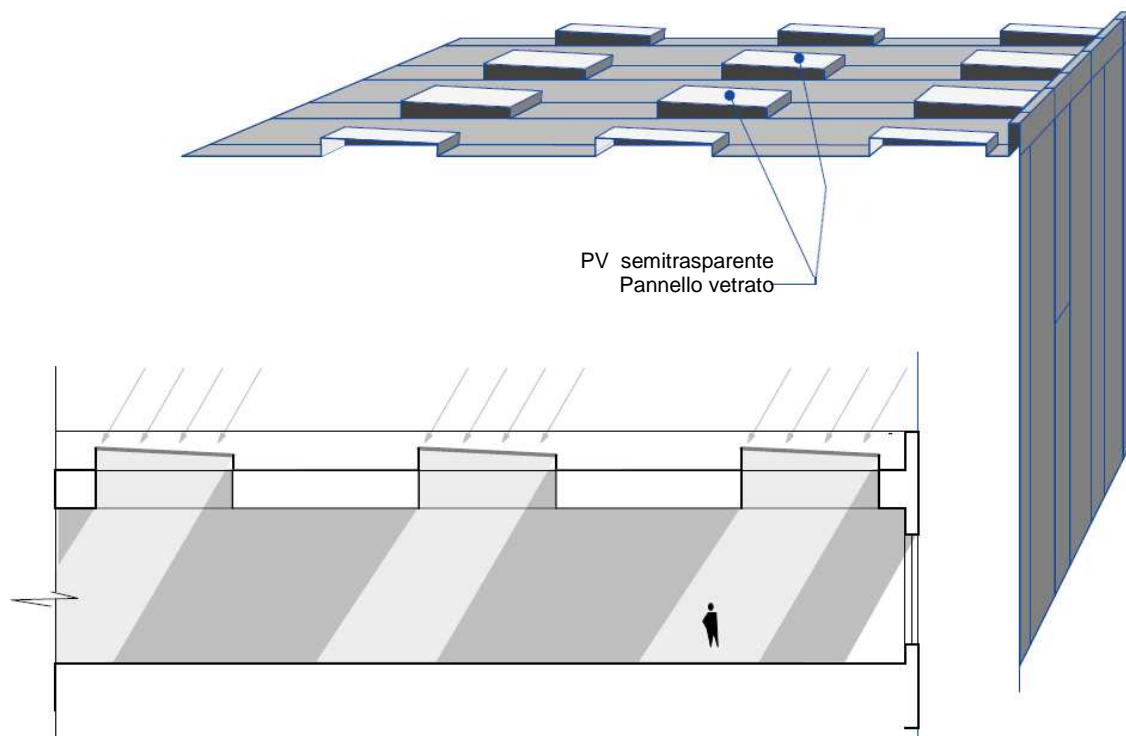
Questa applicazione prevede che i moduli siano disposti lungo stringhe montate su strutture di supporto sopra la copertura, risultando in tal modo indipendenti da essa. Come nel caso precedente grazie all'inclinazione dei moduli si ottiene la massima efficienza energetica.



Edificio Costruzioni per piccole industrie ad alta tecnologia, Leuven, Belgio

- INTEGRAZIONE ATTRAVERSO LUCERNARI FOTOVOLTAICI

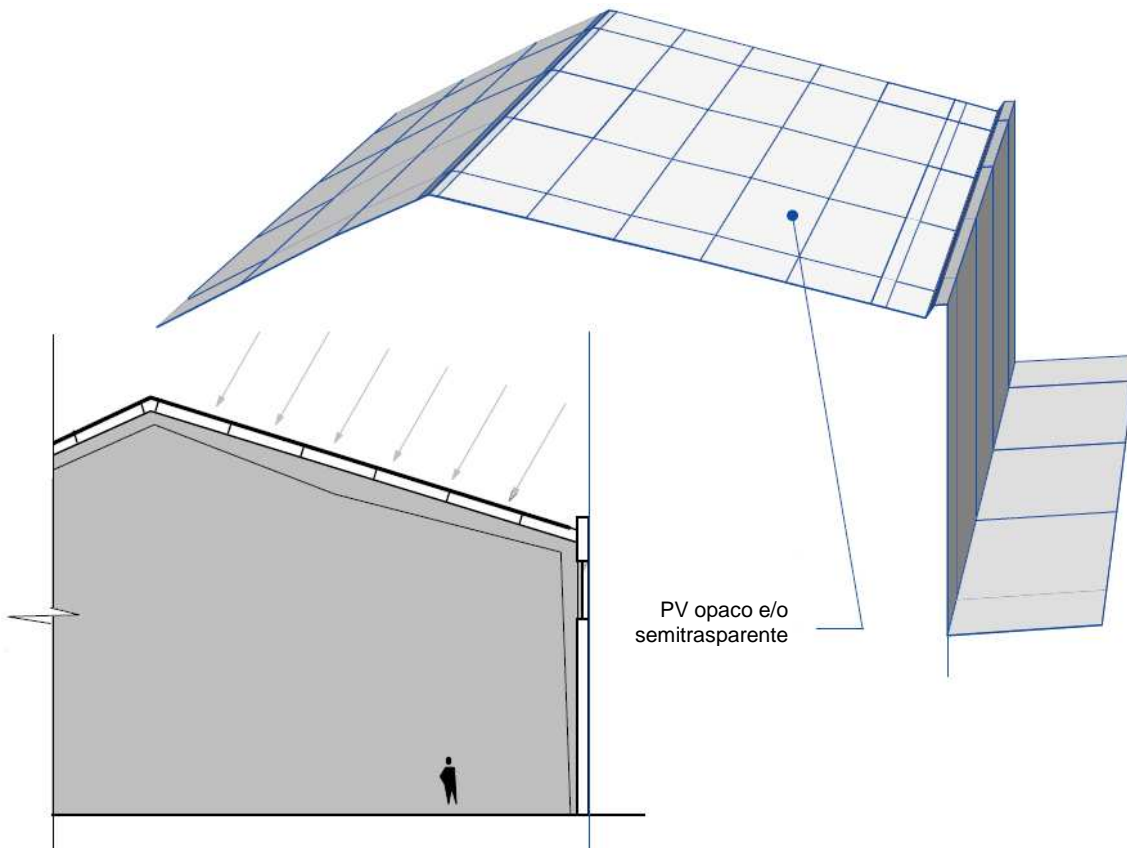
Si tratta di una modalità di integrazione che prevede aperture indipendenti in copertura sulle quali vengono installati i pannelli in direzione orizzontale oppure inclinata. Nel caso di moduli inclinati si garantisce ovviamente una più alta efficienza energetica mentre in entrambi i caso si ha un'ottimo sfruttamento della luce naturale che filtra all'interno.



Mont-Cenis Academy, Herne, Germania



- INTEGRAZIONE TOTALE IN COPERTURA

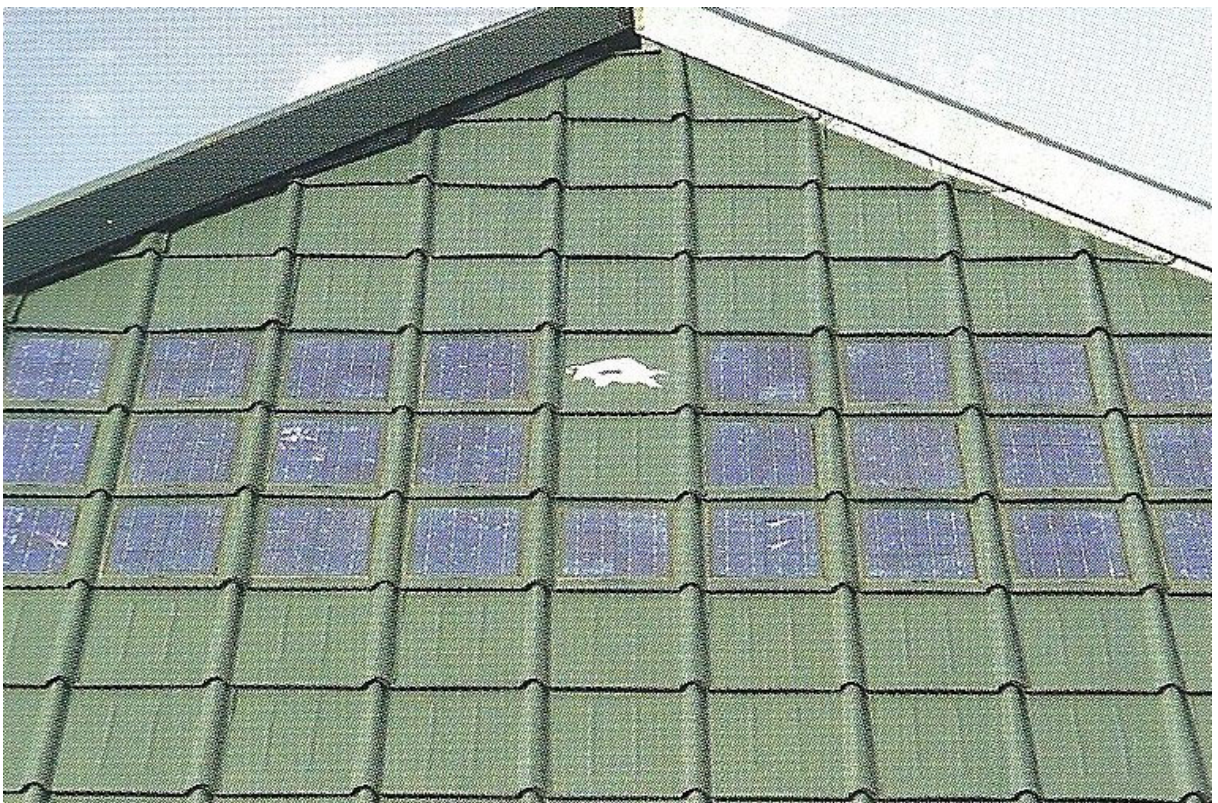
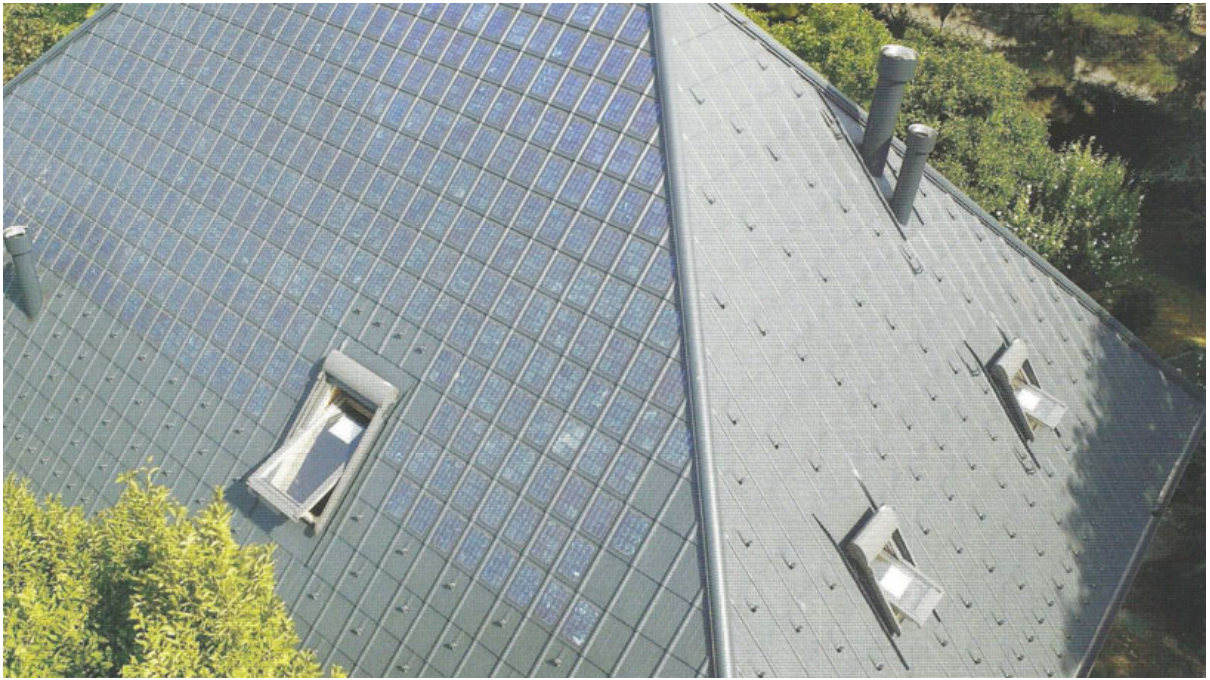


In questo sistema i pannelli sono integrati completamente nella copertura sia essa piana o inclinata, fungendo da elementi costruttivi e offrendo una buona resa energetica.

L'installazione comporta costi ridotti, in quanto i moduli possono sostituire integralmente gli elementi della copertura. Si possono però presentare problemi strutturali per eventuali sovraccarichi, come la neve, e di tenuta all'acqua.



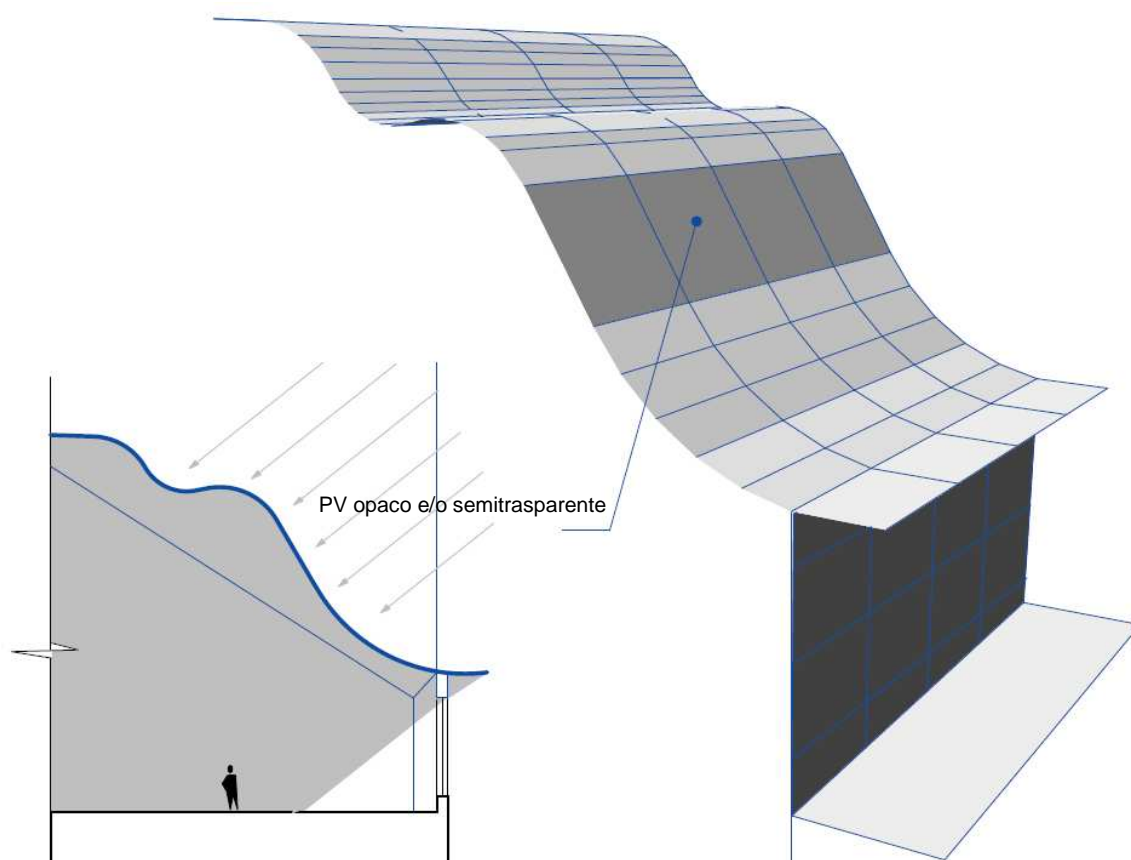
Edificio comunale a Dongen, Paesi Bassi



Integrazione totale su copertura in tegole

- INTEGRAZIONE TOTALE SU COPERTURA CURVA

Questo sistema consiste nell'installare i moduli su un piano curvo che coincide con la copertura o con la facciata, o talvolta con entrambi, costituendo in tal modo un involucro globale. Tale configurazione, per via della forma, necessita di strutture portanti relativamente complesse e di particolari pannelli flessibili comportando perciò costi piuttosto onerosi.



Fabbrica a Gelsenkirchen, Germania



Stazione centrale a Berlino



Stazione metropolitana a New York

4.2 Integrazione in facciata

Questo tipo di integrazione varia a seconda che si intervenga su una facciata continua, non continua, inclinata o su elementi di affaccio in questo modo:

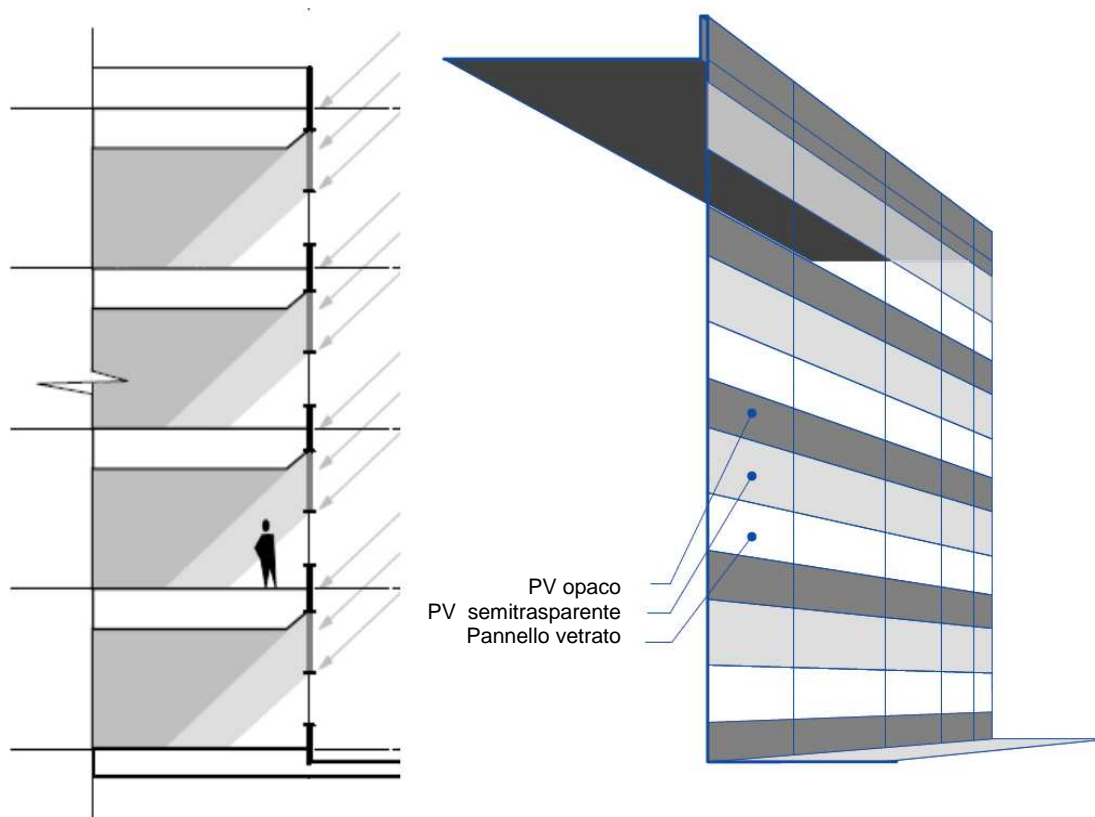
- Integrazione con curtain wall verticali
- Integrazione con curtain wall a risega
- Integrazione con moduli a risega
- Integrazione con curtain wall inclinati
- Integrazione attraverso vetrata strutturale
- Integrazione su elementi di affaccio



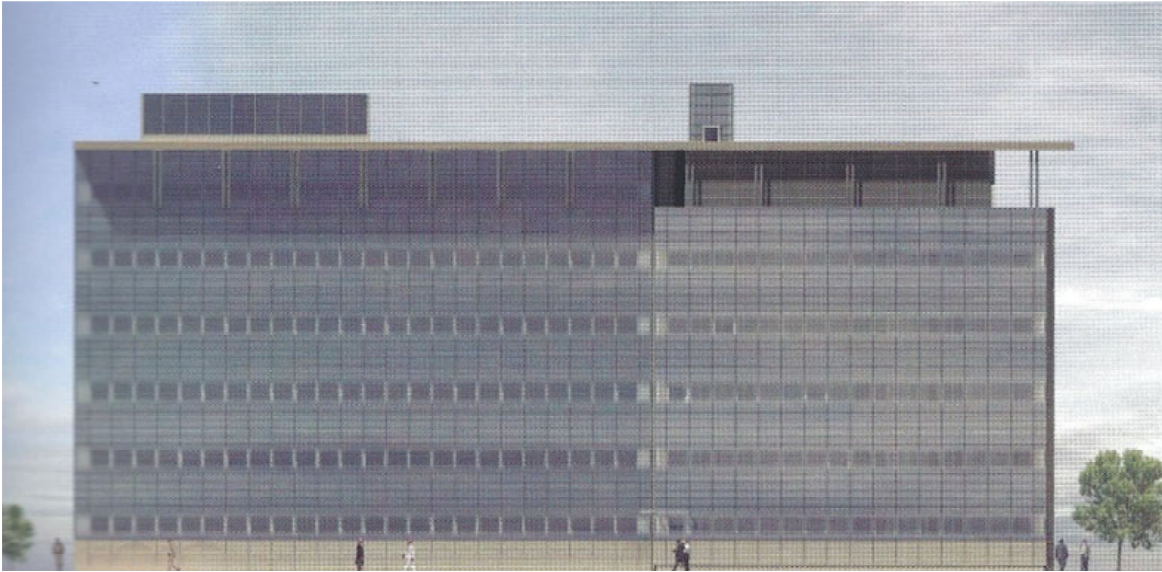
Integrazione in facciata

- INTEGRAZIONE CON CURTAIN WALL VERTICALI

E' un intervento in cui i moduli fotovoltaici sono integrati su una facciata verticale attraverso un unico sistema strutturale. I pannelli, infatti, vengono impiegati come elementi costruttivi in sostituzione di quelli tradizionali, con la possibilità di alternare in facciata pannelli opachi e semitrasparenti a seconda delle esigenze di illuminazione interna. Essendo connessa a un sistema produttivo standardizzato questa tipologia risulta piuttosto diffusa e vantaggiosa in termini di risparmio economico.



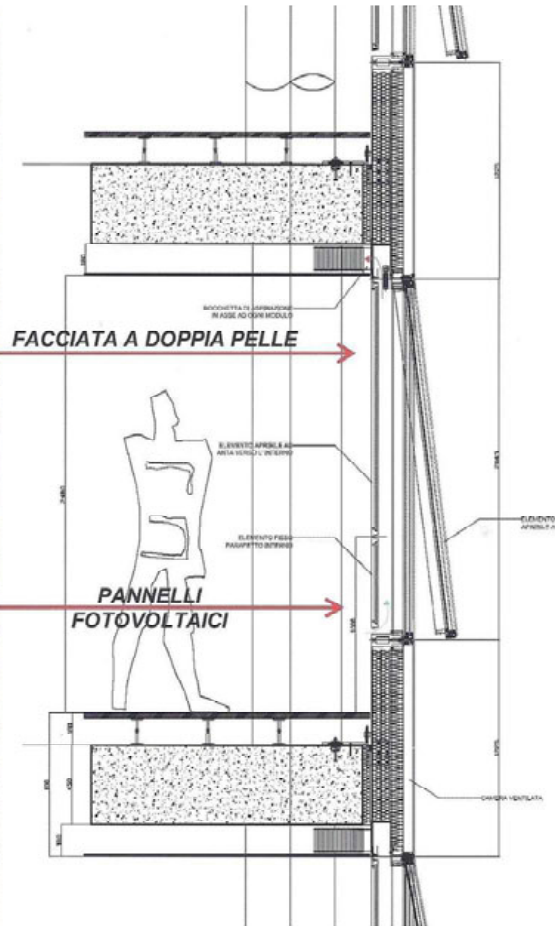
Rembrandt College, Veenendaal, Olanda



Integrazione su curtain wall verticali con facciata a doppia pelle, Dassel, Germania

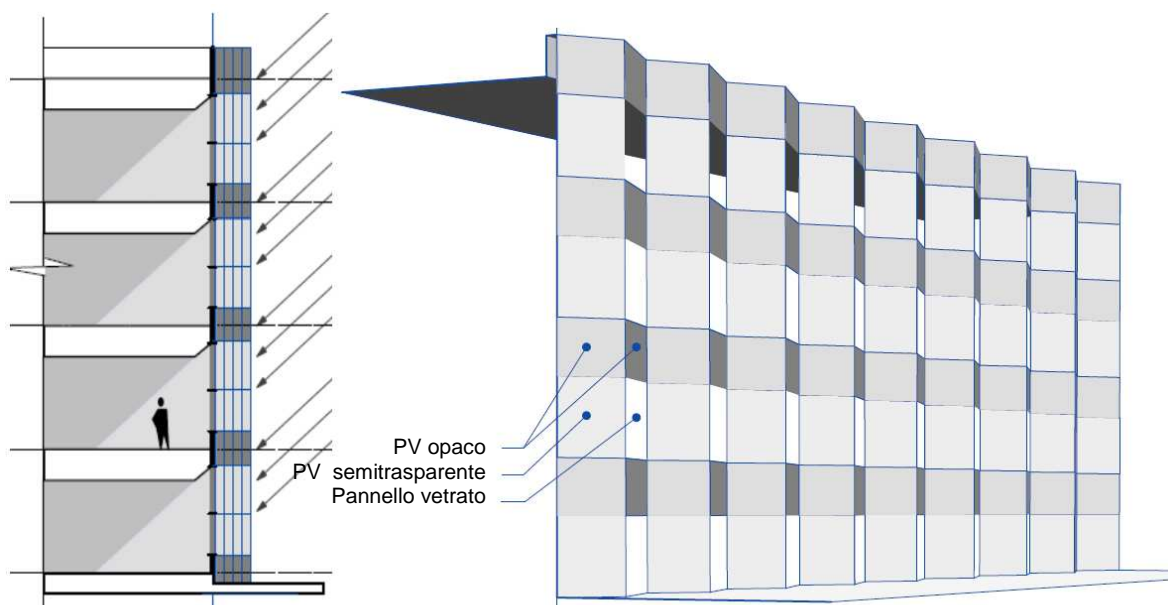


Dettaglio della facciata



- INTEGRAZIONE CON CURTAIN WALL VERTICALI A RISEGA

Si tratta di una modalità di integrazione su una facciata verticale del tipo a risega in cui i pannelli fotovoltaici, opachi e semitrasparenti, entrano a tutti gli effetti a far parte del sistema strutturale di facciata. Questa tipologia consente un'alta efficienza dell'impianto in quanto i pannelli possono essere orientati nella direzione ottimale e quindi avere la migliore esposizione al sole.



