

## Pubblicazioni

- Almanacco dell'Architetto di Renzo Piano
- Atlante del consolidamento degli edifici storici
- Manuale del geometra e del laureato junior
- Uffici Sostenibili di Thomas Herzog
- Storia di una bambina vivace di Shirin Ebadi

## Notizie

## Rassegna stampa

## Chi siamo

## Contatti

## Home

## Ultime Notizie

Renzo Piano racconta la mostra di Padova e la sua idea di architettura

Ecco cosa c'è dietro - e dentro - l'esposizione allestita a Palazzo della Ragione fino al 15 luglio 2014.

L'Almanacco di Renzo Piano si mette in mostra a Padova

In occasione della mostra sui progetti dello studio RPBW, dal 15 marzo al 15 luglio, riflettori puntati sull'opera ideata dal grande architetto.

Shirin Ebadi a Pisa per la Giornata della donna 2014

La giurista iraniana, premio Nobel per la Pace 2003, protagonista di un convegno sulla situazione delle donne in Iran in programma l'8 marzo alla Scuola Superiore S.Anna.

Shirin Ebadi in libreria, ecco dove acquistare 'Storia di una bambina vivace'

Testo fondamentale per saperne di più sulla giurista iraniana insignita del premio Nobel per la Pace nel 2003.

I testi editi da Proctor sono disponibili in selezionati punti vendita

Ecco l'elenco delle librerie, in Italia e all'estero, in cui è possibile acquistare l'Almanacco dell'Architetto e le altre opere di

## Almanacco dell'Architetto App per iPad

**L'architettura di Renzo Piano viaggia anche su iPad: disponibile una 'APP' per scaricare il suo "Almanacco"**



Una **app** creata per curiosare tra i principali progetti architettonici di Renzo Piano. E' la novità offerta dalla casa editrice Proctor, che debutta nel mercato dell'editoria digitale con la versione per iPad dell'opera

**"Almanacco dell'Architetto. Da un'idea di Renzo Piano"**.

La pubblicazione curata dal celebre architetto genovese, che nella versione stampata è di 1.300 pagine, può così essere scaricata da iTunes App Store.

L'**applicazione** consente di scoprire come è strutturata l'opera, con una cinquantina di pagine visionabili gratuitamente.

E' inoltre presente una photogallery con un assaggio dei contenuti grafici dell'Almanacco, che conta oltre 5.000 immagini fornite da 400 studi di architettura di levatura internazionale, tra cui alcuni disegni originali e inediti dello studio RPBW - Renzo Piano Building Workshop.


E' quindi possibile acquistare, scaricare e consultare l'**opera digitale completa**, composta da due volumi, oppure, separatamente, i **singoli fascicoli**.

Nel primo volume, **"Viaggi nell'architettura"**, Renzo Piano racconta in prima persona - dialogando con il figlio Carlo, giornalista - 16 progetti da lui realizzati un po' in tutto il pianeta, a partire dal suo studio a picco sulla costa genovese fino all'altra parte del mondo, il centro culturale di Nouméa nella Nuova Caledonia. Nel secondo volume, **"Costruire l'architettura"**, la parola passa a nove autori - architetti e ingegneri scelti dallo stesso Piano - che approfondiscono tutte le fasi della costruzione di un edificio, dalle fondamenta fino al tetto e all'ambiente circostante.

Una volta acquistati i due volumi, è possibile cancellarli e ricaricarli gratuitamente senza limitazioni. E' inoltre previsto uno sconto per chi volesse acquistare l'Almanacco anche in versione cartacea: due volumi di grande formato (24 per 34 cm) contenuti in un cofanetto.

Con la versione digitale per iPad, realizzata per **Proctor Edizioni** dalla società **Marg8.com**, l'Almanacco di Renzo Piano è dunque sempre più **multimediale**. E' infatti disponibile anche una edizione professionale corredata di **DVD-ROM**, che consente una navigazione interattiva. Senza dimenticare che all'opera è interamente dedicato un **sito internet** ([www.almanaccodellarchitetto.it](http://www.almanaccodellarchitetto.it)) con informazioni approfondite e una sezione di news costantemente aggiornata.