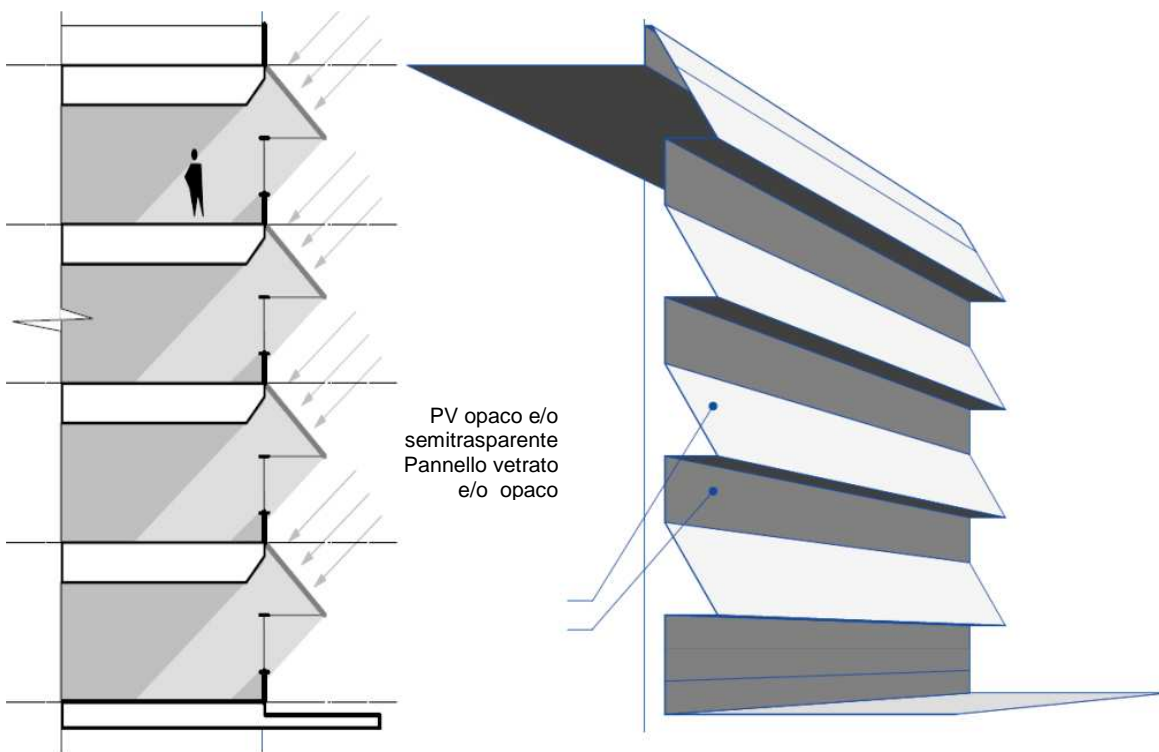
SBIC East Head Office Building, Tokyo, Giappone



- INTEGRAZIONE CON MODULI A RISEGA SU FACCIATA VERTICALE

In questo caso i pannelli sono integrati alla facciata attraverso una struttura di supporto esterna sagomata e inclinata rispetto al piano orizzontale per garantire un'esposizione ottimale e quindi un'alta efficienza energetica. I moduli possono essere utilizzati sia come schermature opache, sia come finestre semitrasparenti, permettendo, inoltre, il controllo della luce solare in ingresso.

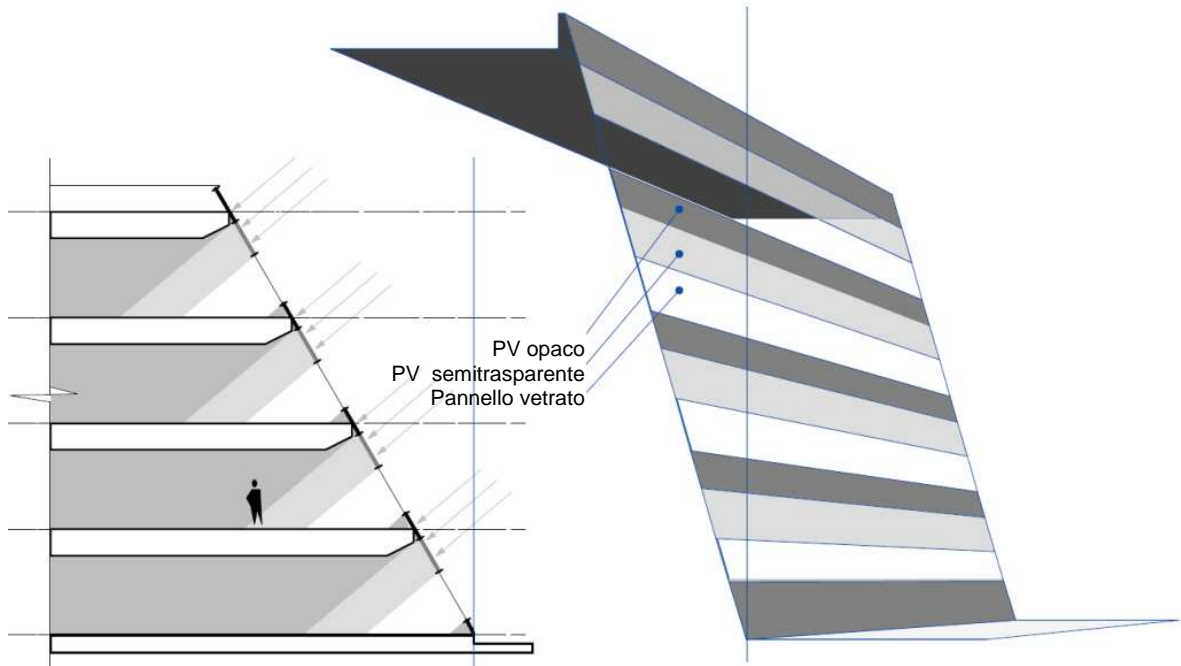
Come nel caso precedente si hanno costi di progettazione e realizzazione piuttosto contenuti e un utilizzo sia in edifici ex-novo sia in edifici già realizzati.



Kyocera's New Headquarters Building, Fushimi-ku, Kyoto

- INTEGRAZIONE CON CURTAIN WALL INCLINATI

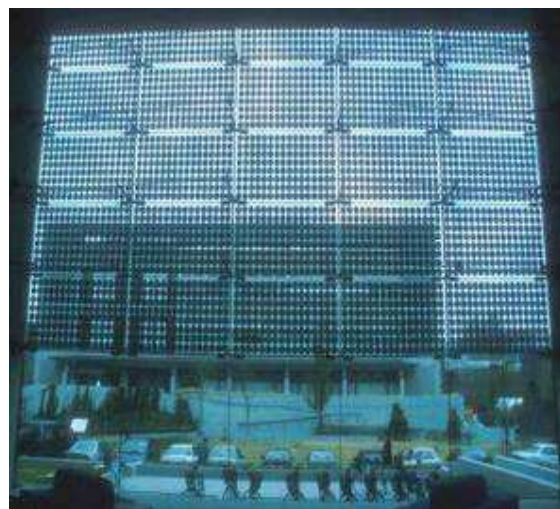
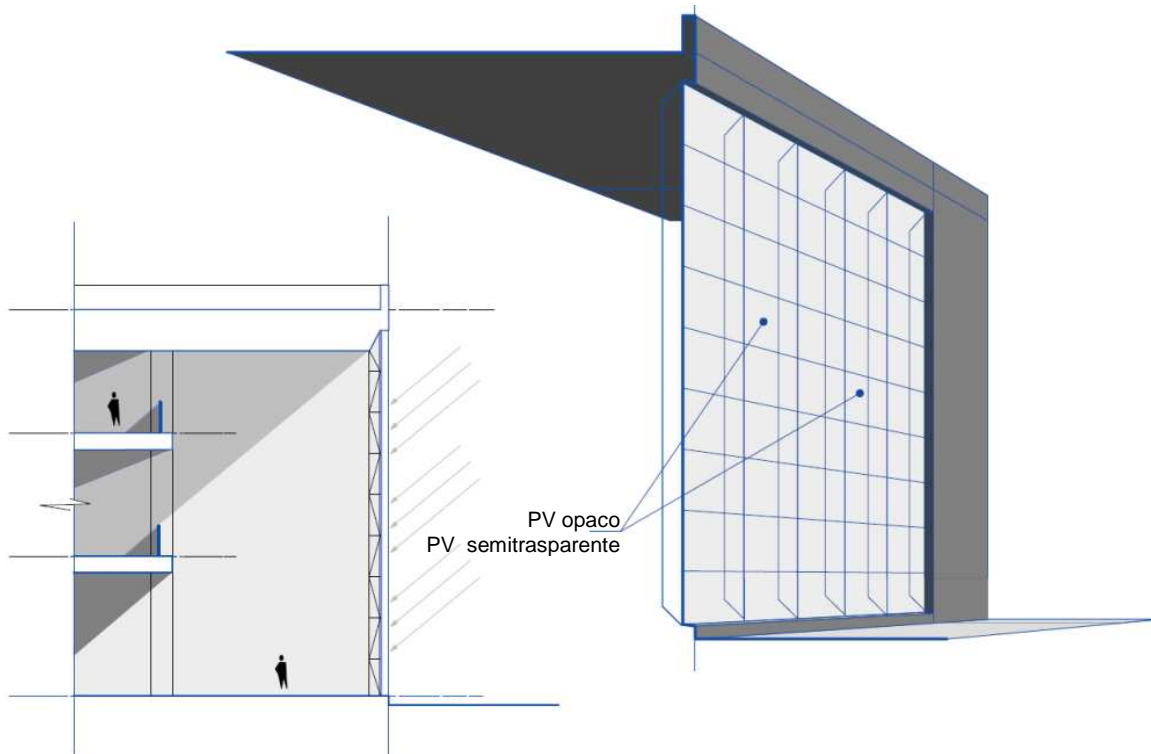
Come nel primo esempio si tratta di un intervento in cui i moduli sono integrati su una facciata continua inclinata attraverso un unico sistema strutturale che consente la migliore esposizione ai raggi solari e di conseguenza la massima efficienza energetica. Anche in questo caso i pannelli possono essere disposti in modo da alternare fasce opache e semitrasparenti a seconda delle esigenze di illuminazione interna.



Solar Office Doxford International, Londra, Gran Bretagna

- INTEGRAZIONE ATTRAVERSO VETRATA STRUTTURALE

Si tratta di una tipologia particolarmente vantaggiosa dal punto di vista economico, in quanto consente di realizzare facciate strutturali integrate con moduli fotovoltaici opachi e semitrasparenti per consentire il passaggio della luce naturale e quindi garantire l'illuminazione interna. Per contro, possono però presentarsi problemi a livello di giunzioni e sigillature tra i pannelli.



Tsukuba OSL Laboratori Building, Tokyo, Giappone

- INTEGRAZIONE SU ELEMENTI DI AFFACCIO

Questa tipologia di integrazione sfrutta la presenza di elementi di affaccio quali ad esempio balconi per integrare i pannelli in direzione verticale o inclinata.



Integrazione su balconi, Beukenhage (Almelo), Paesi Bassi



Parapetto Fotovoltaico

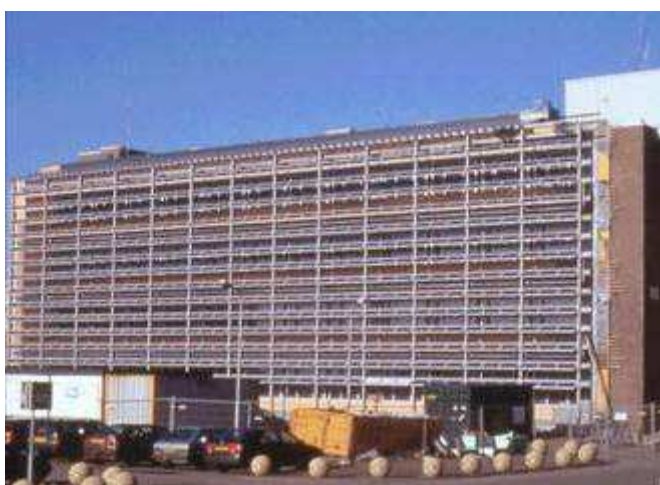
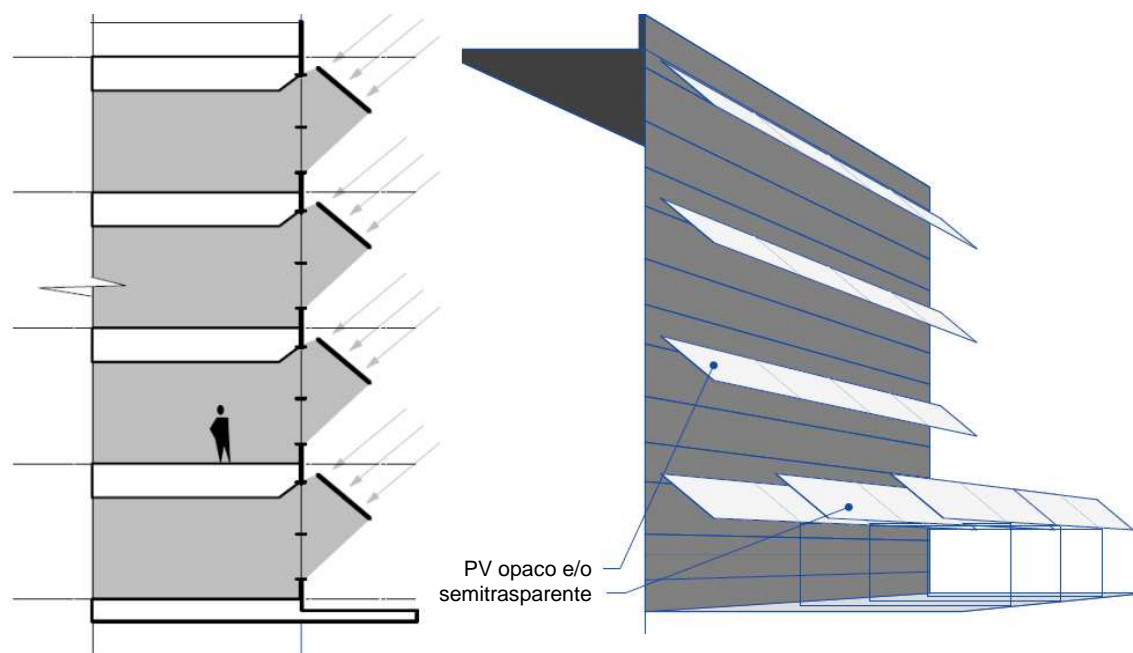
4.3 Integrazione in elementi di frangisole

I moduli possono anche fungere da dispositivi di schermatura dai raggi del sole. La schermatura può essere totale o parziale nell'edificio e le soluzioni variano a seconda del tipo di sistema oscurante.

- Integrazione con sistemi a ribalta
- Integrazione con sistemi a scorrimento

- INTEGRAZIONE CON SISTEMI A RIBALTA

In questo tipo di integrazione i pannelli sono installati su un telaio di supporto ("controfacciata") esterno all'involucro edilizio realizzato in maniera tale da consentire l'inclinazione delle lamelle fotovoltaiche rispetto al piano orizzontale. In tal modo si garantisce un'esposizione ottimale dei moduli e quindi una loro migliore efficienza. Questa tipologia presenta costi di progettazione e realizzazione piuttosto contenuti, inoltre si presta ad un utilizzo sia in edifici ex-novo sia in edifici già realizzati.

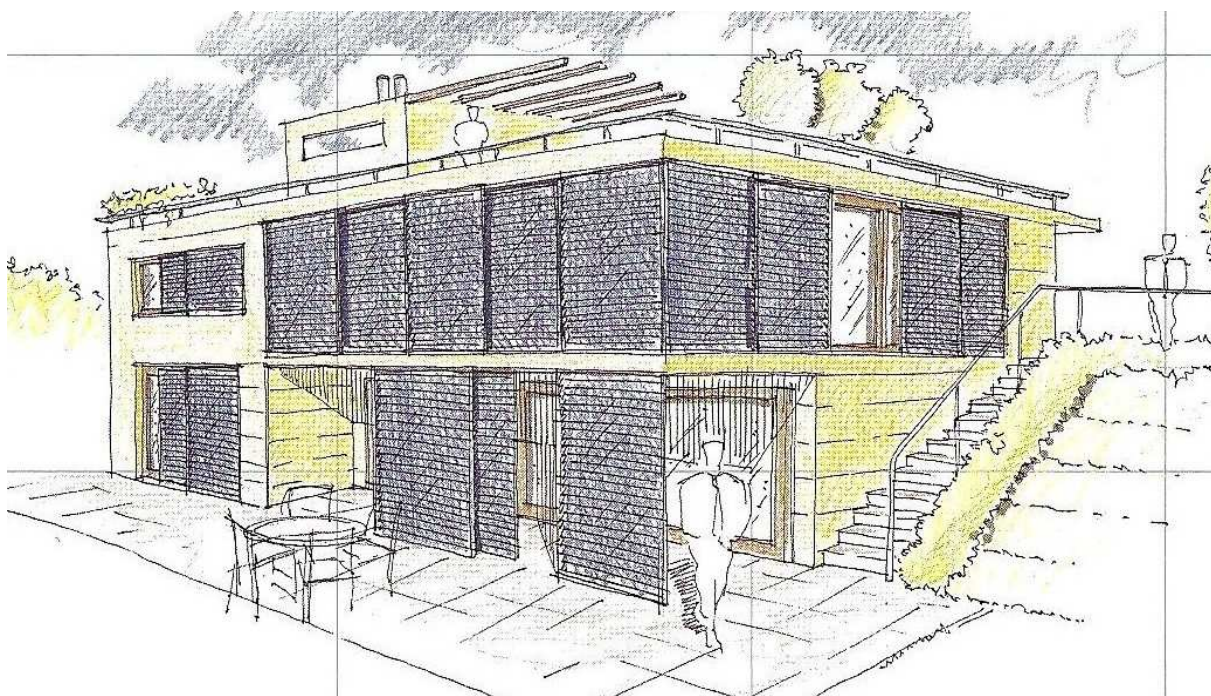


Edificio per uffici e laboratori di Ricerca, Petten, Olanda



- INTEGRAZIONE CON SISTEMI A SCORRIMENTO

In questo tipo di integrazione i pannelli sono disposti a libro su binari in modo da poter scorrere lungo la facciata dell'edificio e all'occorrenza oscurare gli ambienti interni.



Integrazione con sistemi a scorrimento



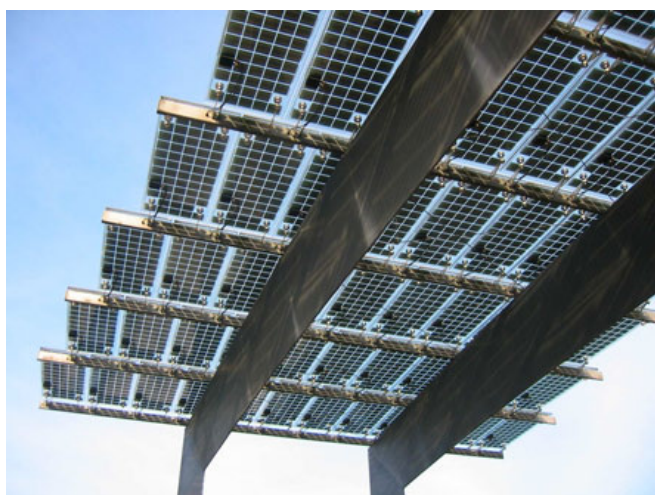
Residenza a Pettenbach, Austria

4.4 Integrazione in elementi di arredo urbano

I moduli vengono integrati in elementi accessori del contesto urbano rappresentando, come già detto sopra, una efficace alternativa all'integrazione sugli edifici circostanti.

- Integrazione su pensiline
- Integrazione su corpi illuminanti

- INTEGRAZIONE SU PENSILINE



Pensilina fotovoltaica a Bressanone (TN)



Pensiline fotovoltaiche per parcheggi



Pensilina fotovoltaica su edificio residenziale a Pettenbach, Austria

- INTEGRAZIONE SU CORPI ILLUMINANTI

Questo tipo di integrazione apre la strada all'illuminazione urbana con il fotovoltaico, di pregevole impatto visivo, assolutamente adatto per l'inserimento in contrasti architettonici e paesaggistici di pregio e nei centri storici.



Lampade fotovoltaiche



IV Applicazioni in architettura

Allo scopo di evidenziare meglio le tematiche legate alla progettazione e alla realizzazione di interventi di integrazione architettonica del fotovoltaico, sono stati presi in esame nove edifici. Questi sono stati selezionati in modo da dare una visione sufficientemente esaustiva delle possibilità di integrazione.

Sono stati analizzati diverse tipologie di intervento e di integrazione su edifici con differenti funzioni, realizzati in varie parti del mondo.

Si è cercato di approfondire vari aspetti, dallo sviluppo del progetto ai risultati finali degli interventi, architettonici e energetici, passando per l'analisi delle soluzioni tecnologiche adottate e dei costi necessari alle realizzazioni.

Sono stati analizzate le integrazioni FV su:

- Museo dei Bambini – Roma, Italia
- Lampada Stapelia – Italia
- Edificio comunale a Formigine - Italia
- Amersfoort 1 MW Project – Amersfoort, Olanda
- Rembrandt College – Veenendaal, Olanda
- SBIC East Head Office Building – Tokyo, Giappone
- ECN Building 31 – Amersfoort, Olanda
- Solar Office Doxford International – Sunderland, Gran Bretagna
- Neubau Fraunhofer ISE – Friburgo, Germania
- Mont-Cenis Academy – Herne, Germania
- Uffici e officinal Ustra - Hannover/Leinhausen, Germania
- Sede Zollern Alb Kurier - Albstadt, Germania
- Edificio Comunale – Capannoni, Lucca
- Tsukuba OSL Laboratory Building – Tokyo, Giappone
- NTT Do Co Mo Tokyo Building - Tokyo, Giappone

1 Esempi di realizzazioni in Italia

MUSEO DEI BAMBINI – Roma, Italia

Tipologia dell'edificio Pubblico/Commerciale

Tipologia dell'intervento Retrofit

Tempi di realizzazione 2001



Vista dell'edificio

Descrizione del progetto e del contesto

L'edificio che ospita il museo dei Bambini di Roma, rappresenta il primo vero esempio italiano di integrazione architettonica di sistemi fotovoltaici su un edificio di "archeologia industriale", ovvero un capannone del 1920 di proprietà del Comune di Roma, che fungeva da deposito per mezzi pubblici. L'edificio è situato a ridosso del centro storico nei pressi del parco di Villa Borghese. Lo scopo della riqualificazione era trasformare gli ampi spazi dell'edificio in aree espositive e multifunzionale per il nuovo Museo dei Bambini di Roma. L'intervento mirava anche a aumentare la sensibilità dei cittadini sui concetti di qualità della vita urbana e di fonte di energia rinnovabile.

Questo è stato possibile grazie all'integrazione nella copertura dell'edificio di un impianto fotovoltaico da 15,2 kW, e alla dislocazione, lungo il percorso didattico all'interno, di cablaggi e inverter colorati, perché introducessero i bambini alla comprensione dei sistemi fotovoltaici e la produzione di energia elettrica sfruttando la luce solare. In aggiunta a questo, la progettazione dell'impianto è stata sin dal principio volta al miglioramento della qualità della luce naturale interna attraverso la diminuzione della quantità di energia necessaria al raffrescamento dell'edificio.

Considerazioni climatiche del sito

Latitudine:	42°11' nord
Longitudine	12°28' est
Altitudine	15 m.s.l.m.
Tipo di clima	Clima mediterraneo (Temp. media annuale 15 °C)
Ore di luce solare	Media annuale 4.3 ore al giorno

Aspetti tecnici

Lo scopo principale del progetto era migliorare la qualità dell'illuminazione naturale e il raffrescamento passivo interno, introducendo un innovativo impianto fotovoltaico di 15,2kWp collegato alla rete, integrato al lato sud del tetto e della facciata dell'edificio principale.

L'impianto fotovoltaico comprende anche due sistemi industriali per

elementi ombreggianti, che sono divenuti parte integrante del padiglione: un sistema a tenda in parte mobile ed in parte fissa per una potenza installata di 7 kWp, che nel disegno segue le caratteristiche



Vista della facciata principale

morfologiche della facciata inclinata, ed un sistema di 8,2 kWp integrato al disegno del lucernario.

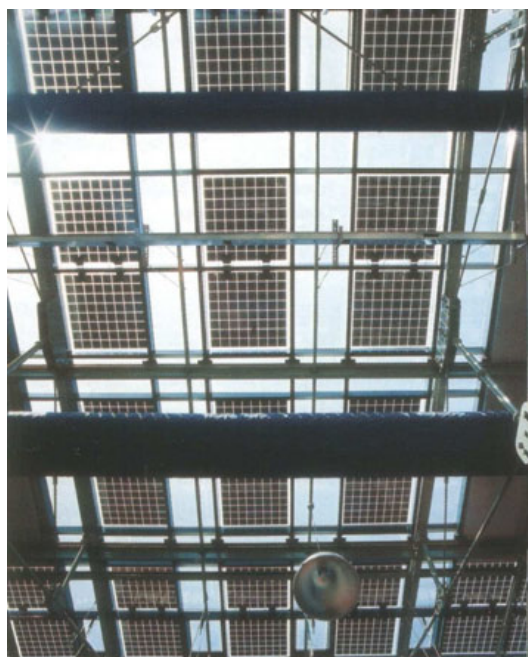
Ogni parte meccanica dell' impianto fotovoltaico è stata concepita per il design di un sistema da produrre industrialmente, caratterizzato dalla semplicità del sistema di montaggio, dal contenuto costo di produzione, assemblaggio ed installazione, e dalla riduzione dei costi di manutenzione.

L'impianto, realizzato grazie al co-finanziamento del programma CEE/THERMIE, sarà in grado di produrre energia elettrica sufficiente a soddisfare le esigenze espositive del padiglione principale. La semplicità e l'alta visibilità delle tecniche d'installazione adottate, consentirà ai visitatori del museo di capire le possibilità che offrono le fonti rinnovabili e, nello specifico, l'energia solare.

L'impianto nel suo complesso è costituito da 180 pannelli a celle di silicio policristallino, di cui 72 del tipo Eurosolare PL 120 doppio vetro posti sul tetto, e 108 in tedlar, del tipo PL 810, montati sulle pensiline.

L'energia di picco complessivamente prodotta è di 15,2 Kw, sufficiente ad alimentare il 30% degli exhibit del museo, o il 60% dell'illuminazione interna.

Particolare attenzione è stata rivolta, inoltre, agli aspetti "passivi" di risparmio energetico dovuto al raffrescamento passivo ed al controllo dell'irraggiamento solare interno. Con programmi di simulazione vennero studiati i consumi energetici indotti dalla soluzione originaria di progetto. Questa prevedeva un lucernario di tipo convenzionale posto



Vista dall'interno del lucernario

sulla falda sud del tetto. Questa falda terminava con un oggetto che ombreggiava completamente la facciata. Venne perciò studiata una soluzione che potesse garantire al contempo un buon livello di

illuminazione naturale ed una riduzione dei consumi energetici sia in estate che in inverno.

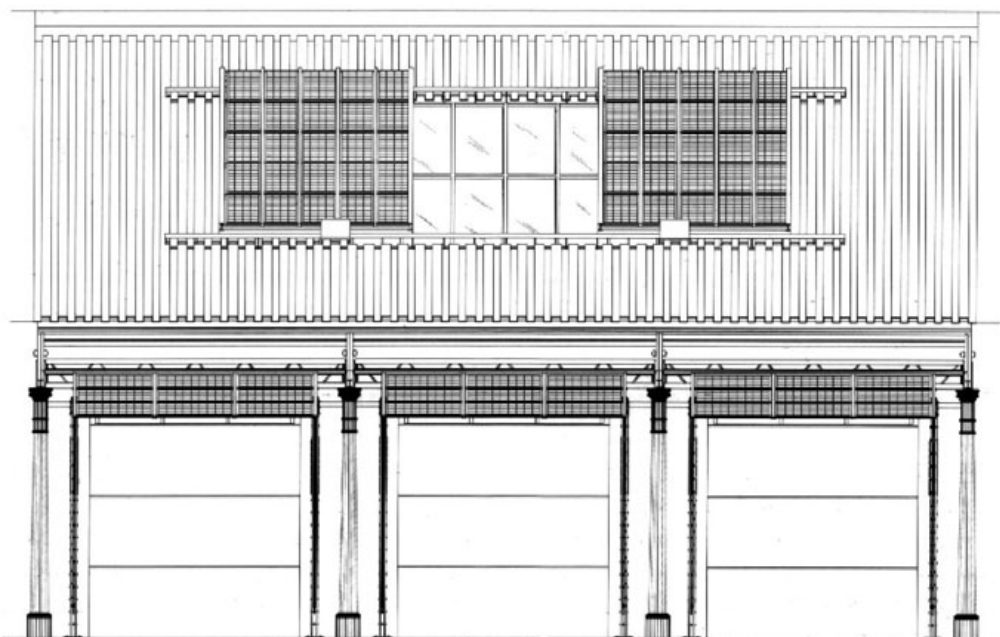


Sistema delle pensiline fotovoltaiche

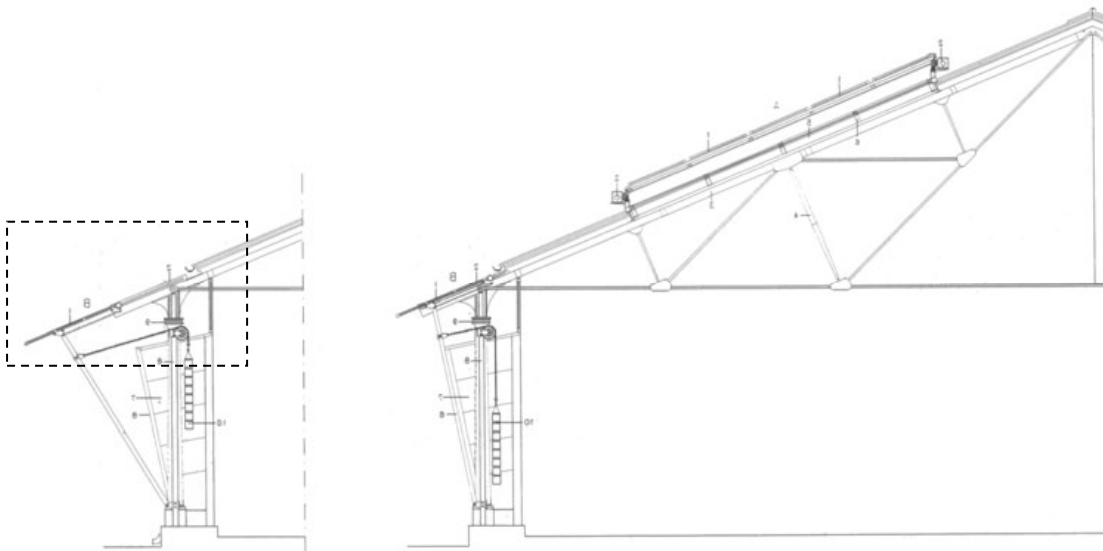
E' stato così concepito un lucernario posto sulla falda sud del tetto alternando pannelli PV a doppio vetro (la cui superficie trasparente è circa il 6%) con vetrate trasparenti selettive che riducono del 63% la penetrazione della radiazione solare all'interno dell'edificio. Una parte di queste vetrate è apribile per consentire la ventilazione notturna.

In facciata sono state collocate 12 pensiline fotovoltaiche, di cui sei mobili, che consentono di variare l'ombreggiamento della facciata riducendolo in inverno e aumentandolo in estate.

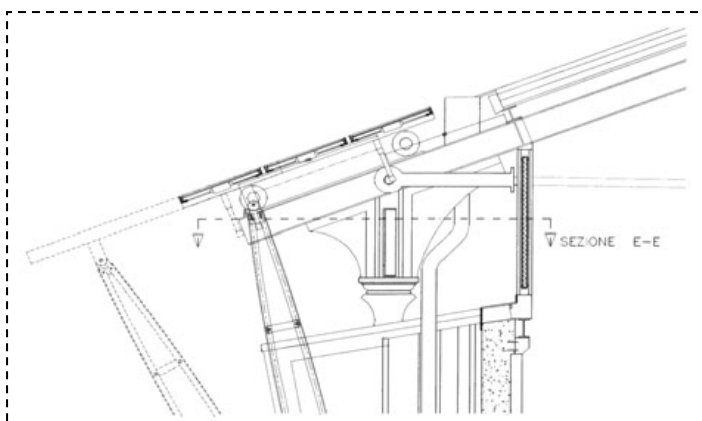
Tale sistema integrato ha comportato una riduzione dell'11,3% del consumo energetico invernale e del 52,8% di quello estivo, rispetto al progetto originale del Museo.



Prospetto progetto originario



Sezione in corrispondenza di lucernaio e pensilina



Dettaglio dell'intelaiatura della pensilina in alluminio

Considerazioni Economiche e Energetiche

L'impianto fotovoltaico in copertura e in facciata nelle pensiline genera una potenza pari a 130 kW.

L'energia totale prodotta direttamente dal sistema è pari a circa 18.000 kWh/anno; questa verrà direttamente utilizzata dal museo consentendo un risparmio annuo complessivo, comprensivo sia dell'energia elettrica autoprodotta che di quella termica risparmiata grazie al posizionamento dell'impianto e alla corretta collocazione delle schermature solari, pari a circa 6.200 €.

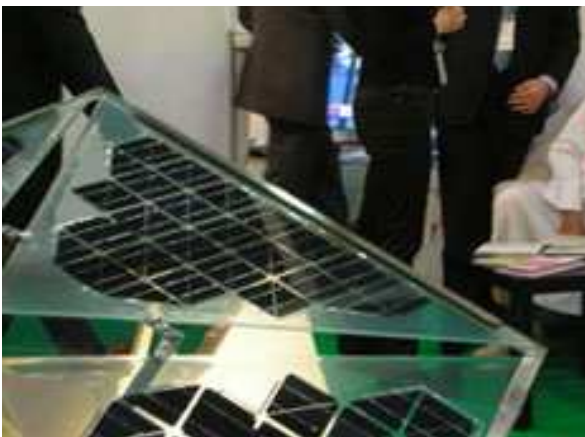
In base al risparmio di energia elettrica e di gas naturale si può stimare una riduzione di quasi 19 t/anno di emissioni di CO₂.

Risparmio energetico con l'impianto FV	Progetto tipo convenzionale	Progetto realizzato	Risparmio energetico
	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Energia prodotta dal FV	0	18000	18000
Raffrescamento del lucernaio – trasmissione di calore	3008	2004	1004
Cooling load of skylight - Irradiazione	30918	9518	21400
Raffrescamento sulla parete a sud	14058	9138	4920
Totale raffrescamento lucernaio e parete sud	47984	20660	27324
Elettricità per il raffrescamento (COP = 2.5)	19194	8264	10930
Perdita di calore dal lucernaio (kWh)	3811	2538	1273
Totale			30203

Riduzione delle emissioni di CO₂	Risparmio energetico	Fattore di emissione CO₂	Risparmio di CO₂
	kWh/a	g/kWh	kg/a
Totale energia risparmiata (Basso voltaggio)	28930	629	18201
Totale risparmio di gas naturale (eff. caldaia = 90%)	3534	200	706
Totale risparmio di CO ₂			18908

Lampada Stapelia

Tipologia	Lampada
Tipologia dell'intervento	Integrazione su arredo urbano
Anno di realizzazione	2008



Viste della lampada Stapelia e del fiore da cui prende ispirazione il nome

CARATTERISTICHE TECNICHE

La carpenteria della corolla e del palo è realizzata in ferro zincato. La parte superiore (la corolla) costituisce il generatore fotovoltaico articolato in cinque "petali" fotovoltaici vetro-vetro che incapsulano celle in silicio monocristallino. Al centro del "fiore" c'è un pistillo metallico, costituito da un doppio box piramidale (a pianta pentagonale) che costituisce la superficie di alloggiamento dei led (o di altra tipologia di lampade). La luce generata è diffusa attraverso fogli di Plexiglas opalino, che si configurano come il calice del fiore. La potenza del generatore fotovoltaico è di circa

160Wp, e la potenza delle lampade variabile tra 40 e 65W secondo l'efficienza della tipologia scelta.

FUNZIONAMENTO

In caso di assenza di sole il lampione funziona grazie agli accumulatori, e la sua vita è legata alla loro autonomia. L'obiettivo dell'ottimizzazione è quello di garantire 10 ore di funzionamento giornaliero nel corso dell'intero periodo di esercizio dell'impianto.

CARATTERISTICHE MECCANICHE

- Materiale di costruzione: Acciaio zincato a caldo o inox
- Altezza dello stelo (palo):6m
- Struttura superiore: corolla pentagonale di lato 1,2m
- Altezza della corolla: 0,8m
- Inclinazione della corolla rispetto al palo: 30°

DATI ELETTRICI

- n. 5 moduli fotovoltaici vetro-vetro di circa 0,5mq
- Composizione del modulo:46 mini-celle triangolari in serie
- Potenza di picco del generatore fotovoltaico: circa 160Wp
- Gruppi illuminanti a leds o fluorescenti compatte con pot. max di 60W
- Accumulatori al piombo gel o a piombo acido con capacità min. di 120Ah

EDIFICIO COMUNALE – Formigine, Italia

- **Tipologia dell'edificio** Uffici
- **Tipologia dell'intervento** BIPV
- **Anno di realizzazione** 2008



Vista dell'edificio

Descrizione del progetto e del contesto

L'edificio, realizzato con la procedura di project financing, concentra in un unico polo le principali strutture comunali a servizio dei cittadini. Il complesso sorge all'interno di un'area di circa 10.000 m² e si integra perfettamente con il sistema della viabilità e dei percorsi pedonali.

Particolare attenzione è stata rivolta all'inserimento ambientale degli interventi edilizi, mediante l'articolazione delle sistemazioni esterne di pertinenza del complesso con spazi per parcheggio e aree verdi.

Per quanto concerne l'aspetto bioclimatico del progetto è presente una grande piazza sovrastata da una copertura vetrata integrata con un impianto fotovoltaico in grado di far fronte a buona parte dei fabbisogni di energia elettrica del complesso.

L'edificio è disposto su tre livelli fuori terra: al piano terra è collocato il nuovo Sportello del Cittadino, creato per agevolare e ampliare l'accesso degli utenti e la fruibilità dei servizi, mentre ai piani superiori si trovano gli uffici.

Considerazioni climatiche del sito

Latitudine:	44°34' nord
Longitudine	10°50' est
Altitudine	10 m.s.l.m.
Tipo di clima	Clima mediterraneo (Temp. media annuale 16 °C)
Ore di luce solare	Media annuale 4.2 ore al giorno



Vista della copertura fotovoltaica

Aspetti tecnici

L'impianto fotovoltaico è costituito da pannelli inseriti nella struttura metallica per un totale di circa 200 m². La struttura portante della copertura è formata da una travatura reticolare in acciaio zincato e

verniciato di colore grigio scuro; la base di appoggio è realizzata con un profilato HEA 160.

La copertura è composta da 8 file di elementi a doppia falda inclinati di 30° rispetto all'orizzontale: la parte vetrata è composta da una vetrocamera ad alta resistenza meccanica con vetro esterno a controllo solare di spessore 10 mm, da un'intercapedine di 12 mm e da un vetro interno stratificato di 8/9 mm; sulle falde orientate a sud sono installati i moduli fotovoltaici speciali integrati nell'architettura, in doppio vetro. Gli infissi sono in alluminio e sono presenti un carter di chiusura inferiore e uno superiore in lamiera di acciaio zincato di spessore 7/10.

L'impianto fotovoltaico ha una potenza di 20.800 Kwp ed è composto di 104 moduli SEM160-2000 M-LG forniti da SE Project, integrati nella copertura vetrata, con struttura di supporto vetro - vetro 4+1+4 e modulo fotovoltaico in silicio policristallino, di dimensioni 1585x805x34 mm. I vantaggi del sistema sono la presenza di un vetro temperato termico ad alta resistenza contro la grandine, il ghiaccio e gli agenti atmosferici di 4 mm di spessore, la tenuta all'acqua e all'umidità, sicurezza di isolamento classe III, la presenza di una cornice in alluminio anodizzato perforato.

L'efficienza delle celle è compresa fra 13,6% e 15,8%.



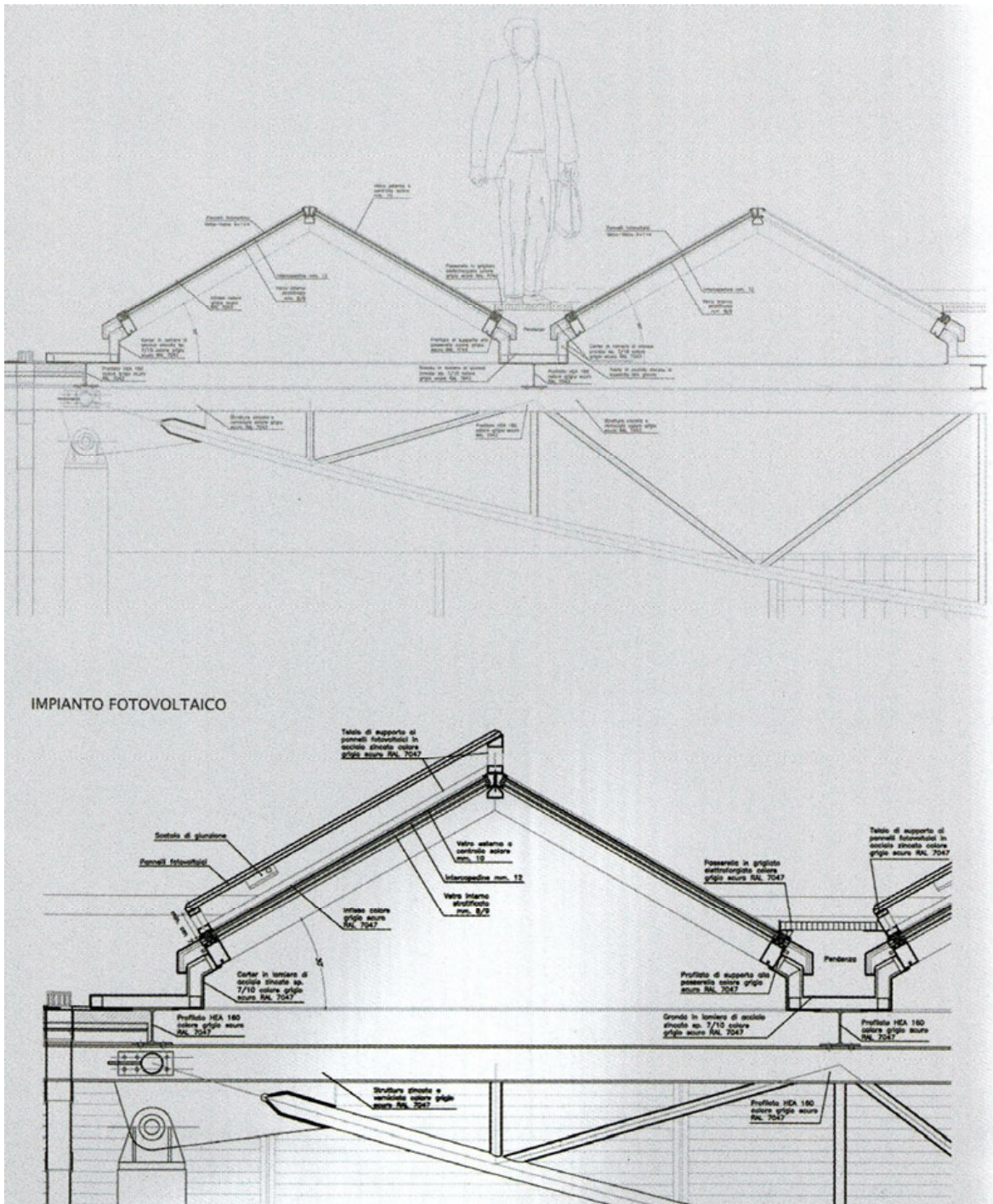
Particolari della copertura fotovoltaica



Considerazioni Economiche e Energetiche

L'impianto fotovoltaico è stato dimensionato sulla base del tetto di spesa stabilito in sede di project financing e per questo è stato utilizzato solo sulla pensilina esterna e non sulle altre coperture dell'edificio; il costo di

installazione integrato nella struttura è stato valutato di circa 8750 Euro per ogni kW installato con un costo complessivo pari a 175.000 euro.



Dettaglio costruttivo della copertura fotovoltaica

2 Esempi di realizzazioni all'estero

AMERSFOORT 1 MW PROJECT – Amersfoort, Olanda

Tipologia dell'edificio Residenziale e pubblico

Tipologia dell'intervento BIPV

Anno di realizzazione 1999



Vista aerea del complesso residenziale

Descrizione del progetto e del contesto

Il complesso residenziale di Amersfoort rappresenta un esempio memorabile per quanto riguarda l'integrazione architettonica del fotovoltaico, non solo per la scala dell'intervento, ma per le possibilità offerte alla sperimentazione sull'inserimento di questa tecnologia nel processo di progettazione urbana e nello sviluppo di tipologie abitative solari per nuovi quartieri residenziali. Qui ben 500 case su 4000 realizzate sono state dotate di coperture fotovoltaiche per una potenza totale di 1,3 MW installati, eroganti direttamente dal sole circa il 54% dell'energia totale necessaria per sostenere un quartiere di 11.000 abitanti.

Considerazioni climatiche del sito

Latitudine:	52°9' nord
Longitudine	5°23' est
Altitudine	m.s.l.m.
Tipo di clima	Zona Temperata (Temp. media annuale 10 °C)
Ore di luce solare	Media annuale 4 ore al giorno

Aspetti tecnici

Il progetto del complesso residenziale è completamente impostato su criteri di sostenibilità ambientale: l'80% delle case sono state orientate tra Sud Est e Sud Ovest, sono stati installati oltre 900 impianti termici solari, ed il riscaldamento funziona con caldaie a condensa. Tutta l'acqua utilizzata per i servizi igienici e per l'irrigazione dei giardini è riciclata attraverso un sistema di fito-depurazione perfettamente integrato al percorso delle vie d'acqua del quartiere.

Al fine di evitare qualsiasi zona d'ombra, inoltre, i progettisti si sono dovuti confrontare con il problema delle distanze e delle larghezze delle vie di comunicazione (acqua e terra), definire rigorose selezioni e distribuzioni degli alberi affinché non oscurassero i pannelli solari, stabilire nuovi indici per le pendenze delle coperture e rivedere il disegno dei profili ammissibili per gli edifici.

L'introduzione del fotovoltaico ha anche alterato la tipica, simmetrica sezione delle strade olandesi e l'articolazione delle abitazioni. In ogni strada orientata Est-Ovest, fu inevitabile che solo il 50% delle case avessero il fronte principale esposto a Sud con una notevole riduzione del valore commerciale ed economico dell'altro 50%.

A questo proposito, sono state studiate nuove tipologie abitative con terrazzo, largo uso di lucernari o di piccole serre aperte sulla zona giorno, che consentissero una buona distribuzione della luce ed il recupero del calore nei mesi invernali.

Per quanto concerne l'integrazione architettonica del fotovoltaico, uno

dei risultati più sorprendenti è la varietà espressiva dimostrata dai progettisti, pur dovendo utilizzare solo moduli standard non specificamente prodotti come componenti per l'edilizia.

I moduli sono stati integrati sulle coperture con una inclinazione media intorno ai 20°. Sebbene un progetto di queste dimensioni avrebbe potuto consentire la sperimentazione di diversi prodotti fotovoltaici, l'obiettivo principale di contenere i costi dell'intervento ha fatto optare per l'adozione di soli due tipi di moduli per tre diversi metodi d'integrazione. Di questi, due consistono in profili in legno direttamente montati sopra la guaina isolante, su cui sono stati semplicemente avvitati i moduli; il terzo metodo usa invece delle cassette presso stampate in plastica, contenenti i moduli, il cui ancoraggio funziona per sovrapposizione dei bordi.

Tutti i moduli utilizzati, sia mono che poli cristallini, sono di produzione Shell Solar e BP Solarex. Va comunque sottolineato il paradosso tecnico/tipologico che hanno dovuto affrontare i progettisti a causa di questa limitazione di scelta: all'inizio infatti, le principali difficoltà da affrontare erano state quella della discrepanza dimensionale fra i pannelli fotovoltaici e quelle dei componenti prefabbricati e modulari dell'edilizia.

A causa della tipica, limitata disponibilità dell'industria fotovoltaica a rivedere gli standard produttivi, il fotovoltaico utilizzato, diveniva dunque solo un altro strato del tetto, perdendo la possibilità di partecipare ad un uso più concreto di sistemi solari passivi (tetti ventilati, recupero del calore, ecc.).

Moduli Pilkington Solar sono stati integrati ad alcune pensiline per le biciclette, in due portali solari e in un edificio sportivo. Alcuni brisoleil di produzione "Colt International" sono stati invece inseriti sulla facciata di 24 abitazioni.

Per quello che riguarda la produzione di energia a Nieuwland, tutte le case sono collegate alla rete, pertanto in caso di un difetto di funzionamento, ricevono comunque energia dalla stessa. La Remu (l'autorità energetica regionale), a sua volta riceve notifica della caduta di energia attraverso un sistema di monitoraggio computerizzato, che rende

possibile l'identificazione del tipo di problema e del luogo in cui esso si è manifestato. L'utente può costantemente controllare la quantità di energia prodotta dal suo impianto fotovoltaico e direttamente immessa in rete grazie ad un secondo contatore posto di solito in tutti gli attici, accanto a quello tradizionale che misura i consumi e quindi l'energia acquistata dalla rete. Il coinvolgimento dell'utente in un intervento del genere è estremamente significativo perché da un lato sollecita la consapevolezza del consumatore sugli usi razionali dell'energia, mentre dall'altro lo rende direttamente interessato all'efficienza del sistema.

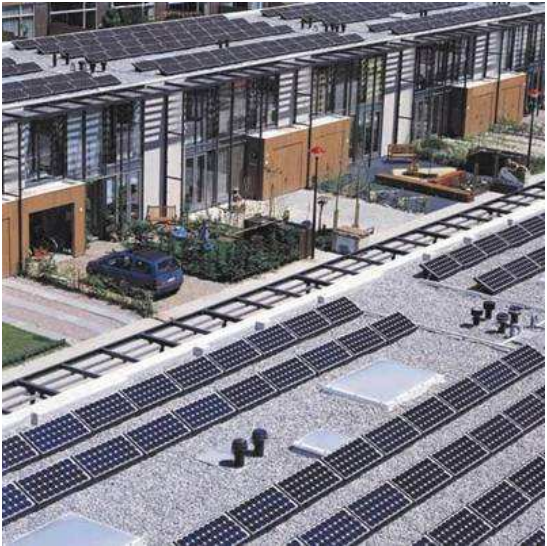
Tipologie abitative



Tipo di casa: Panta rhei. Architetto: Van Straalen, Zeist



Casa a schiera. Architetto: Claus en Kaan, Rotterdam



Tipo di casa: Laanwoningen. Architetto: Galis BNA, Delft



Tipo di casa: Jersey. Architetto: Loof & Van Stigt, Amsterdam



Tipo di casa: Cascade. Architetto: Duinker & Van der Torre, Amsterdam

Considerazioni Economiche e Energetiche

Come già detto precedentemente, il sistema ha una potenza pari a oltre 1,3 MW, distribuiti su 500 edifici diversi.

Consumi e produzione energetica del quartiere	
Numero totale di edifici	649
Numero di edifici con PV	500
Numero di appartamenti forniti di energia PV	288
Potenza del PV installato	1.323 kW
Rendimento annuale stimato	944.000 kWh
Consumo elettrico annuale per appartamento	3.280 kWh
Contributo PV al consumo elettrico	44%

Considerando i costi di progettazione, del monitoraggio e della distribuzione, il costo dell'elettricità prodotta con il sistema fotovoltaico è pari a 1,15 €/kWh.

I costi del progetto e i costi di una eventuale riproduzione del progetto sono riportati nella seguente tabella:

	Costi del Progetto	Costi di Ripetizione
Costo dei componenti speciali del sistema PV	7.593.558 €	6.235.000 €
Costo dei componenti convenzionali	551.343 €	410.000 €
Costi di installazione	306.302 €	107.000 €
Costi direzione progetto e ingegneria	776.418 €	176.000 €
Costi complessivi di capitale del progetto	9.227.621 €	6.930.000€
Costo annuale del capitale	740.488 €	556.000€
Costi annuali di funzionamento e manutenzione	69.812 €	33.000 €
Rendimento energetico annuale medio	704.000 kWh	786.000 kWh
Costi per unità di energia generata	1.115 €/kWh	0.75 €/kWh

Prezzo chiavi in mano di tutte le installazioni PV	6,70 €/W
Prezzo chiavi in mano (applicazioni speciali escluse)	6,90 €/W
Costi dell'integrazioni in copertura	0,4 €/W
Modifiche della rete	0,1 €/W

REMBRANDT COLLEGE – Veenendaal, Olanda

Tipologia dell'edificio	Scuola secondaria
Tipologia dell'intervento	BIPV
Anno di realizzazione	1998



Vista del college da sud-est

Descrizione del progetto e del contesto

L'edificio che ospita il Rembrandt college rappresenta la scuola più efficiente dal punto di vista energetico di tutta l'Olanda. L'amministrazione locale infatti quando commissionò il progetto impose diversi standard energetici, tanto che venne coinvolta in fase di progettazione anche la compagnia locale di fornitura dell'energia elettrica, la REMU, perché fornisse suggerimenti riguardo ai sistemi energetici a basso consumo e all'energia sostenibile.

Il college si colloca in una zona a bassa densità edilizia, priva di elementi che potessero determinare condizioni di ombreggiamento sfavorevoli all'uso del fotovoltaico.

Considerazioni climatiche del sito

Latitudine:	52°9' nord
Longitudine	5°23' est
Altitudine	m.s.l.m.
Tipo di clima	Zona Temperata (Temp.a media annuale 10 °C)
Ore di luce solare	Media annuale 4 ore al giorno

Aspetti tecnici

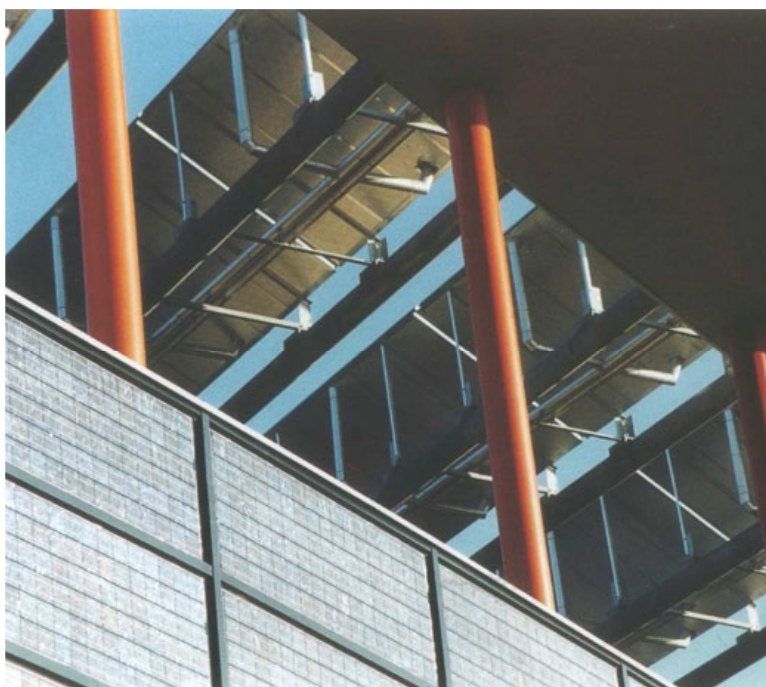
Nel complesso scolastico sono state utilizzate tecniche di sfruttamento dell'energia solare attiva e passiva.

Il sistema solare attivo è costituito da ben 34 mq di collettori solari, posizionati sulla copertura dell'edificio e collegati a un cilindro nel quale l'acqua viene riscaldata e da ben 430 mq pannelli fotovoltaici integrati nell'edificio.

Lo sfruttamento passivo dell'energia solare avviene sostanzialmente

attraverso una progettazione dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento basata sui principi della bioclimatica.

Il riscaldamento viene fornito da due pompe di calore che sfruttano il principio aria-acqua: l'aria che scorre nei radiatori viene riscaldata dal calore dell'aria esterna oppure dall'aria di ventilazione di una sala destinata ad attività sportive.



Vista dei collettori solari installati in copertura

Per la ventilazione invece è stato utilizzato un sistema che estrae l'aria viziata e la espelle all'esterno, facendole passare attraverso una cartuccia in alluminio, a cui viene trasferito il calore contenuto nell'aria in uscita. Dopo poco più di un minuto il flusso d'aria subisce un'inversione e il calore viene ritrasferito all'aria esterna proveniente dall'esterno: in questo modo



Vista del curtain wall sulla facciata sud



Particolare del curtain wall fotovoltaico

è possibile recuperare circa il 90% del calore contenuto nell'aria interna.