### Scarica Applicazione

 app Almanacco dell'Architetto renzo Piano

Richiede iOS 6.0 o successivi.  
Compatibile con iPad.

### Richiedi pubblicazione



### Dettagli prodotto

**Copertina flessibile:** 1300 pagine

**Editore:** Proctor (1 gennaio 2013)

**Lingua:** Italiano

**ISBN-10:** 8890246715

**ISBN-13:** 978-8890246715

**Peso di spedizione:** 6,2 Kg





## Involucro

a cura di Marco Sala

274 **Introduzione**  
di Rosa Romano

278 **Involucro Trasparente**

278 **Inffissi**  
di Rosa Romano

278 **Tipologie dei vetri**  
Vetro camera basso-emissivo  
Vetro ad assorbimento solare  
Vetro evacuato  
Vetri elettrocromici  
Vetri atermici  
Vetri fotocromatici  
Vetrocemento

284 **Tipologie dei trattamenti**

Vetri olografici  
Vetri spongiformi  
Vetri a cristalli liquidi  
Superfici prismatiche  
PMMA  
Policarbonato

288 **Tipologie di aperture**

Finestre a doppia anta  
Finestre a doppio telaio  
Finestre oscilla battenti o a vasistas  
Finestre ad ante basculanti  
Finestre ad ante scorrevoli

292 **Tipologie dei materiali di telaio**

Legno  
Acciaio  
Alluminio  
PVC

294 **Componenti di controllo solare**  
di Rosa Romano e Milagros Villalta

294 **Dispositivi di schermature esterne**

294 **Dispositivi di schermature interne**

296 **Schermature fisse**

297 **Schermature mobili**

298 **Schermature in metallo**

300 **Schermature in vetro**

301 **Schermature in cotto**

302 **Schermature in legno**

304 **Schermature vegetali**

305 **Protezioni solari non rigide**

306 **Serre e giardini d'inverno**  
di Rosa Romano

308 **Serre a guadagno diretto**

309 **Serre a scambio convettivo**

309 **Serre a scambio radiante**

310 **Serre residenziali**

312 **Serre per il terziario**

Serre addossate  
Serre integrate

314 **Tipologie a padiglione**

316 **Gallerie**

318 **Finestre a tetto, lucernari**  
di Marco Sala e Francesco Simoni

320 **Lucernari a uso civile**

322 **Lucernari industriali**  
ed evacuatori di fumo a calore

324 **Tunnel solari e inseguitori di luce**

325 **Facciate vetrate continue**  
di Rosa Romano

326 **Facciate continue**

Facciate composte o isolanti  
Facciate strutturali  
Facciate appese

332 **Facciate vetrate a doppia pelle**

Ventilazione naturale  
Ventilazione meccanica  
Ventilazione ibrida  
Componenti di facciata dinamica

## 340 **Involucro Opaco**

340 **Pareti verticali portanti e non portanti**  
di Marco Sala, Rosa Romano  
e Francesco Simoni

342 **Blocchi in laterizio a elevato isolamento**  
di Leonardo Boganini e Rosa Romano

Blocchi in laterizio armati  
Blocchi in laterizio con isolante interno  
Blocchi in laterizio rettificato alveolare  
Blocchi in laterizio riempiti

346 **Blocchi in calcestruzzo vibrocompreso**

347 **Pannelli strutturali in legno incrociato**

348 **Casseri isolanti a perdere**

Casseri in fibra di legno  
Casseri in polistirolo (tipo Nyclon)  
Casseri in polistirolo (tipo Bioisotherm)  
Blocchi in legno cemento

352 **Murature in terra cruda**

Pisé stabilizzato  
Torchis e bajoreques (legno e terra)  
Adobe (mattoni in terra cruda)