Per la produzione di energia elettrica, come già accennato sopra, è stato installato un sistema fotovoltaico, suddiviso in sei settori, per una superficie totale di 430 mq. Di questi, 72,5 m², sono stati realizzati in forma di schermi solari simili a tende al di sopra delle finestre delle aule. Gli altri settori sono stati quasi tutti integrati nel curtain wall del prospetto meridionale, in forma di pannelli semitrasparenti a doppio vetro. L'integrazione in facciata è stata preferita alle altre soluzioni proposte, per problemi di ombreggiamento dovuti agli edifici circostanti

Per evitare fenomeni di ombreggiamento l'impianto e i collegamenti tra i pannelli sono stati concepiti dopo simulazioni al computer che tenessero conto delle ombre degli edifici circostanti e delle ombre generate dal college stesso.

Per ottenere un effetto visivo gradevole dal punto di vista architettonico sono state utilizzati moduli con celle rivestite sia in blu che in bronzo. Su richiesta della REMU sono state fornite appositamente per il College Rembrandt, delle celle policristallino color bronzo per i pannelli da collocare sull'ingresso principale al secondo livello. Le celle bronzee hanno un rendimento dell'11,9%, appena inferiore al 12,7% di quelle blu.

Le stringhe sono collegate alle linee elettriche principali, attraverso 22 inverter collocati immediatamente dietro la facciata.



Vista dell'edificio da sud ovest



Vista dei moduli in policristallino bronzee

Considerazioni Economiche e Energetiche

L'impianto fotovoltaico nel suo complesso ha avuto un costo di circa 640.000 €.

I sei sottosistemi fotovoltaici integrati nell'edificio, hanno una capacità totale pari a 39,6 kW. Nei primi 194 giorni di funzionamento hanno prodotto una quantità di energia pari a 320 kWh, inferiore alle aspettative di 550 kWh.

L'elettricità prodotta viene utilizzata dallo stesso istituto. Al momento della realizzazione, l'impianto del Rembrandt College era il più grande installato in facciata dell'Olanda.

Oltre ad aver contribuito alla realizzazione dell'edificio, si occupa di fornire a questo energia elettrica e calore, restando proprietario dei sistemi energetici installati.

Potenza installata e produzione energetica	
Potenza totale installata	39,6 kW
Produzione nei primi 6 mesi di funzionamento	320 kWh
Previsione di produzione per i primi sei mesi	550 kWh

Costi e finanziamenti dell'intervento	
Finanziamento REMU (Compagnia elettrica)	320.000 €
Finanziamento NEVEM (Ministero degli interni)	320.000 €
Costo totale	640.000€

SBIC EAST HEAD OFFICE BUILDING – Tokyo, Giappone

Tipologia dell'edificio	Commerciale
Tipologia dell'intervento	BIPV
Anno di realizzazione	1998



Vista dell'edificio

Descrizione del progetto e del contesto

L'SBIC East Building si trova a Shibuya, in una zona di espansione in un quartiere urbano a carattere commerciale. L'edificio oltre a uffici, sedi di numerose compagnie ospita sale per conferenze, aule per corsi di aggiornamento del personale e spazi espositivi. L'edificio presenta delle installazioni fotovoltaiche su pensiline disposte in facciata, su elementi di frangisole e sui balconi, nonché in copertura.

Considerazioni climatiche del sito

Latitudine:	35°7' nord
Longitudine	139°7' est
Altitudine	40 m.s.l.m.
Tipo di clima	Zona Temperata (Temp. media annuale 16.2 °C)
Ore di luce solare	Media annuale 4.9 ore al giorno

Aspetti tecnici

Nella realizzazione dell'impianto fotovoltaico si è ricorso a quattro soluzioni

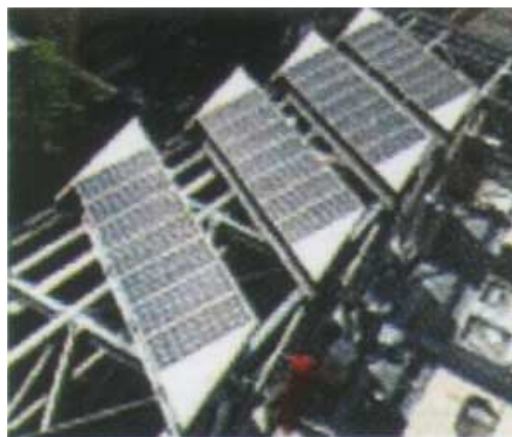


Vista del fronte principale e delle stringhe a pensilina

tipologiche diverse di integrazione architettonica.

Sul fronte principale dell'edificio sono state installate delle stringhe a pensilina, costituite da 15 moduli semitrasparenti da $0,75 \text{ m}^2$ in silicio monocristallino, che forniscono complessivamente circa $0,9 \text{ kW}$ di potenza.

In copertura sono state installate quattro stringhe inclinate a 30° , ciascuna costituita da sette pannelli opachi in silicio policristallino da $0,65 \text{ m}^2$, per un totale di $5,1 \text{ kW}$ installati.



Stringhe in copertura

Sulla facciata posteriore dell'edificio, che gode della maggiore esposizione alla radiazione solare, sono state collocate, nella parte superiore, delle stringhe



Vista dall'interno delle stringhe a brise-soleil

verticali di rivestimento completamente integrate nei parapetti.

Queste sono formate da moduli opachi di $0,35 \text{ m}^2$ in silicio grigio policristallino, e erogano $4,4 \text{ kW}$.

Nella parte centrale della facciata sono state invece



Disposizione delle varie tipologie fotovoltaiche nell'edificio

collocate le stringhe a brise-soleil, che costituiscono la parte principale dell'impianto, essendo in grado di produrre 20,1 kW. Le stringhe sono formate da moduli semitrasparenti in silicio monocristallino di 0,9 m² ciascuno e sono inclinate di 18,2° rispetto all'orizzontale. Le celle sono integrate in pannelli in vetro, i quali sono a loro volta sostenuti da una struttura metallica.

I brise-soleil semitrasparenti, oltre a produrre energia elettrica, con il loro effetto di ombreggiatura passiva concorrono ulteriormente al risparmio energetico dell'edificio, caratterizzando fortemente il design della facciata e degli interni.

Considerazioni Economiche e Energetiche

Come già detto, la potenza totale installata nell'edificio, alla quale contribuiscono i moduli installati nelle pensiline, in copertura, sui parapetti e sulle stringhe a brise-soleil, è pari a 30,5 kW.

L'edificio è monitorato dalla IEA dal 1998, e nel corso di trenta mesi, dall'aprile '98 al dicembre 2000, il sistema ha fornito 30400 kWh di elettricità. Nel 2000 il rendimento finale del sistema fotovoltaico, cioè l'elettricità prodotta in relazione alla potenza installata, è stata di 421 kWh/kW, cioè meno della metà del rendimento finale tipico dei sistemi PV del programma giapponese di field test, che si aggira intorno ai 1000 kWh/kW. L'efficienza ha avuto un'oscillazione tra il 70% e il 90%, con una media dell'82%, e il rendimento è oscillato tra il 40% e il 60%.

Considerati quindi i costi complessivi del sistema fotovoltaico, circa 1,3 milioni di €, e la quota di energia prodotta, in relazione all'energia consumata, cioè poco più dell'1,4%, si può affermare che i risultati raggiunti non sono sicuramente esaltanti, soprattutto se confrontati con altri edifici con integrazione architettonica di sistemi fotovoltaici realizzati in Europa e nel Giappone stesso.

Costi del sistema BIPV		
Moduli solari	542.900 €	42.4%
Componenti elettrici	119.600 €	9.4%
Costi di installazione	524.500 €	41.0%
Manutenzione e monitoraggio (5 anni)	92.000 €	7.2%
Totale	1.279.000 €	100.0%

Consumi e produzione energetica	
Consumo annuale (2000)	930.642.850 kWh
Produzione annuale (2000)	13.029 kWh
Quota di energia solare sul totale	.1,4%

ECN BUILDING 31 – Amersfoort, Olanda

Tipologia dell'edificio Uffici e laboratori

Tipologia dell'intervento Retrofit

Anno di realizzazione 1999



Vista del fronte dell'edificio

L'ECN (energy Research Foundation) è un istituto di ricerca sull'energia situato nei Pressi di Petten nell'Olanda settentrionale a soli 100m dal Mare del Nord. Al suo interno, in un'area calpestabile di 6.530 m², si svolgono ricerche sull'energia solare, eolica, biomasse, combustibili fossili puliti, sull'efficienza energetica e sull'applicazione delle tecnologie che sfruttano le energie rinnovabili.

Noto anche come "Edificio 31", il complesso fu edificato nel 1963 e ristrutturato nel 1999 attraverso un totale rifacimento delle facciate sud e nord. In particolare, nella facciata esposta a sud è stato installato un sistema di frangisole fotovoltaici che oltre a consentire un calibrato ingresso della luce naturale, fornisce energia elettrica.

Considerazioni climatiche del sito

Latitudine	52°47' nord
Longitudine	4°40' est
Altitudine	5 m.s.l.m.
Tipo di clima	Clima marino mite (Temp. media annuale 10 °C)
Ore di luce solare	Media annuale 4,05 ore al giorno

Aspetti tecnici

Prima dell'intervento l'edificio dell'ECN consumava 80 kWh/m² di energia elettrica e 140 kWh/m² per il riscaldamento; attraverso l'intervento di ristrutturazione si è riusciti a portare il fabbisogno complessivo a 80 kWh/m² in totale.

Nello specifico gli interventi principali, come già anticipato sopra, erano fondamentalmente due: il rifacimento delle facciate nord e sud per migliorarne il sistema di isolamento; l'installazione di un sistema fotovoltaico in copertura e in facciata da almeno 72 kW, che coprisse il 30% del fabbisogno elettrico e che fungesse anche da schermatura per



Particolare della schermatura fotovoltaica

ottimizzare l'illuminazione naturale.

Attraverso simulazioni al computer si constatò che la soluzione più conveniente, sotto tutti i punti di vista, sarebbe stata

utilizzare un sistema di 4 lamelle per piano, inclinate di 37° rispetto all'orizzontale, di cui 3 fisse, e soltanto una, quella all'altezza media di una persona seduta, manovrabile dall'interno.

I pannelli utilizzati, al silicio policristallino, sono 546, di dimensioni 478x1006 mm, da 48 W, prodotti dalla Shell Solar.

Per incrementare ulteriormente la produzione di energia pulita si decise di installare un sistema fotovoltaico anche in copertura. Questo è stato realizzato con profilati d'acciaio curvi che sostengono lamine increspate; sopra queste, con il sistema BP Sunlower, sono stati montati i moduli

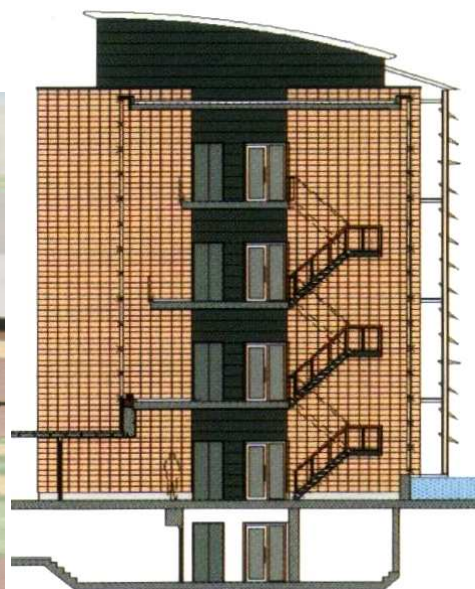


Montaggio del sistema fotovoltaico a lamelle in facciata

fotovoltaici. Per consentire e facilitare la manutenzione, considerato che non sarebbe stato possibile camminare sopra i pannelli, è stata installata un'impalcatura a forma di ponteggio. In copertura sono stati utilizzati 456 moduli in silicio



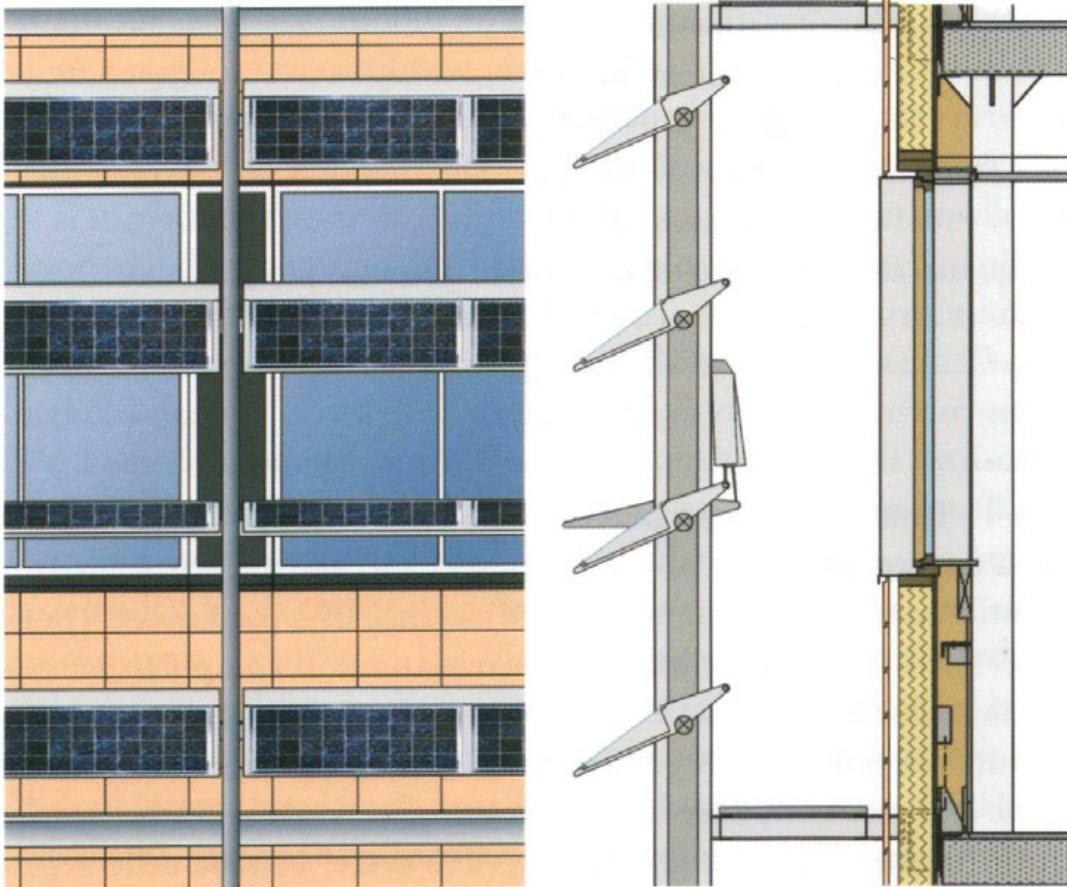
Render e sezione nel vano scale dell'edificio



monocristallino, di dimensioni 525x1183 mm, da 85 W, prodotti da BP Solar.

In copertura, in direzione della schermatura della facciata, è stata realizzata anche una pensilina fotovoltaica con 156 pannelli 550x1100

mm, da 44,3 W ciascuno, appositamente progettati dalla Shell Solar per l'edificio.



Dettaglio costruttivo delle lamelle fotovoltaiche in facciata

Considerazioni Economiche e Energetiche

La potenza totale del sistema fotovoltaico installato nell'ECN Building 31, è pari a 71,88 kW, per un'area complessiva dei moduli di circa 700 m². Il costo totale degli impianti è stato di quasi 500.000 €, ma è stato coperto per circa il 70 % da contributi pubblici e privati.

Nello specifico i costi, compresa progettazione, installazione, inverter, impianto e componenti elettrici, sono così distribuiti:

- facciata PV () - 181.512 €
- pensilina PV (compresi i soli moduli a doppio vetro e esclusi montaggio e componenti elettrici) - 79.865 €
- copertura PV (compresa installazione, profilati, ingegneria, inverter, e componenti elettrici) - 237.972 €

Il costo totale degli impianti è stato di quasi 500.000 €.

SOLAR OFFICE DOXFORD INTERNATIONAL – Sunderland, Gran Bretagna

Tipologia dell'edificio	Commerciale
Tipologia dell'intervento	BIPV
Annodi realizzazione	1998



Vista dell'edificio

Descrizione del progetto e del contesto

Il Solar Office si trova a Sunderland nel nord-est dell'Inghilterra e ospita al suo interno gli uffici della Domainnames.com, una società di commercio via internet. L'edificio è caratterizzato da una facciata, quella principale, completamente fotovoltaica che costituisce una tra le più grandi mai realizzate in Europa; essa, con una lunghezza pari a 66 metri, ha un'inclinazione di 60° rispetto al terreno che gli assicura la massima esposizione alla radiazione solare.

Considerazioni climatiche del sito

Latitudine:	55° nord
Longitudine	1°4' est
Altitudine	30 m.s.l.m.
Tipo di clima	Zona Temperata (Temp. media annuale 11 °C)
Ore di luce solare	Media annuale 230 ore

Aspetti tecnici

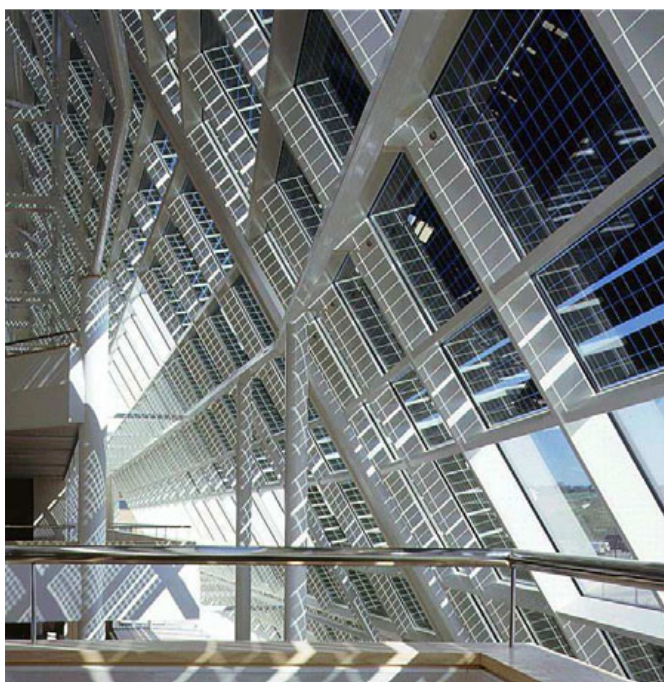
Il curtain wall fotovoltaico installato in facciata è stato progettato tenendo in considerazione le esigenze di rendimento energetico, di integrazione architettonica e di bilancio in funzione dei finanziamenti europei; sulla base di queste considerazioni si è dimensionato un impianto con una superficie pari a 650 m² con una potenza totale di 73,1 kW.

Oltre ai fattori suindicati, per la realizzazione della facciata si è dovuto tenere conto anche della protezione degli ambienti interni dal

surriscaldamento, della necessità di garantire a questi ultimi una buona illuminazione naturale e veduta dell'esterno, di assicurare un adeguato isolamento termico e di nascondere cablaggi e



Vista laterale della facciata fotovoltaica



Vista dall'interno al primo livello



Vista dall'interno al piano terra

scatole di giunzione. Il risultato raggiunto è stata una facciata inclinata che include delle fasce orizzontali di vetro trasparente e pannelli fotovoltaici - in silicio policristallino - semitrasparenti e semiopachi che



La stringa PV in costruzione

calibrano l'ingresso della luce naturale.

Sono stati utilizzati nove tipi diversi di moduli, diversi per dimensione e forma ma tutti di forma rettangolare tranne quelli intorno all'ingresso che sono trapezoidali.

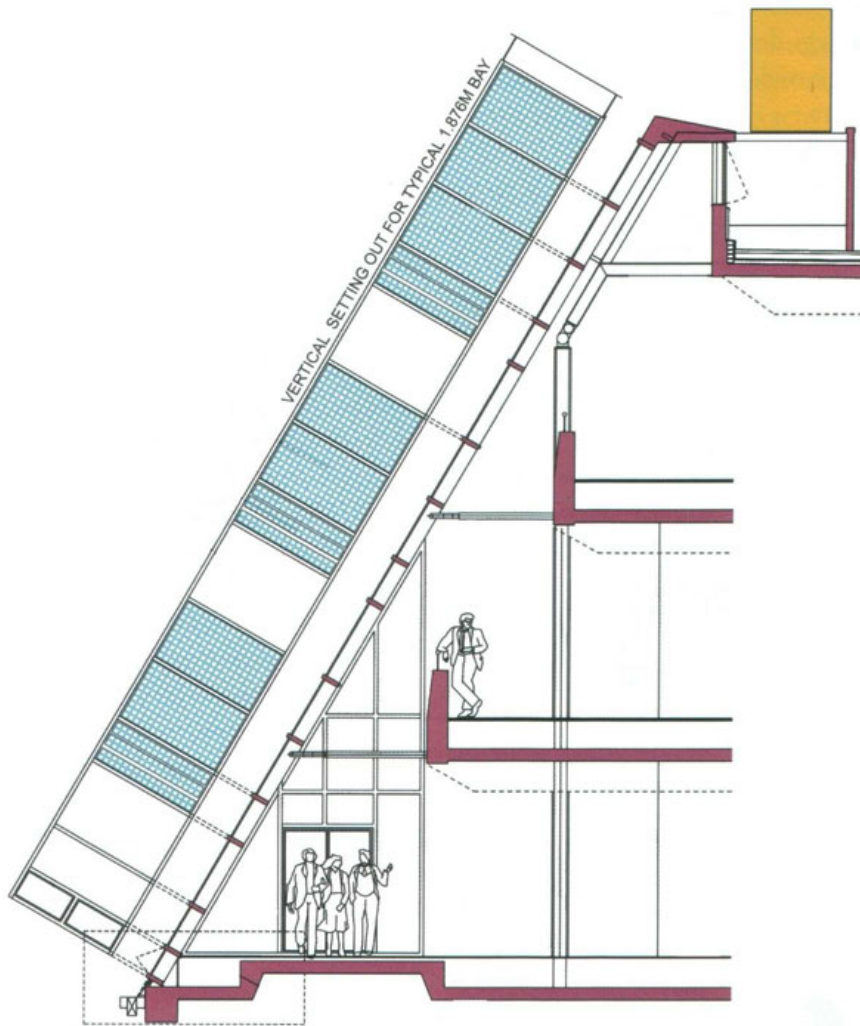
Nella concezione dell'edificio l'obiettivo principale è stato dimostrare la possibilità di integrare con successo un'imponente installazione fotovoltaica combinata con accurate strategie per il risparmio energetico, con apprezzabili risultati dal

punto di vista architettonico.

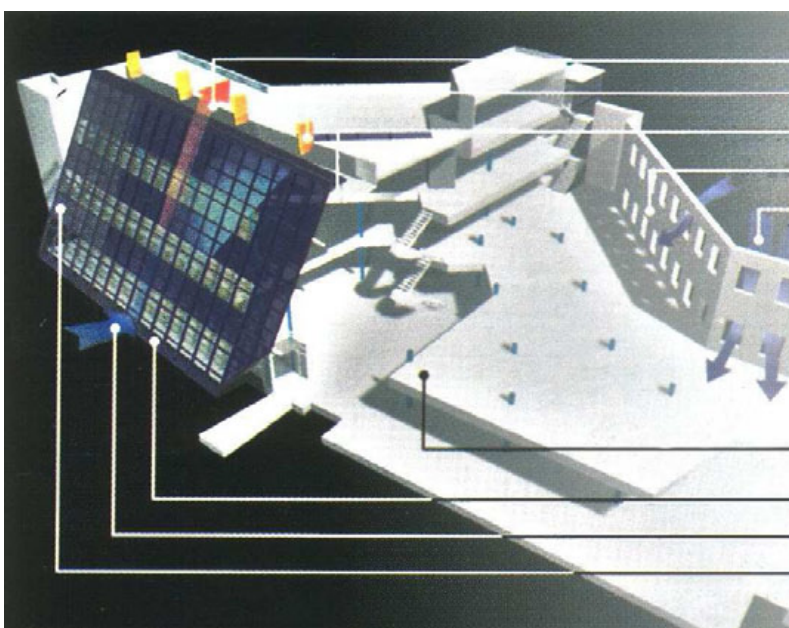
L'impianto fotovoltaico ha una potenza totale installata pari a 73 kW, ed è in grado di produrre 55.100 kWh di energia elettrica all'anno, che rappresentano una percentuale dei consumi globali dell'edificio compresa tra il 25% e il 35%.

In estate, quando il sistema FV produce più dell'energia necessaria all'edificio, il surplus viene immesso nella rete di distribuzione nazionale.

Il costo del solo sistema PV - coperto attraverso fondi pubblici e privati - si aggira intorno ai 757.000 €, circa 161 €/m² della superficie complessiva della facciata.



Sezione dettagliata della facciata solare e di una fascia di pannelli in proiezione ortogonale



Ventilazione naturale

Sistema per la captazione del vento

Aperture controllate manualmente per la ventilazione

Aperture automatizzate per la ventilazione della facciata solare

Sistemi fotovoltaici integrati in facciata

Spaccato che illustra le caratteristiche energetiche dell'edificio

Considerazioni Economiche e Energetiche

Per quanto riguarda i costi dell'impianto - compresa la struttura di protezione, le luci apribili, il vetro trasparente, il cablaggio, le scatole di giunzione, gli inverter, l'apparecchiatura di monitoraggio e i lavori nell'entrata principale e nell'anticamera - essi sono risultati pari a circa 1.530.000 €. Questo equivale ad un costo di circa 322 €/m² per la superficie complessiva dell'edificio, e a circa 1610 €/m² per la facciata fotovoltaica. Il costo del solo sistema fotovoltaico si aggira intorno ai 757.000 €, circa 161 €/m² della superficie complessiva della facciata.

Per quanto concerne il rendimento dell'impianto, esso si aggira intorno ai 55,2 kWh/anno con un'efficienza (rendimento/irraggiamento) totale del sistema pari a 10.5 %

NEUBAU FRAUNHOFER ISE – Friburgo, Germania

Tipologia dell'edificio Uffici e laboratori

Tipologia dell'intervento Retrofit

Anno di realizzazione 1999



Vista del fronte dell'edificio

Descrizione del progetto e del contesto

L'edificio, che ospita laboratori, officine e uffici ha una struttura a pettine con uno sviluppo prevalente lungo l'asse nord-sud.

Nel blocco di ingresso a sud si trovano l'amministrazione e i servizi centrali, mentre i laboratori e le officine sono ubicati sul lato ovest. La struttura a pettine è stata scelta proprio per garantire l'esposizione degli uffici a sud.

Considerazioni climatiche del sito

Latitudine 48° nord

Longitudine 7° est

Altitudine	5 m.s.l.m.
Tipo di clima	Clima europeo continentale
Ore di luce solare	Media annuale 4 ore al giorno

Aspetti tecnici

Il complesso del sistema è stato progettato per coprire tutto il fabbisogno di energia elettrica del complesso. A tal scopo, è stato esplicitamente richiesto l'impiego esemplificativo nell'edificio di varie tecniche di integrazione architettonica dei sistemi fotovoltaici, però limitazioni di bilancio hanno ridotto la quantità di potenza installata.

Sostanzialmente possono individuarsi nell'edificio quattro tipi diversi di integrazione dei sistemi fotovoltaici, per un totale di potenza installata pari



Sottosistemi fotovoltaici

a 21 kW, più una serie di pannelli solari termici.

I sottosistemi fotovoltaici sono collocati in facciata, sul tratto di accesso denominato "Magistrale" e sulla facciata esposta a meridione dell'ala sud, e in copertura, in lucernai e in stringhe inclinate sull'ala sud e

l'ala centrale.

Nella tratto di ingresso definito "Magistrale" è stata realizzata una facciata fotovoltaica semi-trasparente, con 6 moduli da 394 W, integrati in pannelli di vetro termoisolante, per 2,4 kW di potenza totale. I moduli dovevano adattarsi alle soluzioni architettoniche adottate dal progetto, e dovevano perciò avere dimensioni di 2,70 m x 1,70 m.

Lo schema elettrico dei moduli è stato pensato per ridurre al minimo del perdite dovute all'ombreggiatura della parte inferiore, dovuta agli alberi e a un edificio a sud del centro.

Per la copertura dell'ala sud e l'ala centrale, sono state realizzate due stringhe da 4,5 e 4,8 W, con moduli da 100 W in silicio policristallino (45 nell'ala sud e 48 in quella centrale). I moduli sono semplicemente installati in copertura e inclinati a sud per la migliore esposizione.



Vista della facciata PV sulla facciata sud



Vista della copertura PV sull'ala centrale

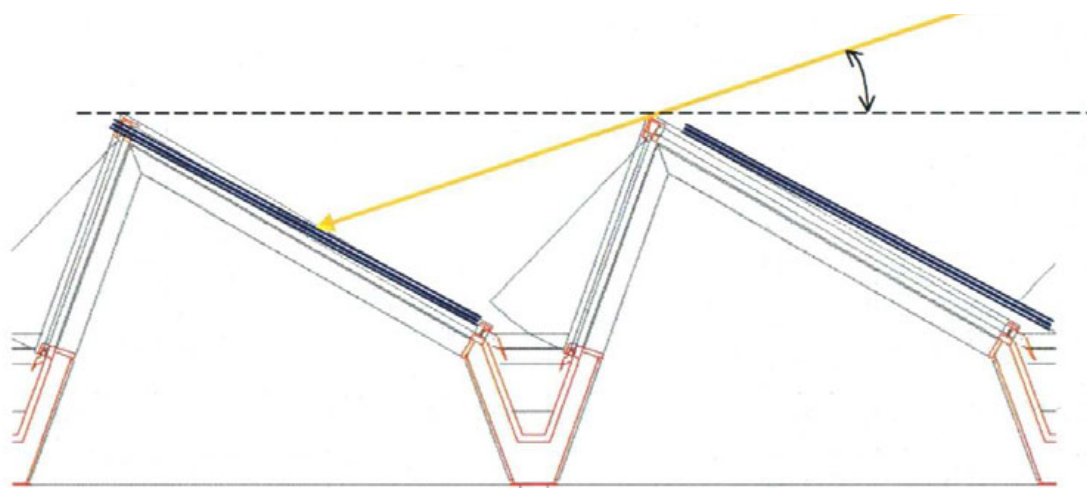


Vista della copertura dentellata dall'interno dell'edificio

La copertura a profilo dentellato è realizzata con lucernai fotovoltaici, nei quali sono integrati i moduli PV sulle superfici esposte a sud, mentre su quelle esposte a nord sono stati lasciati spazi vetrati in modo da far entrare tutta la luce.

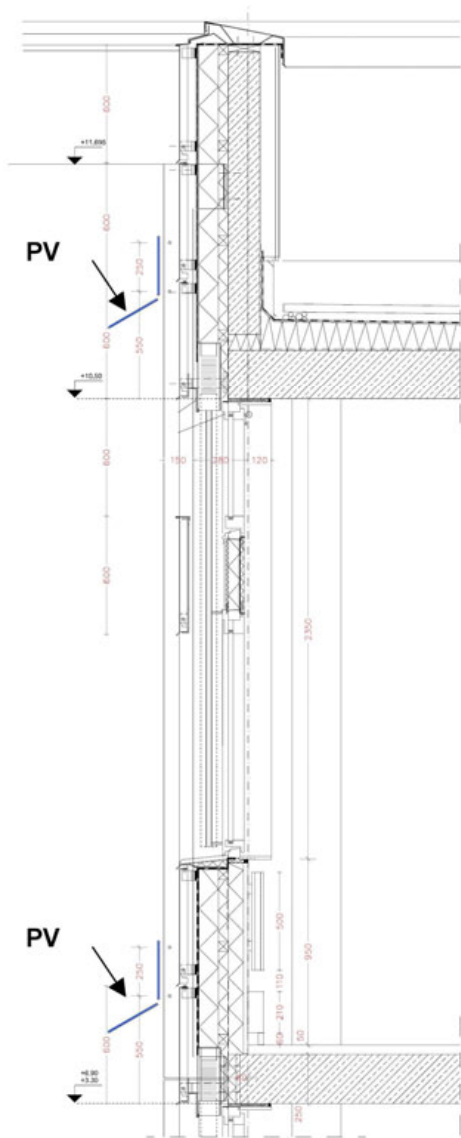
Sono stati installati complessivamente 69 moduli da 72 W ciascuno, con celle da 125x125 mm, per una potenza complessiva di 5 kW.

I moduli sono a loro volta integrati in pannelli di vetro termoisolante. Anche in questo caso lo schema elettrico è stato progettato per ridurre al minimo le perdite dovute a effetti di ombreggiatura, comunque presenti durante la stagione invernale a causa del fatto che le tettoie si fanno ombra a vicenda.



Dettaglio della copertura dentellata e dell'ombreggiatura nel solstizio invernale

Sulla facciata dell'ala sud i moduli sono stati integrati in tre stringhe collocate sopra le aperture, costituite ciascuna da una fila di 11 pannelli paralleli alla parete e 11 inclinati di circa 30° rispetto all'orizzontale. I moduli, da 59 W, sono stati realizzati appositamente in silicio policristallino, per una potenza totale di 3,9 kW.



Vista della facciata PV nell'ala sud



Vista delle pensiline FV nel dettaglio costruttivo (a sinistra) e nella foto (in alto)

Considerazioni Economiche e Energetiche

All'interno dell'edificio è disponibile una discreta quantità di calore di smaltimento, perciò la necessità di riscaldamento risulta inferiore del 30% rispetto quella prevista dalle normative edilizie. Il raffreddamento è ottenuto a mezzo di un dispositivo di scambio di calore con il terreno e dalla ventilazione notturna.

La pianta a forma di pettine è stata adottata per ottimizzare l'illuminazione diurna e le temperature estive, per poter sfruttare l'energia solare passiva, e per minimizzare l'ombreggiatura, e di conseguenza massimizzare il rendimento del sistema PV.

Sottosistemi Fotovoltaici				
	Montaggio	Potenza moduli	Numero moduli	Potenza totale
Facciata tratto d'accesso	Vetri termoisol.	394 W	6	2,4 kW
Copertura a profilo dentellato	Vetri termoisol.	72 W	69	5,0 kW
Facciata ala sud	Elem. verticali e inclinati	59 W	66	3,9 kW
Copertura ala sud	Copertura orizzontale	100 W	45	4,5 kW
Copertura ala centrale	Copertura piatta	100 W	48	4,8 kW
Totale potenza installata	21 kW			

Come già sottolineato, la produzione di energia elettrica del sistema fotovoltaico, riesce a coprire i consumi di elettricità dovuti all'illuminazione artificiale dell'edificio. Il costo del progetto si aggira intorno ai 350.000 €.

MONT-CENIS ACADEMY – Herne, Germania

Tipologia dell'edificio Pubblico/Commerciale

Tipologia dell'intervento BIPV

Anno di realizzazione 1999



Vista del fronte principale dell'edificio

Descrizione del progetto e del contesto

Sorto su uno spazio che era un tempo sede delle miniere del Mont-Cenis, situato su un piccolo rilievo, l'edificio è costituito da un grande involucro vetrato, di 176 metri di lunghezza, 72 metri di larghezza e 15 metri di altezza, che ospita al suo interno diversi edifici per svariate funzioni: aule per seminari, sale da riunione, alloggi, un ristorante, una biblioteca una sala civica e ambienti destinati allo svago.

Considerazioni climatiche del sito

Latitudine: 51°32' nord

Longitudine 12°28' est

Altitudine	153 m.s.l.m.
Tipo di clima	Clima umido mite (Temp. media annuale 9,6 °C)
Ore di luce solare	Media annuale 3.98 ore al giorno

Aspetti tecnici

L'obiettivo principale del progetto era creare all'interno della calotta un microclima temperato, attraverso sofisticati sistemi di ventilazione e riscaldamento che riducono considerevolmente i consumi energetici.

Il progetto si avvale inoltre di svariati strumenti per preservare e migliorare le qualità ambientali, come la decontaminazione del suolo, la raccolta e il riciclo dell'acqua piovana, la raccolta e il riutilizzo del gas che esce dalle vecchie miniere per il riscaldamento urbano, l'impiego di

materiali edili ecologici, la produzione di energia solare passiva tramite l'involucro, di energia solare termica per la produzione di acqua calda e



Vista della copertura FV

infine di energia elettrica attraverso i pannelli fotovoltaici installati in copertura.

Dei 20.640 m² di vetro impiegati per la realizzazione dell'involucro, ben 10.533 m² sono dotati di celle fotovoltaiche.

La copertura ospita 2.900 moduli fotovoltaici da 3,36 m² ciascuno, per un totale di 9.744 m².

Ai pannelli in copertura si aggiungono quelli installati in facciata; ulteriori 284 moduli da 2,78 m² che portano a 3.184 i moduli impiegati complessivamente nell'edificio.

I moduli fotovoltaici sono stati utilizzati come elementi costruttivi integralmente multifunzionali e sono in grado di fornire, allo stesso tempo, ombra, luce diurna ed energia elettrica. I pannelli in copertura sono orientati verso sud e hanno un'inclinazione di 5° sull'orizzontale; quelli in facciata sono verticali e orientati a ovest.

In copertura, celle e moduli, sono stati disposti in modo da creare disegni che danno l'idea del cielo attraversato da nuvole; le celle sono maggiormente concentrate in corrispondenza degli edifici mentre gli spazi sopra i corridoi e tra gli edifici sono principalmente vetrati.

Per variare gli effetti della luce all'interno dell'edificio sono stati utilizzati sei diversi tipi di pannelli fotovoltaici, con celle solari a diverse densità e



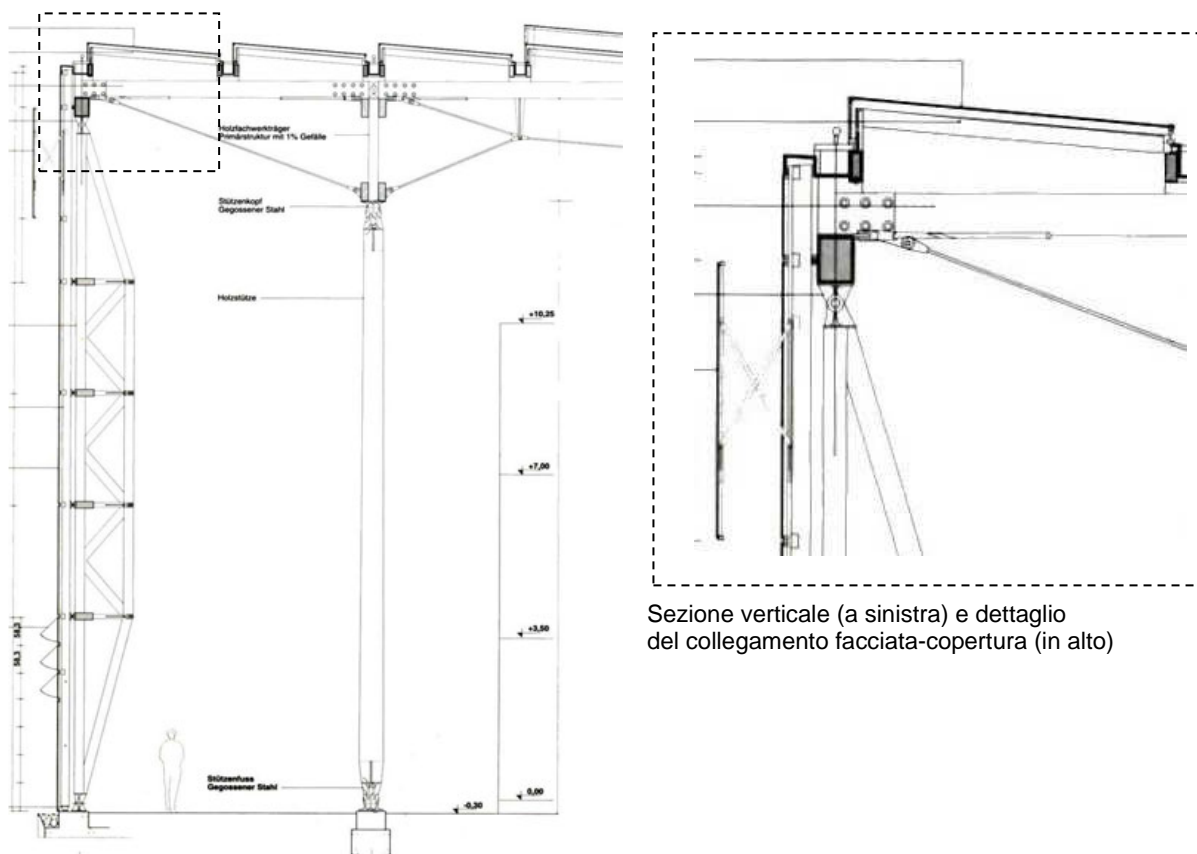
Vista degli ambienti interni

vetri con vari gradi di trasparenza. I moduli hanno un numero di celle variabile tra 128 a 260, per rendimenti compresi tra 250 e 419 W di potenza. Sopra gli edifici le celle hanno una densità dell'86 % e sopra le zone di passaggio la densità scende al 58%.



Vista dall'interno della copertura PV

Sulla facciata ovest il 30% della superficie vetrata è occupato da moduli fotovoltaici. L'intero impianto è governato da un inverter a stringa, messo a punto appositamente per questo edificio, che ha permesso di ottimizzarne l'efficienza.



Sezione verticale (a sinistra) e dettaglio del collegamento facciata-copertura (in alto)

Considerazioni Economiche e Energetiche

Nell'edificio sono stati collocati pannelli fotovoltaici per un totale di 1.000 kW di potenza; di questi, 925 kW vengono dai moduli semitrasparenti montati in copertura e 75 kW da quelli in facciata.

Il costo complessivo del sistema fotovoltaico è stato di circa 8 milioni di €, compreso il progetto e l'installazione, e i costi di manutenzione stimati si aggirano intorno ai 15.000 € (8.000 € per kWh).

Costi del sistema BIPV		
Moduli solari	5.670.000 €	70.9%
Inverter	600.000 €	7.5%
Interruttori, Cavi, ecc	310.000 €	3.9%
Progetto e ingegneria	560.000 €	7.0%
Montaggio	860.000 €	10.8%
Totale	8.000.000 €	100.0%

UFFICI E OFFICINA USTRA - Hannover/Leinhausen, Germania

Tipologia dell'edificio Uffici e laboratori

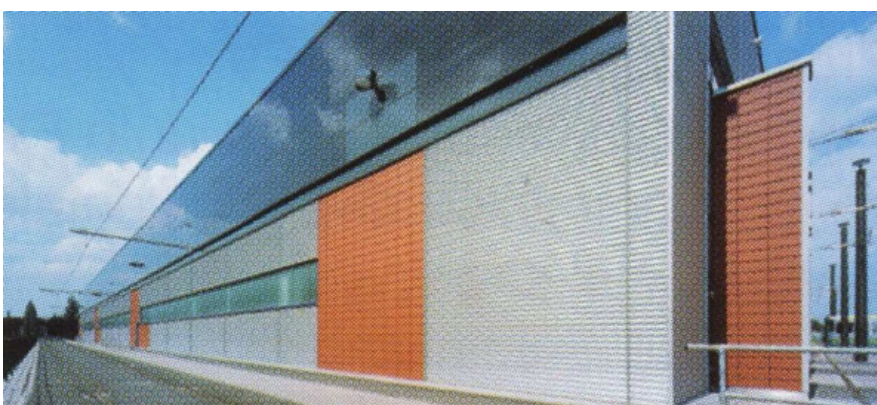
Tipologia dell'intervento BIPV

Anno di realizzazione 2000



Vista dell'edificio

L'edificio per uffici e officina Ustra viene costruito in occasione dell'EXPO del 2000 con lo scopo di garantire un servizio a tutte le auto che andavano a visitare e prestare servizio di supporto tecnico ai diversi mezzi a motore utilizzati nell'area. L'edificio è stato concepito già dal principio come fortemente ecologico grazie all'utilizzo di tecnologie solari fotovoltaiche per una potenza pari a 93,5 kWp. I pannelli sono stati installati nella copertura a shed e in facciata attraverso un'integrazione totale dei moduli costituiti da celle in monocristallino.



Vista laterale della facciata fotovoltaica

In copertura i pannelli sono leggermente distanziati tra loro per consentire il passaggio della luce naturale nel lato sud dello shed, mentre

sul lato nord sono presenti campi trasparenti che garantiscono una buona illuminazione dell'ambiente interno.

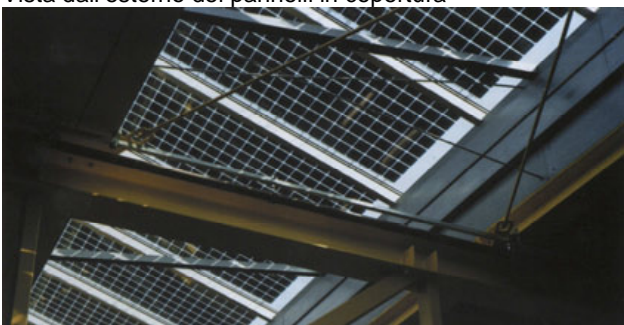


Accostamento dei diversi materiali

La struttura degli shed è rialzata rispetto al livello della copertura in modo che il parapetto della terrazza non ombreggi mai i pannelli fotovoltaici. In facciata l'integrazione è stata realizzata attraverso un lungo curtain wall fotovoltaico - che si sviluppa per tutta la lunghezza del prospetto e per metà dell'altezza dell'edificio - avente una potenza pari a 30,6 kWp. I prospetti dell'edificio sono caratterizzati, oltre che dalla cortina fotovoltaica, da diversi materiali da rivestimento particolari quali il cotto e l'alluminio stampato, che si alternano tra loro creando un gradevole effetto cromatico.



Vista dall'esterno dei pannelli in copertura



Vista dei pannelli fv in copertura dall'interno

SEDE ZOLLERN ALB KURIER – Albstadt, Germania - 2003

Tipologia dell'edificio Uffici

Tipologia dell'intervento BIPV

Anno di realizzazione 2003



Viste dell'edificio

La sede dell'editoriale Zöllern Alb Kurier, si trova nella cittadina di Albstad, vicino a Francoforte, in Germania. Concepito ex novo l'edificio presenta una facciata principale vetrata, esposta a sud, schermata da un sistema di frangisole. Tale sistema

è costituito da lamelle fotovoltaiche in silicio policristallino opportunamente distanziate tra di loro in modo da consentire l'ingresso della luce naturale all'interno degli uffici; tali lamelle, inoltre, hanno un'inclinazione fissa che evita fenomeni di ombreggiamento consentendo la migliore captazione della radiazione solare e quindi un alto rendimento dell'impianto.

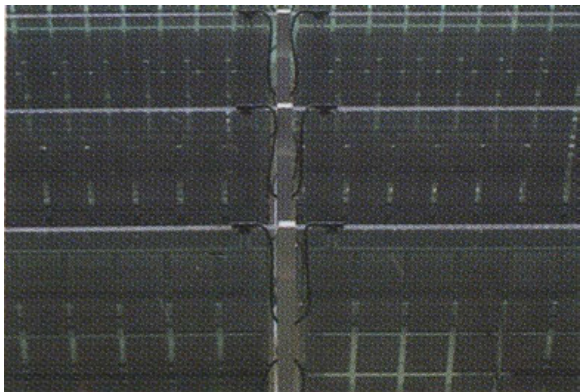
Il sistema fotovoltaico è formato da 80 moduli suddivisi in 8 sottosistemi ad ognuno dei quali fa capo un inverter. Il telaio di sostegno, realizzato in profili in alluminio, sostiene oltre che i pannelli fotovoltaici, anche dei



frangisole in vetro satinato disposti a fasce doppie in corrispondenza dei marcapiano dell'edificio.



Dettagli del sistema frangisole



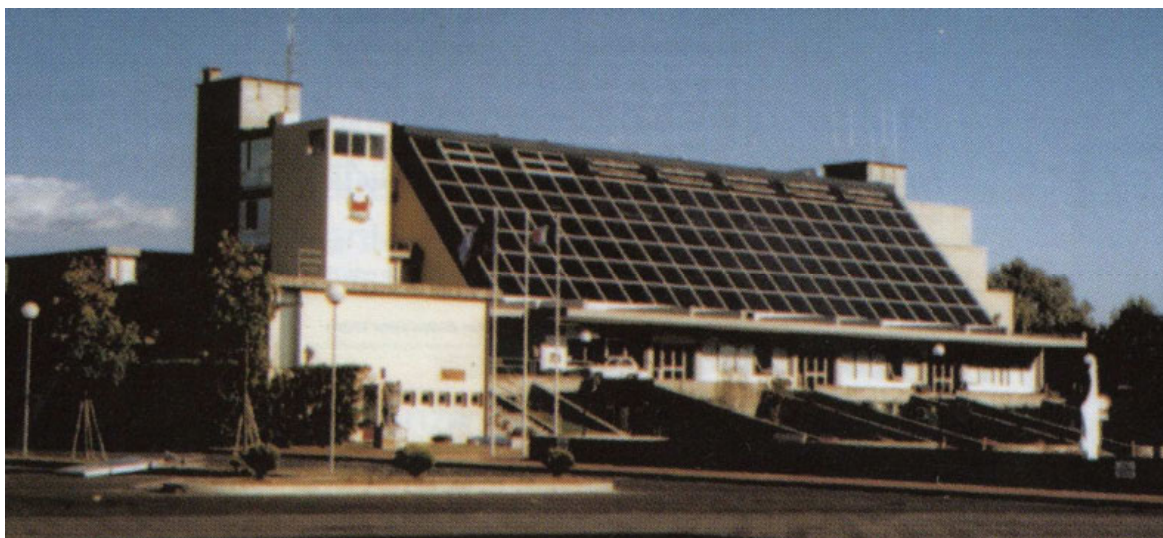
Vista del frangisole fv dal basso

EDIFICIO COMUNALE – Capannoni, Lucca

Tipologia dell'edificio Uffici

Tipologia dell'intervento BIPV

Anno di realizzazione 2002

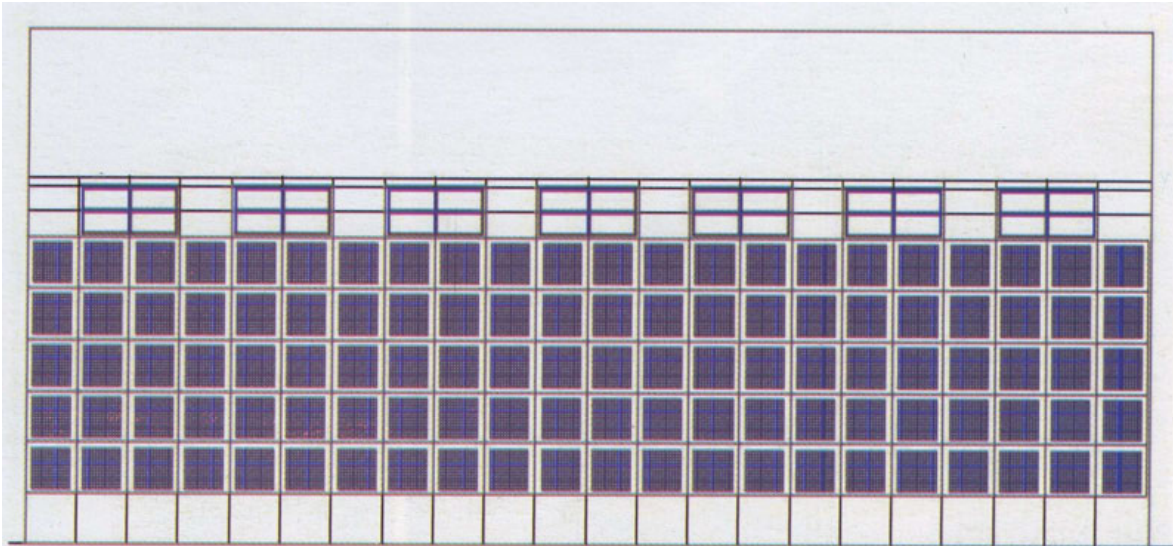


Vista dell'edificio

L'edificio sede del Comune di Capannoni è situato nella città omonima in provincia di Lucca; esso si presenta come un edificio piuttosto compatto con una pianta piuttosto regolare e una facciata, quella rivolta a sud, inclinata e totalmente vetrata.

Grazie all'orientamento del complesso si è deciso, in fase progettuale, di sfruttare l'esposizione a sud-ovest della facciata principale, per realizzare un imponente curtain wall fotovoltaico inclinato di 40°. L'integrazione dei moduli fotovoltaici è totale in facciata e costituisce un tipico esempio di BIPV con, oltremodo, un rendimento decisamente alto.

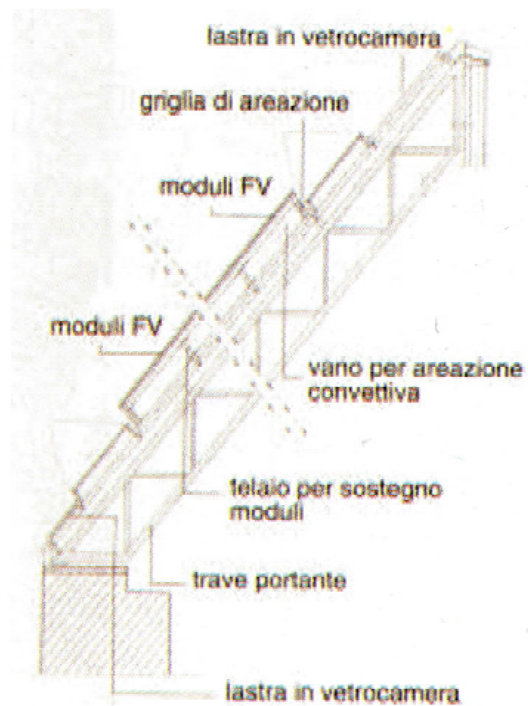
La presenza del sistema fotovoltaico con pannelli disposti sulla facciata vetrata inclinata, favorisce inoltre, durante il periodo estivo l'innescarsi di moti convettivi che facilitano l'espulsione dell'aria calda dalle finestre poste in alto. Durante il periodo invernale, invece, il surriscaldamento delle celle aumenta la temperatura interna all'atrio sottostante su cui si affacciano gli uffici.



Schema di sistemazione dei moduli



Vista interna della facciata fv



Sezione verticale della facciata

Il sistema prevede l'installazione di un impianto di 26,4kW di picco per una superficie complessiva di 300 mq. Quando il sistema FV genera elettricità, esso si riscalda, è come già anticipato sopra, tale calore viene recuperato ed utilizzato in inverno per riscaldare gli ambienti interni, invece in estate per favorire la ventilazione naturale mediante effetto camino attraverso le aperture poste nella parte alta della facciata.

La struttura, costituita in cemento armato, assicura una buona massa termica in grado di influenzare positivamente la temperatura interna. L'impianto integrato nella facciata verrà realizzato con moduli semitrasparenti in silicio policristallino Solarwatt per una potenza totale pari a 26,4 kWp.

TSUKUBA OSL LABORATORY BUILDING – Tokyo, Giappone

Tipologia dell'edificio Istituto per la ricerca

Tipologia dell'intervento BIPV

Anno di realizzazione 2001



Vista dell'edificio

Descrizione del progetto e del contesto

Il Tsukuba OSL si trova a Tokyo nel Tsukuba Research City, un grande centro di ricerca sulla scienza e la tecnologia industriale che ospita numerosi ricercatori e visitatori da ogni parte del mondo.

L'edificio è caratterizzato dalla presenza di due imponenti installazioni fotovoltaiche collocate, la prima, sulla facciata sud, dove le celle fotovoltaiche rotonde sono collocate in una parete di vetro strutturale con rinforzi metallici e cavi di sostegno; la seconda, sul lucernaio alla sommità dell'atrio centrale.