356 **Pareti verticali non portanti**  
di Marco Sala e Francesco Simoni

356 **Pareti in opera a diversi strati**

Pareti con isolante interno

358 **Sistemi a telaio metallico**

360 **Sistemi a telaio in legno**  
e pannelli di tamponamento

Telaio in legno e pannelli OSB

362 **Rivestimento esterno**  
di Rosa Romano e Milagros Villalta

362 **Pareti ventilate**

364 **Rivestimento con isolamento a cappotto**

366 **Rivestimenti in ceramica**

368 **Rivestimenti in laterizio**

369 **Rivestimenti metallici**

370 **Rivestimenti lapidei**

372 **Intonaci speciali**  
di Marco Sala e Leonardo Boganini

Intonaco ignifugo  
Intonaco termoisolante

373 **Energie rinnovabili integrate nell'involucro**  
di Lucia Ceccherini Nelli

374 **Fotovoltaico**

Monocristallino  
Policristallino  
Silicio amorfo - film sottile  
Produzione per l'integrazione architettonica

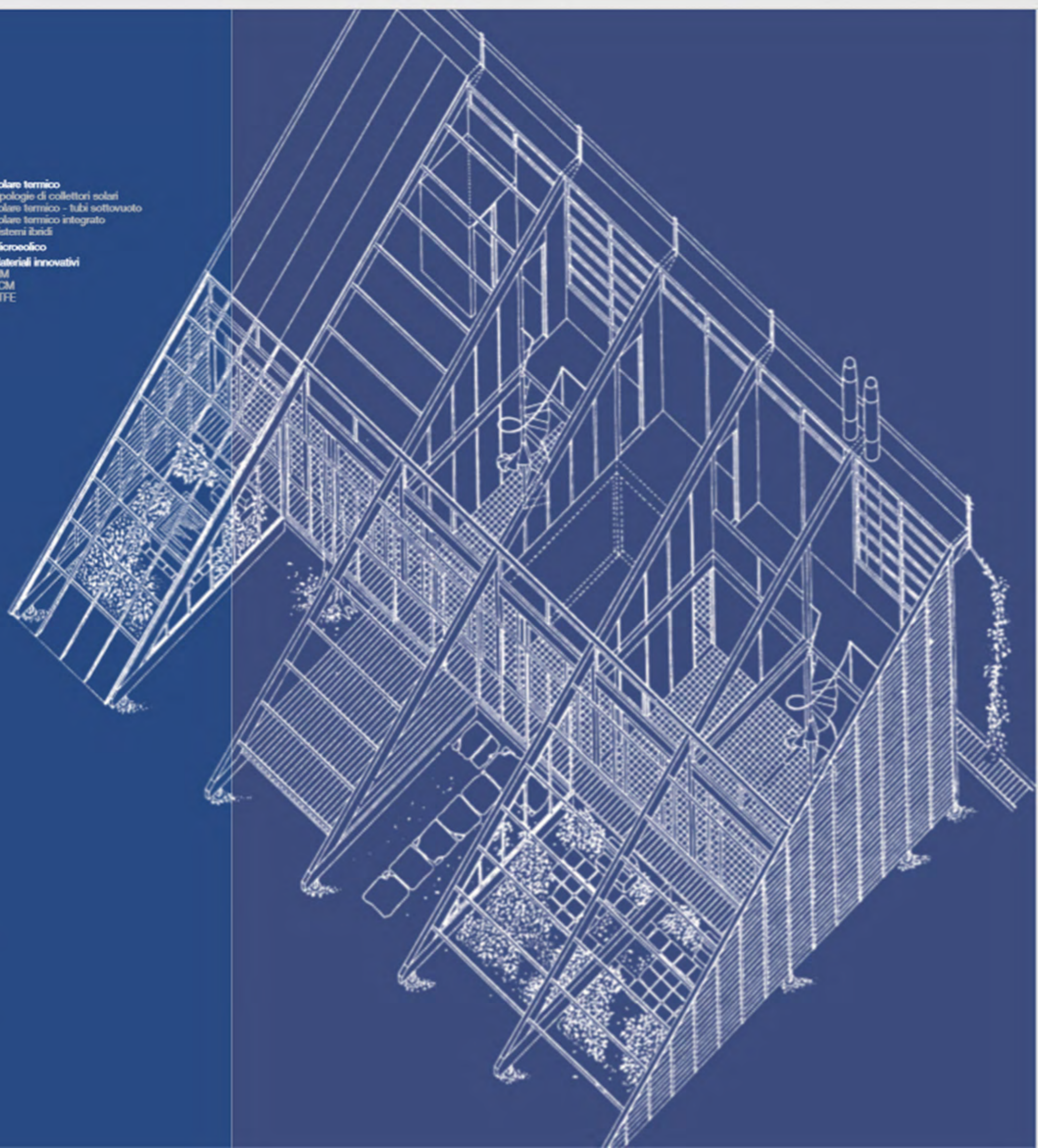
377 **Solare termico**

Tipologie di collettori solari  
Solare termico - tubi sottovuoto  
Solare termico integrato  
Sistemi ibridi