Considerazioni climatiche del sito

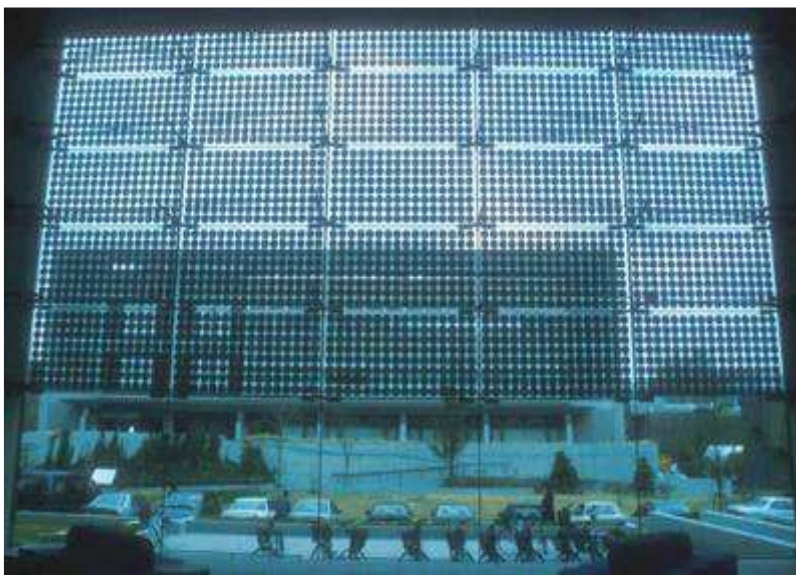
Latitudine: 31°6' nord

Longitudine 140° est

Altitudine	120 m.s.l.m.
Tipo di clima	Zona Temperata (Temp. media annuale 16.2 °C)
Ore di luce solare	Media annuale 4.96 ore al giorno

Aspetti tecnici

Il sistema fotovoltaico integrato, come già accennato, è collocato in due parti diverse dell'edificio: le celle rotonde sono installate in una parete di vetro strutturale con rinforzi metallici e cavi di sostegno, sulla facciata sud dell'atrio dell'edificio,



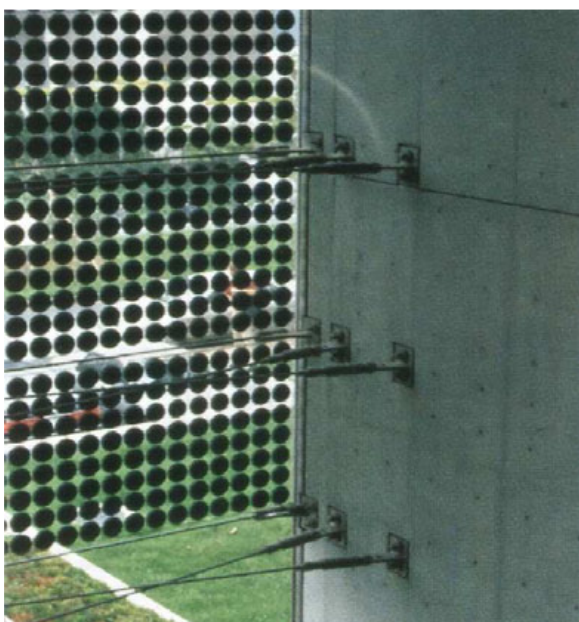
Veduta dall'esterno dell'interno, attraverso la parete FV

dell'atrio dell'edificio, mentre sul lucernaio alla sommità dell'atrio centrale sono installate le celle di silicio amorfo.

La parete in vetro strutturale, sostenuta da cavi in acciaio, oltre che generare energia, funge da schermatura opaca alle radiazioni

solari.

Un problema fondamentale del progetto era sin dall'inizio come nascondere nel modo migliore, in facciata, il cablaggio di ogni modulo. Si doveva stabilire se fosse stato meglio orientare, e di conseguenza nascondere, i cablaggi, facendoli passare in verticale o in orizzontale. Dopo aver confrontato i rendimenti energetici della facciata corrispondenti alle due soluzioni



Dettaglio della soluzione di ancoraggio della parete fotovoltaica

ipotizzate, si decise di realizzare un cablaggio verticale, in quanto comportava un guadagno del rendimento annuale pari al 2%.

Per la parete sono state utilizzate celle rotonde in silicio monocristallino, raggruppate in 25 moduli per un totale di 7,2 kW.

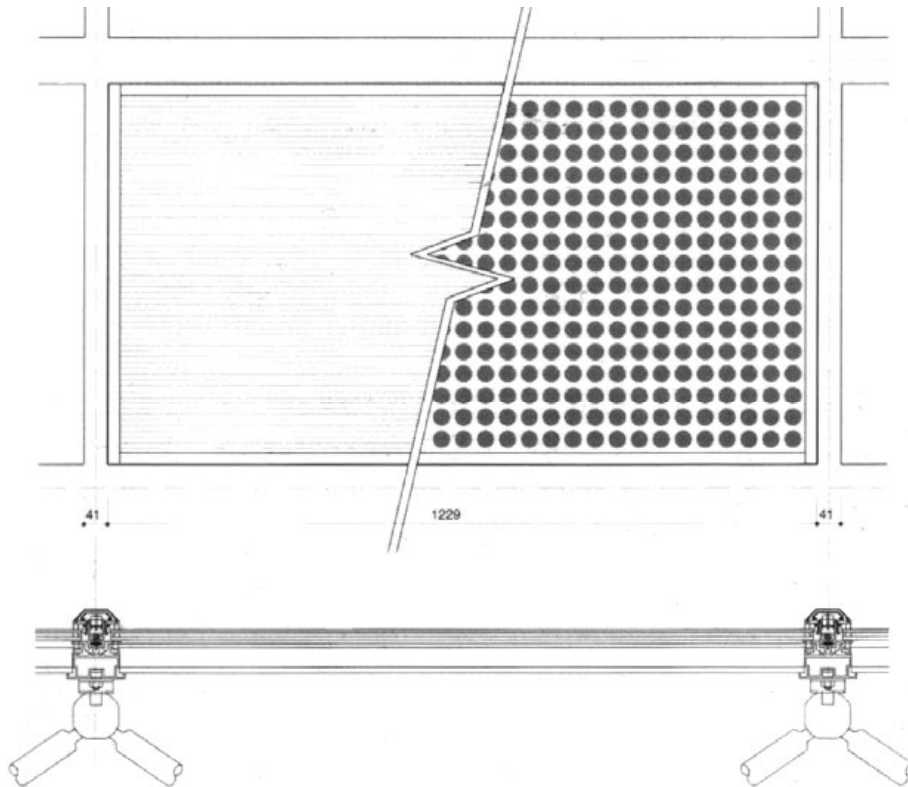
moduli per un totale di 7,2 kW.

Per il lucernaio, invece, sono stati scelti pannelli clima a doppio vetro (per evitare fenomeni di condensa nel periodo invernale) con celle rotonde in silicio amorfo per una potenza totale pari a 2,0 kW. Nei 60 moduli che compongono il lucernaio, da 0,8 m² ciascuno, le celle sono state disposte in modo da conferire alla superficie una trasparenza del 30%.

La potenza totale installata sul lucernaio è di 2,0 kW.

Nell'edificio è stata inoltre realizzata, in alto in corrispondenza dell'ingresso, una pensilina fotovoltaica in silicio monocristallino con 12 moduli di dimensioni ridotte (125 mm x 125 mm) da 107 W, ciascuno in grado di produrre 1,3 kW; quindi la potenza totale installata nel Tsukuba Building ammonta a 10,5 kW.

L'utilizzo di una facciata in vetro strutturale che incorpora celle fotovoltaiche rotonde, rende il progetto del Tsukuba unico nel suo genere; la cella rotonda va così a caratterizzare la facciata fotovoltaica, che a sua volta configura architettonicamente l'organismo edilizio conferendoli una sua specifica identità agli occhi sia del visitatore sia del fruitore dell'edificio.



Dettaglio del lucernaio PV a doppio vetro alla sommità dell'atrio

Considerazioni Economiche e Energetiche

La potenza totale installata nel Tsukuba Building ammonta a 10,5 kW ripartiti secondo la seguente tabella:

Componenti e prestazioni elettriche				
Sistemi fotovoltaici	Moduli		Silicio	Potenza
	Dimensione	Prestazioni		
Parete	(25) 2676 x 1360	287 W	Monocristall.	7,2 kW
Pensiline	(12) 125 x 125	107 W	Monocristall.	1,3 kW
Lucernaio	(60) 1229 x 657	34 W	Amorfo	2,0 kW
Totale				10,5 kW

NTT Do Co Mo Tokyo Building - Tokyo, Giappone

Tipologia dell'edificio	Uffici
Tipologia dell'intervento	BIPV
Anno di realizzazione	2000



Viste dell'edificio

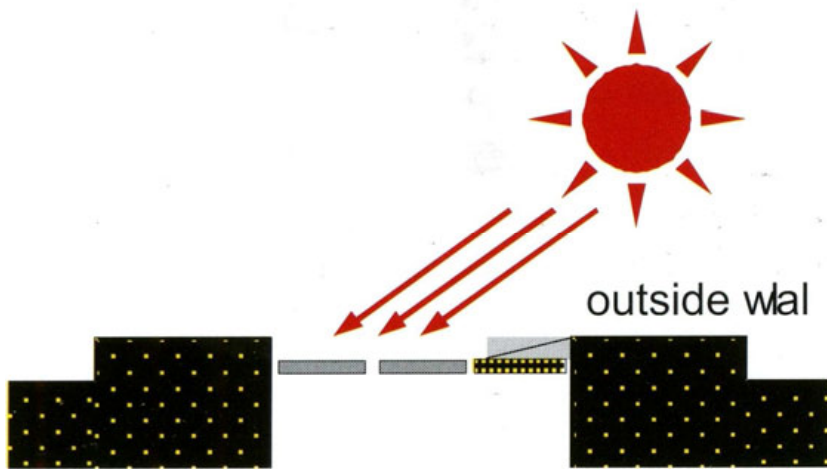
L'NTT Building, sede della compagnia NTT DoCoMo (NTT Mobile Communications Network Inc.), è situato in un'area commerciale in uno dei 23 quartieri speciali di Tokyo, ovvero Shinjuku, importantissimo nodo del trasporto urbano.

L'edificio presenta una tipologia a torre con un'altezza pari a 240 metri per 27 piani; sulla facciata rivolta a sud nell'edificio è stato installato, attraverso un'integrazione totale nelle finestrate, un sistema fotovoltaico costituito da pannelli disposti a nastro per 150 metri lungo l'altezza del grattacielo. In condizioni normali, il sistema fotovoltaico viene utilizzato per alimentare l'ampio display sulla torre pubblicitaria. In caso di blackout, invece, alimenta in modalità stand-by il sistema telefonico di emergenza.

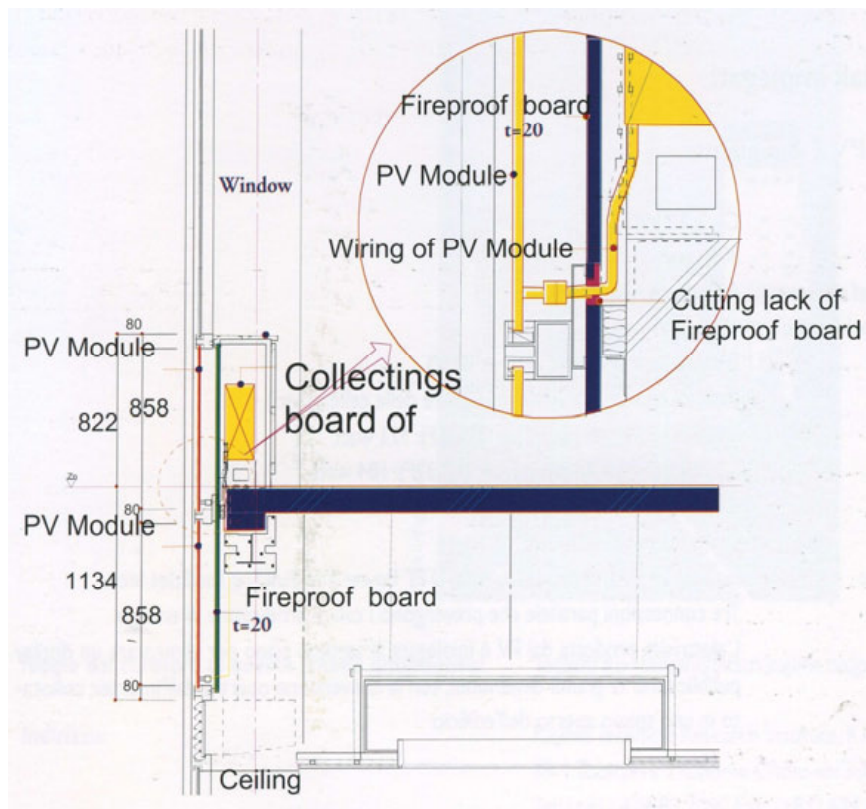
Il profilo scalettato di questo grattacielo ha imposto un'attenzione particolare a problemi come quello della parziale ombreggiatura o quello dell'eccezionale lunghezza dei cavi, al fine di evitare una possibile

riduzione di potenza; inoltre, dovendo l'impianto rispettare le norme antincendio, i moduli sono stati montati su un pannello non combustibile concepito come componente indipendente della parete.

L'idea di integrare in facciata un sistema fotovoltaico si presentò un anno dopo l'inizio della fase di progettazione, e necessitò di ben sei mesi di lavoro nei quali si decise di sostituire tutte le finestre trasparenti con campi fotovoltaici semitrasparenti.



Schema di collocazione dei moduli rispetto al filo della facciata



Schema dei collegamenti dell'impianto

Da un punto di vista tecnico si è optato per celle di silicio grigio policristallino, per favorire l'accostamento con il rivestimento di pietra dell'edificio. Tra tutti i pannelli fv, alcuni sono finti, realizzati quindi in normale vetro, per evitare inutili perdite di efficienza dovute a fenomeni di ombreggiamento.

I moduli fotovoltaici sono stati portati in cantiere in contenitori di legno appositamente realizzati e riciclabili. In questo modo il materiale di imballaggio da destinare a rifiuto è stato ridotto al minimo.

Inoltre, a causa della notevole lunghezza dei cavi, era essenziale ridurre le perdite di voltaggio in senso verticale. Questo problema è stato risolto avvolgendo i cavi nelle apposite scatole di derivazione installate ogni quattro piani e collegandoli a cavi più grossi.

Purtroppo, ve detto che alcune modifiche al progetto dell'edificio hanno determinato una parziale ombreggiatura dei moduli fotovoltaici. L'ombra viene proiettata al mattino sul lato est dei pannelli e di pomeriggio sul lato ovest. Poiché il rendimento complessivo di un pannello convenzionale diminuisce significativamente quando il modulo stesso risulta anche solo parzialmente in ombra, ogni modulo dell'installazione è stato diviso, per quanto riguarda l'impianto elettrico, in tre parti, e si è realizzato un collegamento in serie per le celle che occupano la stessa posizione in senso verticale, riducendo così gli effetti dell'ombreggiatura.

I risultati di una simulazione al computer hanno mostrato che questa configurazione del cablaggio è in grado di garantire un incremento di produttività energetica pari al 70 per cento.

V Progetto

1 Laboratori di laurea

Nell'ambito di laboratori di tesi sono state portate avanti diverse proposte progettuali riguardanti l'integrazione del fotovoltaico nell'organismo edilizio.

In tutti i casi analizzati si è proceduto per "step" successivi partendo da una descrizione generale dell'oggetto dell'intervento e arrivando in concreto alla descrizione dell'intervento vero e proprio, come di seguito illustrato:

- descrizione dell'edificio e del contesto
- considerazioni preliminari e obiettivi del progetto
- descrizione del progetto

1.1 Ex scuola materna, Comune di Tonara (Nu)

- Descrizione dell'edificio e del contesto

L'edificio oggetto della proposta progettuale di integrazione architettonica di un sistema fotovoltaico, è stato realizzato dalla Curia intorno ai primi anni 50.

Inizialmente è stato utilizzato come seminario, ma dopo pochi anni la Chiesa lo destinò ad asilo nido, passando la gestione alle suore.

Tale rimase fino alla metà degli anni '70, quando, a causa di difficoltà gestionali, la Chiesa cedette la proprietà dell'edificio al Comune di Tonara, che ne mantenne la destinazione d'uso.



Vista del fronte dell'ex scuola materna

L'edificio continuò quindi ad essere utilizzato come scuola materna fino alla prima metà degli anni novanta, quando questa fu trasferita nei vicini locali della scuola elementare. L'edificio fu oggetto di alcune operazioni di restauro e in seguito il comune lo diede in gestione ad associazioni culturali.

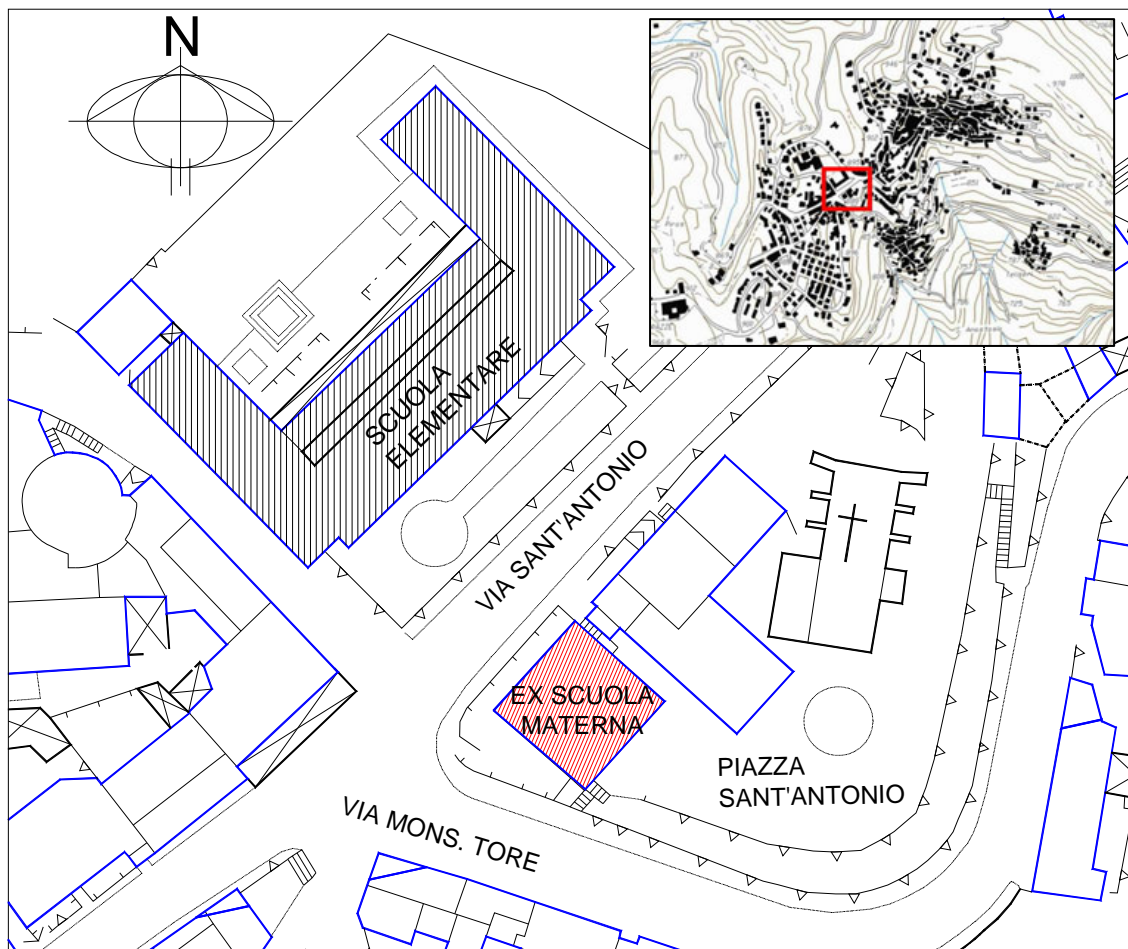
Attualmente i locali dell'ex-scuola materna sono utilizzati saltuariamente dall'Associazione Culturale "Peppinu Mereu", dal Coro polifonico femminile e dal comune, che negli ampi spazi del piano terra, allestisce, in concomitanza con manifestazioni ed eventi culturali, mostre ed esposizioni.

Per quanto riguarda l'aspetto costruttivo, l'edificio è realizzato in muratura portante costituita da blocchi semilavorati in trachite legati con calce viva; le chiusure orizzontali sono state realizzate tramite solai laterocementizi, utilizzando il calcestruzzo che in quegli anni iniziava ad

essere utilizzato a Tonara.

L'edificio si trova al centro del paese, nell'incrocio di confluenza delle principali vie di comunicazione interne, nei pressi del quale si trova anche la Scuola Elementare.

Il fronte dell'edificio prospetta sulla Via Monsignor Tore, principale via del paese e tratto della Strada Statale 295 che, congiungendo la Strada Statale Centrale Sarda 128 Con Aritzo e Belvì, attraversa completamente il centro abitato.



Inquadramento planimetrico dell'edificio

- Considerazioni preliminari e obiettivi del progetto

L'obiettivo principale della presente proposta progettuale è innanzitutto la promozione dell'utilizzo dell'energia solare come valida alternativa alle tradizionali forme di energia, in funzione di un nuovo modello di sviluppo sostenibile basato sulla progressiva riduzione della dipendenza dalle fonti non rinnovabili e sul rispetto della vita e dell'ambiente.

Si è cercato di perseguire questo obiettivo approfondendo le tematiche legate all'integrazione architettonica dei sistemi fotovoltaici, in particolare in un contesto rurale, come quello del comune di Tonara, nel quale non sono sicuramente visibili i tratti caratteristici dell'architettura contemporanea nelle sue varie forme.

Si è deciso di optare per un'integrazione in facciata, per caratterizzare maggiormente l'aspetto architettonico della proposta progettuale, e, a causa della scarsa penetrazione dell'architettura contemporanea nel contesto in questione, si è cercato di attenuare, per quanto possibile, l'impatto di una struttura inevitabilmente e marcatamente high-tech come una facciata fotovoltaica.

A tal scopo si è voluto proporre una struttura formalmente semplice e lineare realizzata con materiali legati, storicamente e culturalmente, al contesto dell'intervento. Il materiale che meglio ha risposto a queste esigenze è stato il legno, particolarmente adatto alla realizzazione di strutture intelaiate e fortemente legato da sempre all'economia, alle arti e ai mestieri tonaresi.



Il legno nelle costruzioni tonaresi



Per quello che riguarda gli aspetti prettamente tecnici ed energetici della proposta progettuale, bisogna sottolineare che la scelta dell'edificio non è casuale, ma legata, oltre che alla collocazione strategica dello stesso sulla via principale del paese, alla sua esposizione al sole.

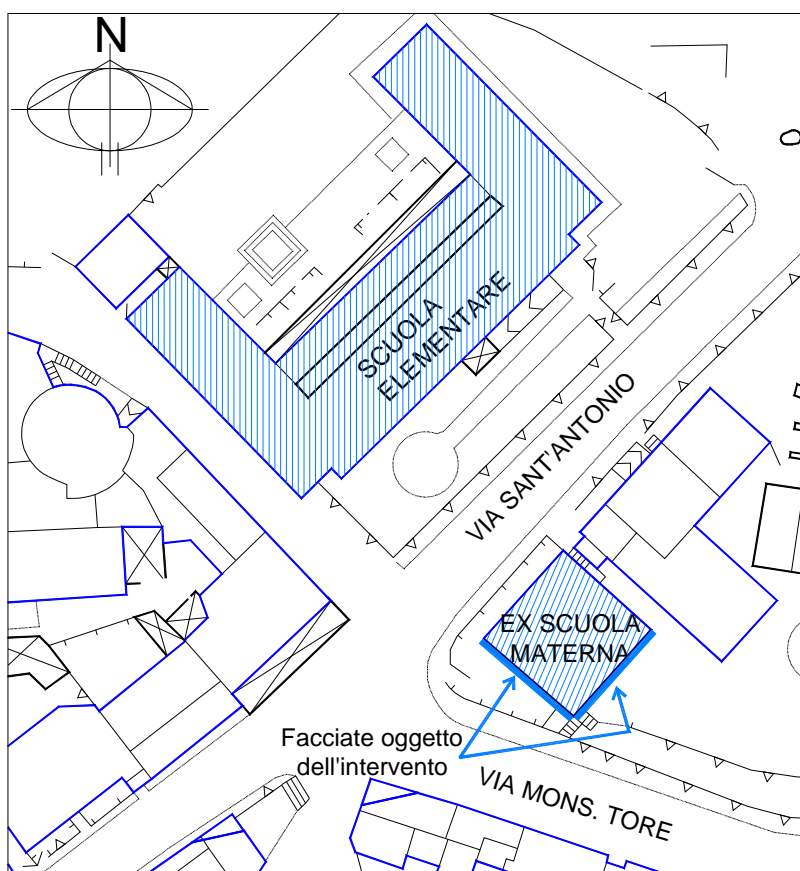
L'edificio infatti presenta due facciate, quella principale e una laterale,

esposte rispettivamente a sud-ovest e a sud-est, con scarsissimo ombreggiamento, avendo ampi spazi sgombri davanti ad esse. Questo ha consentito di ottenere alti valori di rendimento della facciata fotovoltaica, più bassi dei valori massimi ottenibili di appena il 10%.

L'impianto fotovoltaico in facciata è stato progettato affinché generasse energia sufficiente a coprire i consumi di energia elettrica dell'ex scuola materna e della Scuola Elementare, collocata nelle sue vicinanze.

Inoltre si è stabilito di connettere l'impianto alla rete in modo da

sfruttare il Conto Energia; questo permetterebbe al comune, quale possibile finanziatore del progetto, di rientrare nei costi di realizzazione nel più breve tempo possibile, per poi comunque continuare a beneficiare dei proventi dell'incentivo, una volta ammortizzate le spese.



- Descrizione del progetto

L'intervento di integrazione architettonica è di tipo retrofit, in quanto avviene su un edificio già realizzato; esso si realizza attraverso la creazione di una seconda facciata sui fronti dell'edificio esposti, in maniera pressoché simmetrica, a sud-ovest e a sud-est.

La nuova facciata è costituita da una struttura in legno ancorata in maniera puntuale alle pareti dell'edificio, nella quale trovano collocazione i

pannelli fotovoltaici. L'interasse degli elementi verticali della struttura di sostegno è stato dettato dal ritmo dell'edificio.

La struttura è distanziata di 65 cm dal fronte dell'edificio per consentire la creazione di due camminamenti, uno per piano, che permettano le ordinarie operazioni di manutenzione e di pulizia dei pannelli.

A terra la facciata si completa attraverso una pensilina che copre lo spazio antistante l'ingresso principale e sopra la quale sono stati collocati altri pannelli fotovoltaici; la pensilina è inclinata di circa 15° rispetto all'orizzontale e il suo profilo segue la forma della piccola piazza ai piedi dell'edificio

La facciata fotovoltaica si collega alla copertura dell'edificio in maniera tale da chiudere gli spazi che si sarebbero venuti a creare tra l'ultima stringa di pannelli e la linea di gronda; questo grazie all'inserimento di un profilato metallico che completa la grondaia.

Inoltre la struttura lignea prosegue a terra anche sulla facciata orientata a nord-ovest e non interessata dalla schermatura fotovoltaica, in modo da dare continuità al sistema struttura-edificio e da creare un camminamento che si ricollega sul fronte alla pensilina coperta d'ingresso.

In facciata i pannelli fotovoltaici sono disposti orizzontalmente a lamelle, distanziati in maniera tale da consentire una sufficiente penetrazione della luce negli ambienti interni dell'edificio.

La maggior parte delle lamelle fotovoltaiche della facciata è costituita da pannelli opachi che schermano completamente l'edificio dalla radiazione solare, mentre quelli collocati in corrispondenza delle aperture vetrate dell'edificio sono semitrasparenti e lasciano quindi filtrare parte della luce incidente sulla loro superficie.

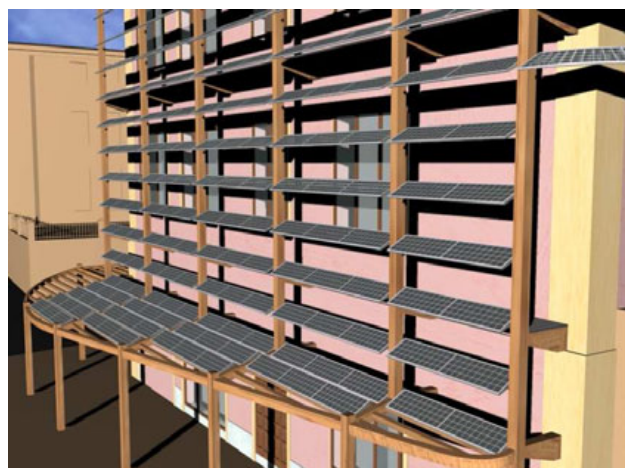
Questa soluzione presenta un duplice vantaggio: da una parte scherma l'edificio durante la stagione estiva, quando l'angolo di incidenza dei raggi solari è maggiore, riducendo in tal modo il surriscaldamento degli ambienti interni; dall'altra permette durante la stagione invernale, quando i raggi solari arrivano con un'inclinazione minore, di schermare il meno possibile l'edificio e permettere al contempo l'ingresso della luce e del calore.

Per ridurre i costi totali del sistema fotovoltaico si è cercato di limitare il numero dei pannelli e delle tipologie utilizzate; si è cercato inoltre di ricorrere a tipologie standard cercando di ridurre il numero di quelle invece non standardizzate, che si sarebbero dovute realizzare appositamente, con un conseguente rilevante aumento dei costi.

Per la facciata, in sintesi, sono state utilizzate quattro tipologie diverse di pannelli: le prime due, una opaca e una semitrasparente, costituenti insieme circa l'80% della superficie fotovoltaica totale della facciata, sono composte da tre moduli, per una lunghezza complessiva di 3,20 m; la terza è costituita da due moduli per una lunghezza di poco più di 2 m; infine per la quarta è stato utilizzato un pannello curvo, lungo circa 3,20 m, che si configura come elemento di raccordo tra la facciata esposta a sud ovest e quella esposta a sud-est.



Vista dell'edificio da sud-ovest (a sinistra) e sud-est (a destra)



Vista frontale della facciata principale (a sinistra) e della pensilina (a destra)

1.2 Complesso del Favero a Cagliari

- Descrizione dell'edificio e del contesto

Il progetto d'intervento riguarda un complesso esistente di edifici di edilizia economica e popolare sito nel quartiere di Sant'Elia a Cagliari; il cosiddetto complesso "Del Favero". Il Favero nasce a metà degli anni '70, seguendo l'idea delle megastrutture, sulla scia delle ipotesi di Le Corbusier,



come complesso residenziale costituito da diversi volumi e completato da una piastra bidimensionale basamentale che doveva dare continuità fisica agli edifici e ospitare i servizi necessari. I volumi sono quattordici a pianta rettangolare e modulare, disposti secondo una maglia ortogonale in modo da formare delle corti semiaperte, con un numero di piani oltre la parte basamentale che varia da tre a nove, per un totale di 265 alloggi che ospitano circa 1360 abitanti. Gli elementi di collegamento verticali sono posti all'incrocio fra i volumi e servono i ballatoi, i quali a loro volta fungono per l'ingresso agli alloggi di tre piani. Ogni ballatoio è quindi disposto al secondo, quinto e ottavo piano a seconda dell'elevazione in verticale del volume in questione e andrà conseguentemente a servire i tre piani ad esso adiacenti.

- Considerazioni preliminari e obiettivi del progetto

In seguito a questa breve descrizione del complesso, la proposta progettuale nasce dall'evidente degrado dei prospetti degli edifici, per i quali oltre alla necessità di una manutenzione degli stessi si andrà ad

operare un restyling dell'immagine urbana del nostro complesso, proponendo una doppia pelle ad involucro continuo, costituito, per i prospetti opportunamente orientati da moduli fotovoltaici e vetri termocromici, mentre per gli altri prospetti semplici moduli vetriati policromi e moduli vetriati termotropici. La proposta di restyling dell'immagine urbana del complesso si propone di dissolvere l'aspetto pesante, cupo e monotono che odiernamente presenta il complesso. Date le grandi dimensioni e la collocazione all'interno del tessuto cittadino "il Favero" risulta chiaramente visibile da terra, da mare o dall'alto, conseguentemente lo studio di una nuova immagine tiene conto di questi presupposti senza tralasciare che anche chi vi abita o vive da vicino il complesso dovrà poter godere della nuova immagine da e per la città.

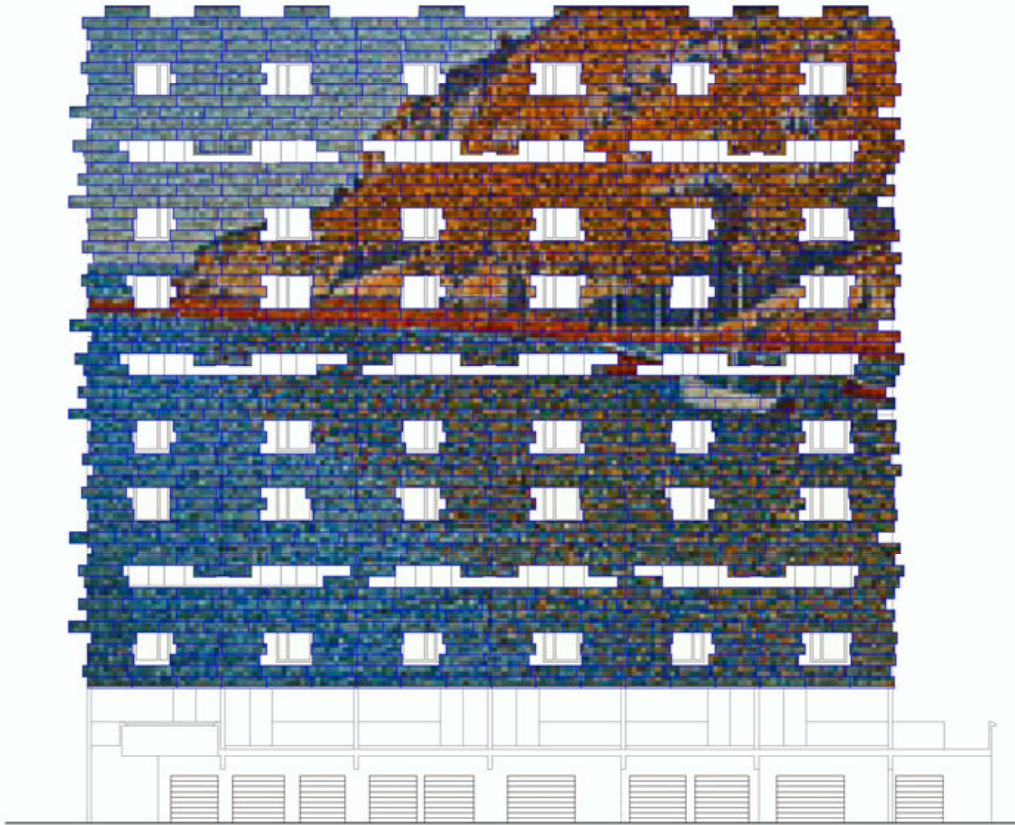


Inquadramento dell'area in cui si colloca l'intervento

- Descrizione del progetto

Il principio cardine di elaborazione della nuova immagine per i diversi prospetti è il puntinismo: attraverso la tecnica di accostamento di colori diversi tra loro, disposti per punti in maniera tale da ottenere una somma

di luce e colore che trova risultato in una percezione visiva dell'immagine armonica ed equilibrata. Concretamente tale percezione si otterrà man mano che cresce la distanza dell'osservatore dall'edificio, mentre in vicinanza allo stesso si avrà una visione multicolore e allegra rispetto a quella che oggi si presenta come un grigiore cementizio assoluto.



Risultato dell'integrazione fotovoltaica

Lo studio di fattibilità tecnica della doppia pelle per i nostri edifici parte dall'analisi dell'orientamento delle facciate principali e dalla disponibilità di superfici opache opportunamente irradiate dal sole. Per quanto concerne l'integrazione del fotovoltaico ho preso in considerazione i prospetti esposti a sud est (situazione ottimale) e sud ovest. Attraverso una simulazione al computer, date le coordinate di latitudine, longitudine e azimuth, ho potuto stimare la superficie utile disponibile, le ore di irradiazione solare su ogni singolo prospetto e le ombre proprie dei diversi volumi ricadenti sui prospetti stessi. Quindi a fronte di una superficie utile disponibile di circa 4100mq per le facciate esposte a sud est e 3600mq a sud ovest, il passo successivo è stato studiare le potenzialità del

fotovoltaico dal punto di vista più prettamente tecnico. In generale un progettista può scegliere una vasta gamma di soluzioni adattabili alle specifiche situazioni, quali: tipo, forma e colore della cella; disegno e colore della griglia metallica della cella; misure materiali e forma del modulo; distanza tra le celle; sfondo della cella. Al fine di effettuare le giuste scelte fra le diverse soluzioni ho fatto prima di tutto un dimensionamento di massima del nostro impianto fotovoltaico. Considerando che ogni alloggio del complesso Del Favero ospita una famiglia media di cinque persone si stima un consumo medio annuo di 4000Kwh/a/fam., quindi complessivamente il fabbisogno medio totale di energia elettrica del complesso (265 alloggi) è pari a 1060000Kwh/a. A questo punto consultate le tavole del PV.GIS dell' atlante della commissione europea si desume che l'insolazione media annua per superfici inclinate di 30° nella città di Cagliari consente di generare elettricità pari a circa 1450 Kwh/Kwp. Detto questo dimensioniamo il nostro impianto con la seguente formula:

Stabilita la dimensione del nostro impianto la superficie netta per la realizzazione dello stesso dipende dalle specifiche tecniche dei moduli fotovoltaici che sceglieremo. La scelta dei diversi moduli è in primo luogo quella di mostrare le potenzialità architettoniche e di design del fotovoltaico allo stato tecnologico attuale. Ci si è quindi posti, per quanto riguarda il calcolo della superficie netta, nelle diverse condizioni limite, ossia considerando la nostra pelle come composta completamente o da moduli di solo silicio monocristallino, o solo silicio policristallino, o ancora solo silicio amorfo.

Per il primo caso (silicio monocristallino) il modulo commerciale scelto presenta un'efficienza pari a circa 195 W/mq per cui: Sanyo "HIP - 200 BE 11

$$\frac{731000 \text{ W}}{195 \text{ W/mq}} = 3750 \text{ mq}$$

Per il secondo caso (silicio policristallino) il modulo commerciale scelto

presenta un'efficienza pari a circa 185 W/mq per cui:
S.E. Project "SEM 300-300M"

$$\frac{731000 \text{ W}}{185 \text{ W/mq}} = 3952 \text{ mq}$$

Per il terzo caso limite (silicio amorfo) il modulo commerciale scelto presenta un'efficienza pari a circa 73 W/mq per cui:
UNISOLAR "ES -124 T"

$$\frac{731000 \text{ W}}{73 \text{ W/mq}} = 10000 \text{ mq}$$

In seguito ai risultati ottenuti, che presentano quindi un range che va da 3750 a 10000 mq, a fronte di una superficie utile disponibile di 7700 mq, abbiamo scelto moduli composti costituiti principalmente da silicio policristallino con celle policrome. Al diminuire dell'efficienza delle stesse celle al variare dei colori siamo comunque sicuri di poter garantire il fabbisogno necessario stimato in precedenza, pari a 731 KWp.

Possiamo concludere che il nostro impianto, seppur a fronte di un cospicuo investimento iniziale, raggiunge pienamente tutti gli obiettivi prefissati siano essi di tipo tecnico, economico e soprattutto essendo realizzabile di risanamento dell'immagine urbana del complesso Del Favero.

2 Progettazione

Quest'ultima sezione della tesi è dedicata alle due proposte progettuali portate avanti nell'ambito del dottorato e della libera professione. Le proposte, che hanno avuto sorti diverse, riguardano casi di integrazione su edifici comunali; la prima, relativa ad un edificio comunale sito a Cagliari, è rimasta sulla carta, in quanto, per mancanza di fondi non è stato realizzato; la seconda, invece, relativa ad un edificio comunale sito a Villa San Pietro in provincia di Cagliari, verrà realizzata grazie al bando regionale per il cofinanziamento di impianti solari integrati nelle strutture e nelle componenti edilizie, art. 15, comma 7, L.R. 29.5.2007, n. 2.

La progettazione dell'impianto di Villa San Pietro è stata molto stimolante perché ha consentito di interagire direttamente con la realtà dei fatti soprattutto per quanto riguarda i rapporti con i fornitori e con il GSE.

Ora di seguito analizziamo nel dettaglio i due casi di studio.

2.1 Integrazione in elementi di frangisole: edificio comunale a Cagliari



- Descrizione dell'edificio

La presente proposta di integrazione riguarda l'edificio comunale di via Nazario Sauro a Cagliari che ospita gli uffici tecnici del settore edilizia privata della città.

L'edificio, presenta una configurazione planimetrica a L irregolare con diversi corpi che si compenetrano e che emergono a diverse quote l'uno rispetto all'altro; come si evince dalle immagini, l'immobile ha subito, alla fine degli anni novanta, un importante restyling che ne ha modificato i connotati.

L'intervento ha trasformato tutti i prospetti che sono stati rivestiti con materiale lapideo (biancone di Orosei), ad eccezione di uno, quello principale che, per gran parte vetrato, è stato valorizzato attraverso una configurazione intelaiata modulare.

L'edificio in oggetto è stato scelto sia per la particolare configurazione dei prospetti, che ben si prestano ad un integrazione con il fotovoltaico, sia per l'esposizione ottimale della sua facciata principale, ovvero sud-est.



Vista dell'edificio prima e dopo la ristrutturazione del 1999

- Dati Climatici

Località: Cagliari

Latitudine: 39° 13' 0'' N

Longitudine: 9° 7' 0'' E

H (s.l.m.): 6 m

Gradi Giorno: 990

Zona climatica: C

Estate

temperatura esterna = 32°C

temperatura ambiente = 26°C

Inverno

temperatura esterna = 3°C

temperatura ambiente = 20°C

- Dati edificio

Categoria dell'edificio: E2

Superficie : mq 1400

Volume: mc 26656

Orientamento: sud/est

Inclinazione: $\beta=30^\circ$

Azimut $\gamma= - 45^\circ$

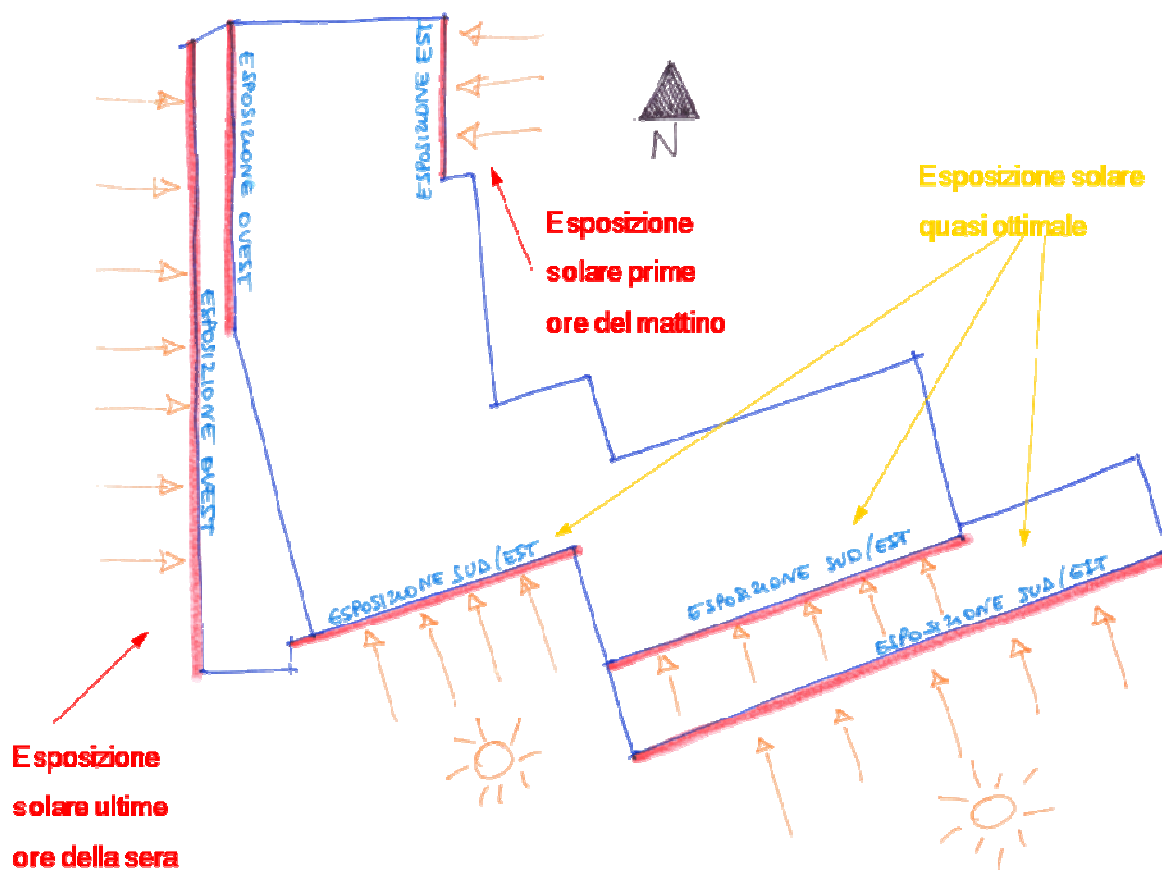
- Descrizione del progetto

Il progetto parte intanto da una accurata analisi dell'orientamento delle facciate, utile per capire su quale di esse fosse stato più conveniente operare.

Attraverso l'uso di programmi di simulazione delle ombre nelle varie ore del giorno durante tutto l'anno è derivato il seguente specchietto:

ESPOSIZIONE SOLARE

Facciata sud-est	esposizione quasi ottimale
Facciata est	esposizione solo prime ore del mattino
Facciata ovest	esposizione solo ultime ore della sera



Schizzo di studio sull'esposizione dell'edificio

Sulla base di queste considerazioni si è scelto un tipo di intervento che potesse utilizzare il sistema fotovoltaico nelle facciate esposte a sud-est e un sistema non fotovoltaico, ma analogo, per le altre.

Tenendo conto, infatti, che l'edificio è per gran parte vetrato e quindi

molto dispendioso da un punto di vista energetico, si è pensato ad un intervento retrofit a lamelle frangisole che limita l'apporto solare nella stagione estiva riducendo così il surriscaldamento all'interno dell'edificio.

Sul fronte sud-est i brise soleil saranno costituiti da lamelle fotovoltaiche mentre sugli altri fronti avremo semplici lamelle metalliche.



Vista delle facciate esposte a sud-est

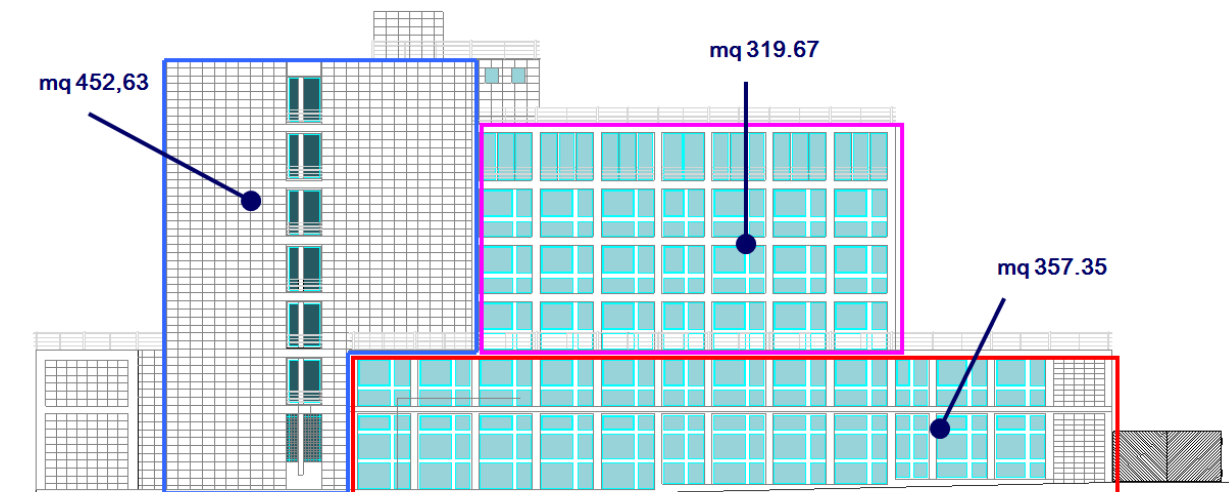
- Dimensionamento e aspetti economici

Partendo dai consumi energetici dell'edificio comunale si è passati al dimensionamento dell'impianto sulla base della superficie utile a disposizione, ovvero 1130 mq comprendente i tre "campi" aventi esposizione ottimale

Considerando che un impianto da 1 kWp produce alle nostre latitudini circa 1450 kWh/a e che i consumi annui dell'edificio sono pari a 615.020 kWh, ricaviamo la potenza da installare:

$$615.020 \text{ kWh} / 1.450 \text{ kWh/kWp} = 424,152 \text{ kWp}$$

MESE	CONSUMO (KWh)	IMPORTO (Euro)
ago-05	50.025	4.923,05
set-05	49.220	5.434,06
ott-05	40.725	4.548,10
nov-05	45.465	5.462,38
dic-05	60.442	6.805,32
gen-06	67.141*	7.541,84*
feb-06	52.648	6.410,46
mar-06	50.894	5.903,03
apr-06	31.761	3.449,86
mag-06	43.858	5.257,23
giu-06	52.005	6.819,50
lug-06	70.836*	10.144,16*
Totale	615.020	72.698,99



Individuazione dei campi con esposizione ottimale

La scelta dei moduli si è orientata verso i Sanyo HIP 210 NHE aventi una resa pari a 225 Wp/m^2 , che necessitano di una superficie pari a:
 $424.152 \text{ Wp} / 225 \text{ Wp/m}^2 = 1885 \text{ m}^2$ (superficie fotovoltaica)

Avendo a disposizione 1130 m^2 di superficie riusciremmo a produrre
 $1130 \text{ m}^2 \times 225 \text{ Wp/m}^2 = 254.250 \text{ Wp} = 254,250 \text{ kWp}$

OVVERO:

$254,250 \text{ kWp} \times 1450 \text{ kWh/kWp} = 368.662,50 \text{ kWh}$

Con un risparmio sulla bolletta di $0,16\text{€} / \text{Kwh}$ annualmente verranno risparmiati:

$0,16 \text{ €} / \text{Kwh} \times 368.662,50 \text{ kWh} = 58986 \text{ €}$

A fronte di una spesa iniziale stimata pari a circa 450.000 € si prevede un tempo di ritorno della spesa iniziale di 8 anni.

- Tipologia di integrazione

Per quel che concerne la modalità di integrazione, come già accennato, si è optato per il retrofit proposto in due modalità diverse: una consiste nel realizzare un telaio di sostegno in materiale ligneo o metallico a supporto dei brise soleil fotovoltaici, a costituire un vero e proprio sistema di controfacciata; l'altro, invece, sfrutta la configurazione a telaio dei



Integrazione retrofit con telaio a vista



Integrazione retrofit senza telaio

prospetti per andare a "incastrare" - con opportuni dispositivi di ancoraggio - le lamelle direttamente tra i montanti della facciata. Caso a parte costituisce il corpo di sinistra avente una superficie in facciata pari a 452,63 mq che, ovviamente, necessiterà di un telaio di sostegno.

I due tipi di integrazione esposti si equivalgono sebbene sicuramente l'ultimo sia molto meno invasivo e impattante del primo. Nella stima dei costi si è considerato infatti l'ultimo, anche perché più conveniente sul piano economico.

2.2 Integrazione in copertura: palestra comunale a Villa San Pietro (Ca)

- Descrizione dell'edificio

La presente proposta di integrazione riguarda la realizzazione di una nuova copertura con integrato un impianto fotovoltaico a film sottile nella palestra comunale nel Comune di Villa San Pietro. Come già anticipato sopra il progetto verrà realizzata grazie al bando regionale per il cofinanziamento di impianti solari integrati nelle strutture e nelle componenti edilizie, art. 15, comma 7, L.R. 29.5.2007, n. 2.



Vista della palestra

Il complesso sportivo è ubicato nel centro urbano all'interno di un tassello che comprende anche un edificio religioso (chiesa parrocchiale).

Il fabbricato in questione è costituito da un corpo centrale adibito a palestra polifunzionale, e da n. 2 corpi laterali di dimensioni inferiori poste una sul prospetto nord (accesso principale per il pubblico) con n.2 vani scala sui lati, e una sul prospetto sud dove sono disposti gli accessi agli spogliatoi.

L'impianto fotovoltaico in oggetto servirà alla produzione di energia elettrica e quindi costituirà una fonte di risparmio nel tempo, anche in vista della futura adesione al conto energia.

- Stato attuale

Il fabbricato attuale è costituito da una palestra multifunzionale di forma rettangolare di dimensioni 23,20 m x 41,40 m con alcuni locali accessori tra i quali gli spogliatoi, i servizi igienici (differenziati per sesso) e uffici.

L'altezza interna media della palestra è di 10,69 metri.

Attualmente è in fase di realizzazione un nuovo corpo - in aderenza sul lato nord ovest della palestra - destinato ad attività polifunzionali di dimensioni 9,00 m x 15,00 m con un'altezza pari a 8,00 m. Le superfici vetrate del corpo in costruzione avranno una larghezza pari a 0,70 m per un'altezza complessiva di 7,65 m e saranno composte da 6 campi vetrati - dei quali quattro fissi e due apribili basculanti - ciascuno con un'altezza di 1,25 metri, mentre i telai saranno in alluminio.

Le finestre della palestra, di forma quadrata e dimensioni 100 x 100 cm, sono in alluminio delle quali una parte apribili a vasistas e una parte fisse .

Le finestre e gli ingressi dei locali accessori e della palestra sono in alluminio a norma ai sensi del D.Lgs 626/1994 e risultano protette all'esterno da inferriate antivandalismi.

- Obiettivi e linee progettuali

Come già anticipato il presente progetto comprende la realizzazione di una copertura metallica (si suppone una lega di zinco, rame e titanio), con moduli solari integrati, sull'edificio che ospita la palestra comunale.

Per quanto riguarda la superficie fotovoltaica questa occupa un'area totale pari a 195 mq. Ogni pannello è costituito da una lastra Rheinzink Solar FV (o similare) di dimensioni 2850 mm x 4000 mm con integrato un laminato fotovoltaico a tre strati in silicio amorfo della Uni-Solar, serie PVL-68 (di cui si allega scheda tecnica) di larghezza pari a 394 mm e spessore 4 mm. Oltre al sistema di cablaggi necessari per il passaggio della corrente elettrica, sarà presente un inverter modello Sunny Mini Central prodotto dalla SMA, particolarmente adatto per impianti a film sottile come quello in esame.

- Dati Tecnici

Tra i vari moduli presenti nel mercato sono stati scelti - per una serie di motivazioni connesse alla tipologia, all'efficienza e ai costi - quelli prodotti dalla RHEINZINK® Solar che rappresentano un ottimale connubio fra la produzione ecologica di energia elettrica e la composizione architettonica delle coperture aggraffate.

Al centro delle singole lastre RHEINZINK vengono incollati i pannelli solari Uni-Solar mediante un collante elastico strutturale 3M a due componenti, steso su tutta la superficie.

Tale collegamento, che crea una connessione stabile e duratura dei laminati con la lastra di supporto, si contraddistingue anche per un'elevata resistenza sia alle sollecitazioni meccaniche, sia all'umidità.

Pannelli fotovoltaici

Tipo di cellula: cellule solari a tre strati in silicio amorfo

Dimensioni:	430 mm x 4000 mm
Superficie coperta:	430x 3000 mm
Spessore metallo:	0,70 mm
Peso lastra:	11,838 kgP
Peso al mq:	9,177 kgP
Potenza nominale:	68 Wp± 10%
Tensione d'esercizio:	Vmp 16,5 V
Intensità nominale:	I MPP 3,88 A
Collegamento spina	MC

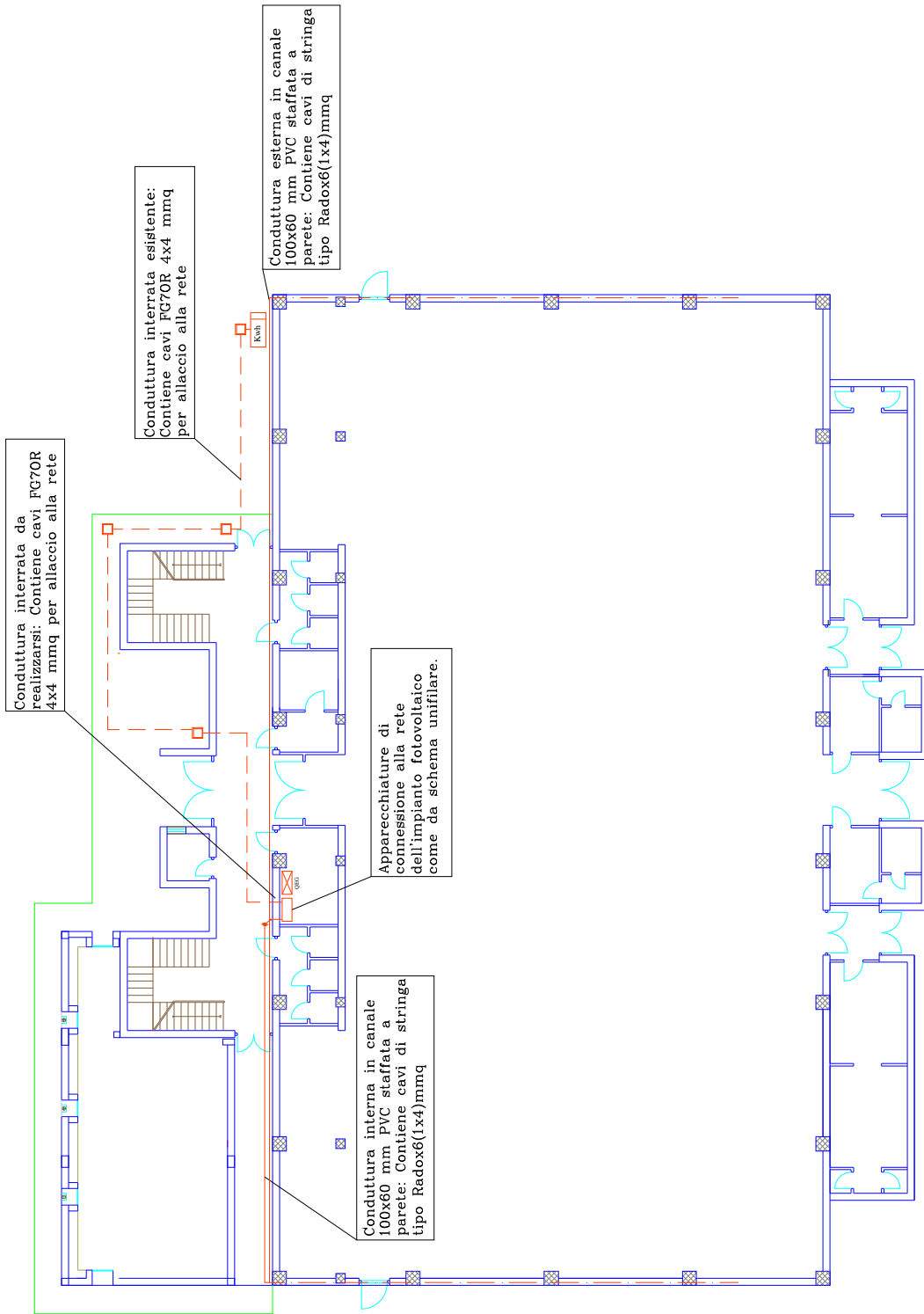
Per ottenere 1 kWp sono quindi necessarie n° 15 lastre da 430mmx 4000 mm.

Inverter

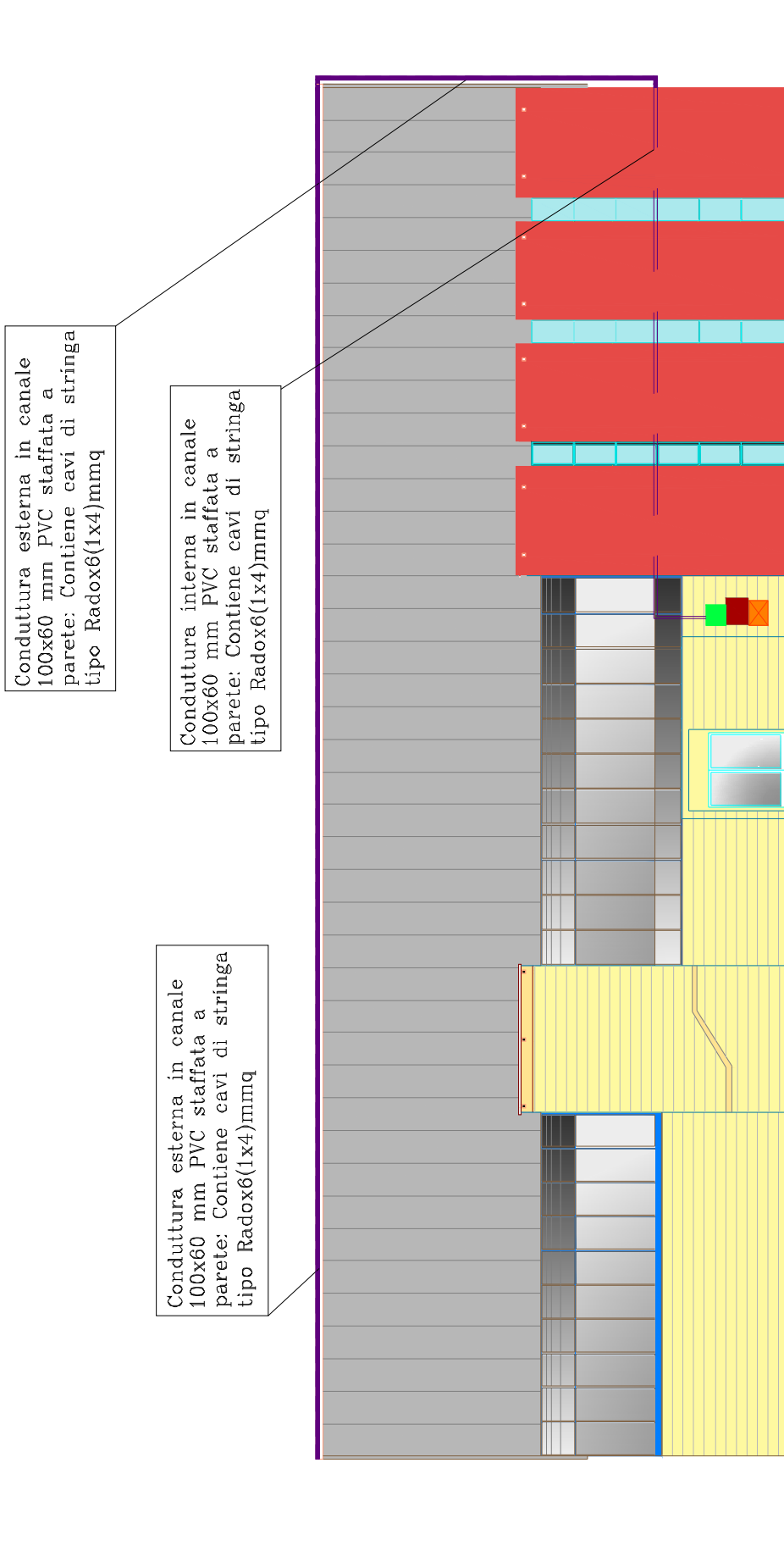
- Ingresso (CC)

Potenza CC max.	7500 W
Tensione CC max.	800 W
Intervallo di tensione-FV	335 V – 560 V

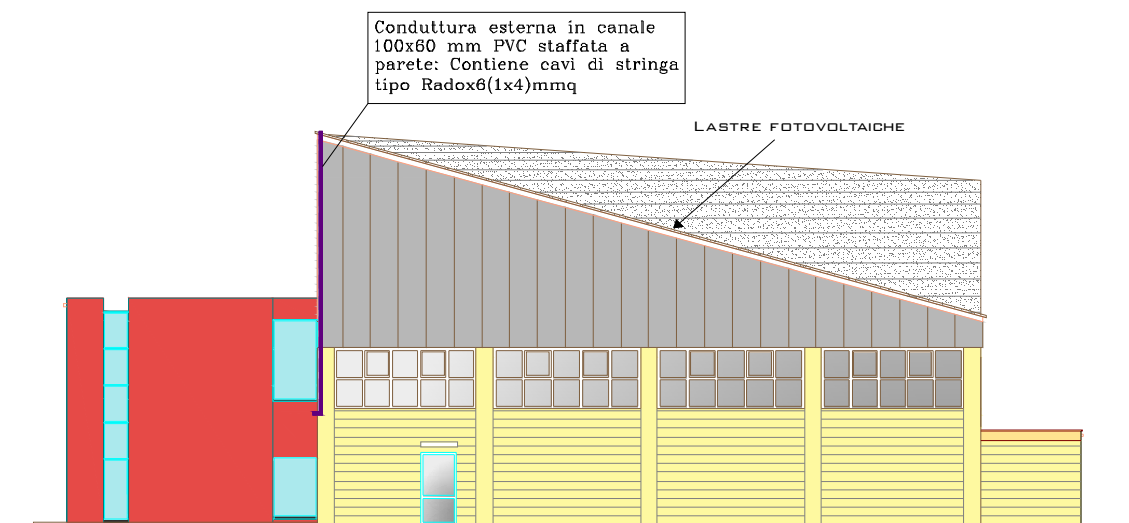
Corrente d'ingresso max.	23 A
Numero di inseguitori del punto di massima potenza	1
Numero massimo di stringhe (parallele)	4
- Uscita (CA)	
Potenza nominale in CA	6650 W
Potenza CA max.	7000 W
Corrente d'uscita max.	31 A
Tensione nominale / intervallo	220V-240V/180V-260 V
Frequenza di rete CA (autoregolato) / intervallo	50 Hz/60 Hz/± 4,5 Hz
Fattore di potenza (cos φ)	1
Grado di efficienza max.	96,1 %
Euro-eta	95,3 %
- Dispositivi di protezione:	
Protezione contro l'inversione di polarità CC	
Interruttore sezionatore del carico in corrente continua ESS	
Resistenza ai corto circuiti CA	
Rivelatore di guasto a terra	
Controllo rete (SMA grid guard 2)	
Con separazione galvanica	
- Dati generali	
Dimensioni (larghezza x altezza x profondità) in mm	468 / 613 / 242
Peso	65 kg
Intervallo temperatura di esercizio	-25 °C ... +60°C
Consumo: funzionamento (standby) / notturno	<7 W / 0,25 W
Tipologia	Trasformatore NF
Technologie raffreddamento	OptiCool
Cavi	
Cavo a doppio isolamento monofase da	
6 mmq per collegamento pannelli-inverter	FG7OR3G6
Cavo a doppio isolamento trifase da	
4 mmq per collegamento inverter- contatore	Ug7or4g4



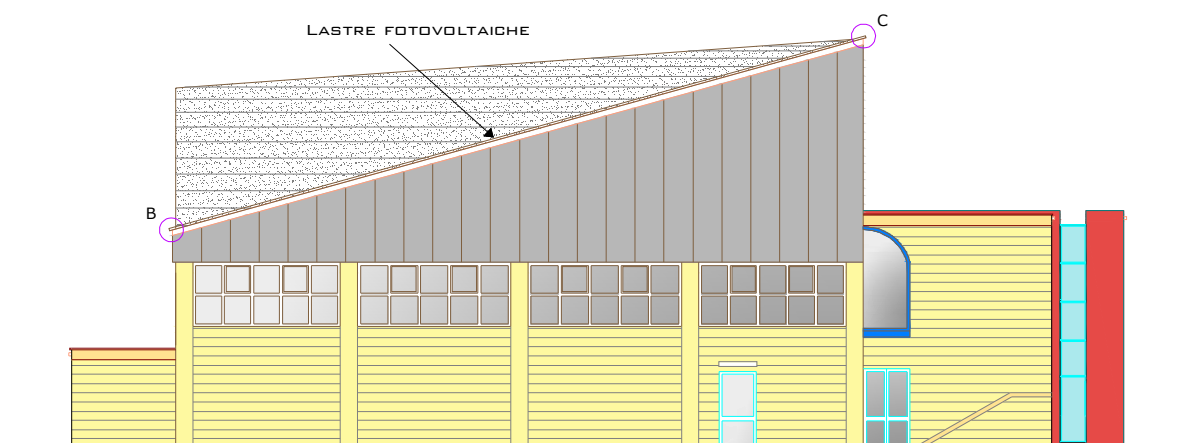
PIANTA



PROSPETTO NORD



PROSPETTO OVEST



PROSPETTO EST

- Dimensionamento e configurazione impianto

Per effettuare un corretto dimensionamento dell'impianto si è partiti dalla quantità di energia elettrica consumata annualmente dalla palestra; in base ai dati estrapolati dalle bollette tale consumo è pari a 10412 kWh/anno.

Per poter fare una stima di massima dell'energia elettrica producibile nel sito dove si colloca l'impianto, si considera che un impianto da 1 kWp, con inclinazione ottimale di 30°, produce circa 1600 kWh all'anno.

In base a questo dato è stato calcolata la potenza che è necessario installare per arrivare a produrre 10412 kWh all'anno:

$$10412 \text{ kWh} / 1600 \text{ kWh/kWp} = 6,51 \text{ kWp.}$$

Maggioriamo leggermente la potenza da installare portandola a 7,5 kWp

Come si evince dai dati fornitici dalla ditta Rheinzink per produrre 1kWp sono necessarie n.15 lastre da 430 mm x 4000 mm (con potenza nominale pari a 68 Wp)= 25,8 mq, arrotondando 26 mq.

Moltiplicando questa superficie per la potenza nominale richiesta avremo: 26 mq x 7,5 kWp = 195 mq, ovvero 114 lastre.

Quindi per garantire la produzione di energia elettrica richiesta è necessario installare una superficie fotovoltaica pari a 195 mq.

I campi fotovoltaici saranno collegati all'inverter tramite cavi monofase tipo FG7OR 3G6 che scenderanno verticali lungo l'edificio e poi proseguiranno interrati; in particolare lo scavo seguirà nel lato sinistro posteriore il perimetro del nuovo corpo in costruzione, mentre nel lato destro posteriore non sarà necessario alcuno scavo in quanto si sfrutterà un cavidotto già esistente. L'inverter si collega inoltre al gruppo di misura tramite cavi trifase con neutro concentrico tipo UG7OR 4G4; tale collegamento verrà effettuato senza particolari problemi visto che il contatore Enel e l'inverter saranno posizionati nello stesso locale, come indicato nell'elaborato grafico.

Le lastre fotovoltaiche saranno disposte in verticale ed affiancate l'una all'altra a formare delle fasce orizzontali. La prima fascia in basso è costituita da 5 moduli (lastre fv), la seconda da 5+2, fino ad arrivare alla sesta costituita da 13 moduli. Come si evince da questa descrizione ma soprattutto dalla tavola di progetto, la configurazione planimetrica che ne deriva - del tipo "scalettata" - segue il più possibile la conformazione della parte voltata della copertura, discostandosene opportunamente per evitare fenomeni di ombreggiamento. Tali fenomeni sono stati analizzati con un programma di simulazione che consente di individuare la posizione dell'ombra nelle varie ore in tutti i giorni dell'anno. La configurazione planimetrica dell'impianto, ovvero la sua disposizione in copertura, quindi,

è derivata da scelte di tipo sia formale sia funzionale.

Si è deciso inoltre di non mascherare l'impianto con elementi che avrebbero, essi stessi, rappresentato delle inutili superfetazioni.

- Tipologia di integrazione e modalità costruttive

L'impianto fotovoltaico si integra totalmente nella copertura dell'edificio essendo stato concepito unitamente ad essa.

Per quanto riguarda le modalità costruttive ogni lastra profilata è pronta per l'installazione ed è predisposta per una corretta esecuzione delle giunzioni trasversali. Il fissaggio contro lo slittamento ed il risucchio del vento avviene mediante linguette poste nelle aggraffature, parimenti a quello relativo alle normali coperture aggraffate.

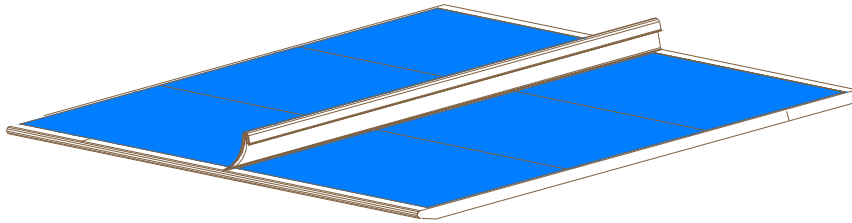
L'interasse della lastra, come già anticipato, è di 430 mm, la lunghezza visibile è di 3000 mm; ognuna di esse possiede inoltre una "sovra e sotto" aggraffatura.

Le estremità superiore ed inferiore delle lastre consentono l'esecuzione del raccordo superiore ed inferiore mediante aggraffatura trasversale. Visivamente, il raccordo superiore si presenta come una semplice aggraffatura trasversale ed è predisposto con una bandella stagnata al fine di una migliore protezione del giunto.

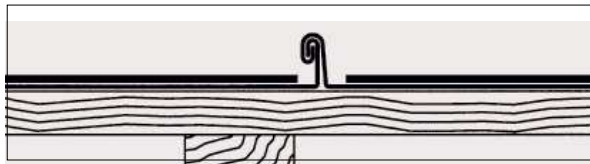
Nel montaggio, i singoli elementi vengono collegati con due soli spinotti, per mezzo dei quali si ottiene una posa veloce e sicura.

Per quanto concerne i cablaggi e l'inverter, essi verranno opportunamente occultati in modo da non essere visibili all'esterno.

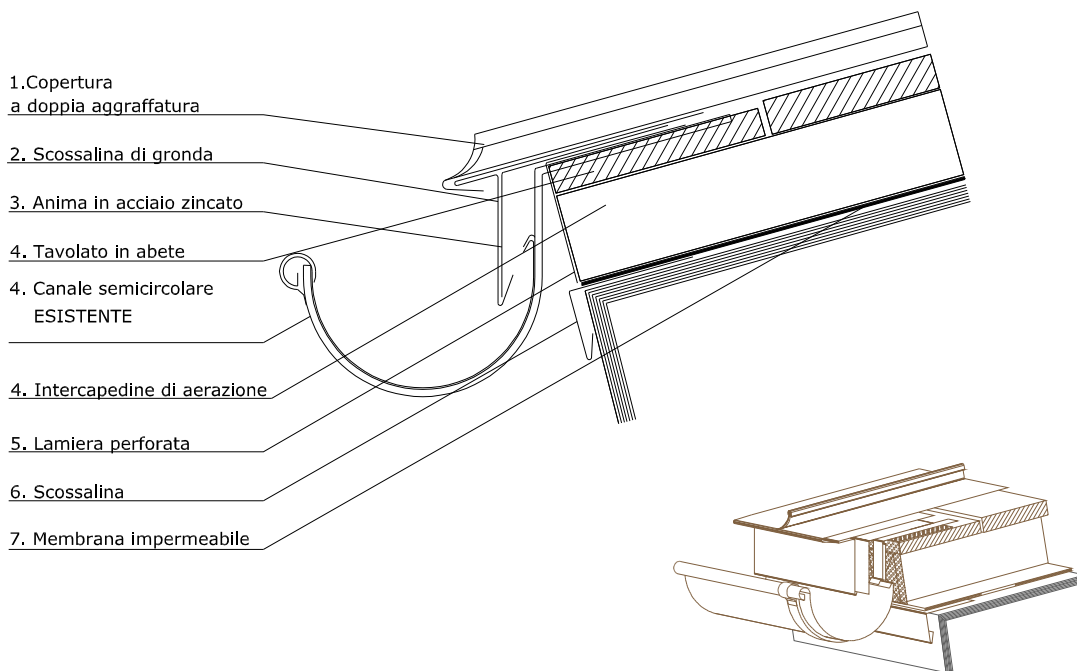
Per quanto riguarda i costi il quadro economico di progetto prevede un importo dei lavori pari a € 98.992,49 compreso di fornitura e posa in opera dell'impianto completo in ogni sua parte



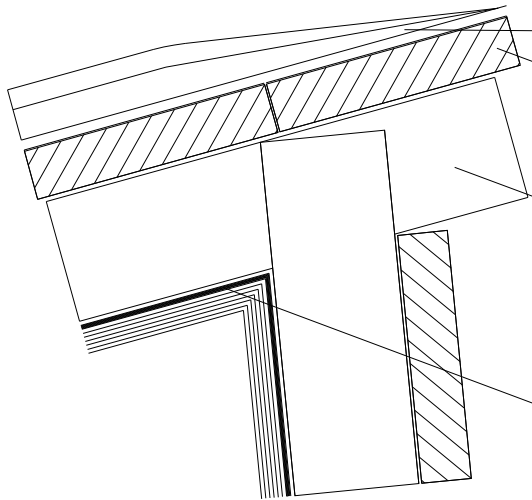
LASTRA SOLAR FV CON AGGRAFFATURA



SEZIONE VERTICALE LASTRA SOLAR FV



DETTAGLIO B



1. Copertura a doppia aggraffatura

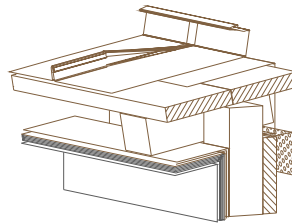
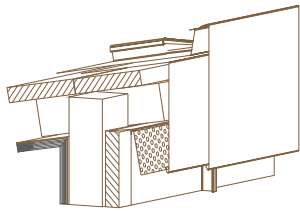
2. Tavolato in abete

3. Scossalina di colmo

4. Intercapedine di aerazione

5. Membrana impermeabile

DETTAGLIO C



Simulazione della palestra con l'impianto installato

Bibliografia

Testi:

- P. Portoghesi, R. Scarano, *L'architettura del sole*, Ed. Gangemi, Roma
- Piemontese, R. Scarano, *ENERGIA SOLARE E ARCHITETTURA – il fotovoltaico tra sostenibilità e nuovi linguaggi*, Ed. Gangemi, Roma, 2003
- M. Mancina, *Energia- Architettura: argomenti propedeutici per la progettazione energeticamente razionale degli edifici*, ed. Casa del libro, Roma 1984
- Paoletta (a cura di), *L'edificio ecologico - Obiettivi Riconoscibilità Caratteri Tecnologie*, Ed. Gangemi, Roma
- U. Sasso, *BIOARCHITETTURA - FORMA E FORMAZIONE*, Ed. Alinea. Firenze
- S. Cascone, *FINESTRE E PARETI VETRATE - Esempi costruttivi*, Ed. Gangemi, Roma
- G. Falconi, *Solar buildings - EUROPEAN STUDENTS'COMPETITION FOR THE DESIGN OF SOLAR BUILDINGS 1995-1996* - Introduction by Cettina Gallo, Manfredi Nicoletti, Peter C. von Seidlein, Dionysis Zivas, Ed. Gangemi, Roma
- N. Aste, *Il fotovoltaico in architettura. L'integrazione dei sistemi a energia solare negli edifici*, Ed. Sistemi editoriali, 2002
- Perago, *Progettare tetti e coperture dalla tegola al fotovoltaico*, Ed. Maggioli, 2004
- A. Magrini, D. Ena, *Tecnologie solari attive e passive*, Ed. EPC libri, Roma, 2005
- Benedetti, *Manuale di architettura bioclimatica*, Ed. Maggioli
- P. Cella, *L'energia alternativa*, Ed. Longanesi & CMilano, 1979
- T. Cabirol, A. Pelissou, D. Roux, *I pannelli solari*, Ed. Longanesi & CMilano, 1976
- M. Scheichenbauer, C. Reina, *Bilancio energetico dell'abitazione*, Ed. ITEC s.r.l., Milano, 1982
- J. Marston Fitch, *La progettazione ambientale*, franco muzzio & c. editore, Padova, 1980
- Cornoldi, S. Los (a cura di), *Energia e habitat*, franco muzzio & c. editore, Padova, 1980
- P. Burberry, *La progettazione del risparmio energetico*, franco muzzio & c. editore, Padova, 1979
- H. Rau, *Energia solare*, Ed. tecniche nuove, Milano, 1976
- G. D. J. Harper, *L'energia solare e le sue applicazioni - 50 progetti pratici*, Hoepli, Milano, 2008
- I. Insolera, *Saper veder l'ambiente*, De Luca ed., 2008
- T. Cabirol, A. Pelissou, D. Roux, *I pannelli solari per riscaldare l'acqua e la casa*, Longanesi&C., Milano, 1978

- C. Abate (a cura di), *L'integrazione architettonica del fotovoltaico: esperienze compiute*, Gangemi ed., Roma, 2002
- A. Vincenti, *Sistemi fotovoltaici, impianti solari in conto energia*, Dario Flaccovio ed., Palermo, 2007
- M. Sala (a cura di), *Integrazione architettonica del fotovoltaico*, casi studio di Edifici Pubblici in Toscana, Alinea ed., Firenze 2002
- G. Tagliaventi, L. Mollo, *Ecological Urban Architecture*, Alinea ed., Firenze, 2005
- M. Balzani, G. Tonelli, R. Meschini, *AS1 Architettura sostenibile*, Maggioli ed., 2004
- A. greco, E. Quagliarini, *L'involucro edilizio: una progettazione complessa*, Alinea ed., Firenze, 2007
- ENEA, Dossier "ENEA per il solare fotovoltaico" Atti del Workshop "Il fotovoltaico: sviluppo della ricerca e opportunità per l'industria", Roma, 13 Settembre 2006

Riviste (vari numeri):

Modulo, ed. BE-MA editrice, Milano

Solaria, ed. Edinterni srl, Milano

Costruire in laterizio, ed. Il sole 24 ore, Milano

L'Arca, ed. L'Arca Edizioni Spa, Milano

L'Arca plus, ed. L'Arca Edizioni Spa, Milano

Materia, ed. Federico Motta Editore Spa, Milano

Area, ed. Federico Motta Editore Spa, Milano

Domus, ed. Editoriale Domus Spa, Rozzano

Biocasa, ed. Edinterni srl, Milano

Photon, ed. Soalr Verlag GmbH, Aquisgrana

FV fotovoltaici, ed. Arti Grafiche Amilcare Pizzi, Milano

PV technology, ed. Arti Grafiche Amilcare Pizzi, Milano

Solar Energy, ed. Arti Grafiche Amilcare Pizzi, Milano

CasaEnergia, ed. Arti Grafiche Amilcare Pizzi, Milano

Impianti solari, ed. Tecniche Nuove, Milano

Siti internet:

[www. Astropower.com](http://www.Astropower.com)

www. astrasolar.com

www. atersa.com

www. bpsolar.com

www. ecoteam.it

[www. elettrosannio.com](http://www.elettrosannio.com)
www. evergreensolar.com
www. solarex.com
www. kyocera.com
www. Pilkington.com
www. schott.com
www. se-project.it
www. sharp-world.com
www. siemenssolar.com
www. soltechitalia.com
www. solarsystem.it
www. thermosolar.it
www. uflew.it
www. wuerth-solar.de