379 **Microclimico**

380 **Materiali innovativi**

TBM  
PCM  
ETFE





**Comitato scientifico**

**Renzo Piano**  
**Milly Rossato Piano**  
**Carlo Piano**  
**Claudio Bertocchi**  
**Marina Ines Scrosoppi**  
**Federico Bucci**  
**Franco Origoni**

Proctor Edizioni S.p.a.

via Giovanni Livraghi, 1  
40121 Bologna, Italy  
www.proctoredizioni.it  
info@proctoredizioni.it

ISBN 978 88 902 4670 8

**Viaggi  
nell'Architettura**

**Renzo Piano**  
con  
**Carlo Piano**

**Coordinamento scientifico**

**Milly Rossato Piano**  
**Shunji Ishida**

**Coordinamento editoriale**

**Franco Origoni**

**Coordinamento redazionale**

**Elena Spadavecchia**

**Alessandra Bergamini**  
correzione di bozze

**Progettazione grafica  
e impaginazione**

**Franco Origoni e Anna Steiner**  
**Architetti Associati**  
con  
**Lorenza Perego**  
**Roberta Cesani**

**Si ringrazia  
per la lettura critica**

**Enrico Bona**  
**Luciano Crespi**  
**Emilio Faroldi**  
**Anna Foppiano**

**Si ringrazia  
per i testi tecnici**

**Milly Rossato Piano**  
**Maria Salerno**

**e per la selezione immagini**

**Stefania Carta**  
**Chiara Casazza**  
**Shunji Ishida**



**Fondazione Renzo Piano**

Questo libro è stato realizzato  
con materiali recuperati  
grazie al lavoro di catalogazione  
e classificazione della  
Fondazione Renzo Piano  
e del  
Renzo Piano Building Workshop

**Costruire  
l'architettura**

**Contributi scientifici**

**Federico Bucci**

**Federico Butera**

con  
**Niccolò Aste**  
**Maria Berrini**  
**Giuliano Dall'O**  
**Paolo Oliaro**

**Giovanni Calabresi**

**Fabio Casiroli**

con  
**Alessandro Antonini**  
**Alberto Conciato**  
**Diego Deponte**  
**Lorenzo Giorgio**  
**Michela Magagnato**  
**Pier Luigi Martini**  
**Italo Meloni**  
**Emilio Merlo**  
**Dante Presicce**  
**Costantino Ruscigno**  
**Francesco Sechi**  
**Giulia Tacchini**  
**Alessandra Terenzi**

**Massimo Majowiecki**

con  
**Giovanni Berti**

**Lorenzo Jurina**

con  
**Andrea A. Bassoli**  
**Alice Filaretti**  
**Valentina Mogicato**  
**Edoardo Radaelli**  
**Daniele Rampoldi**

**Gianni Ottolini**

con  
**Marta Averna**  
**Mauricio Cardenas Laverde**  
**Amarzio Farris**  
**Yuri Mastromattei**  
**Lola Ottolini**  
**Matteo Pirola**  
**Stefania Varvaro**

**Marco Sala**

con  
**Leonardo Bogarini**  
**Lucia Ceccherini Nelli**  
**Rosa Romano**  
**Francesco Simoni**  
**Milagros Villalta Begazo**

**Gianni Scudo**

con  
**Ricciarda Belgiojoso**  
**Antonella Bellomo**  
**Alessandro Carelli**  
**Valentina Dessi**  
**Mario Grosso**  
**Massimo Guazzotti**  
**Alessandro Rogora**

**Coordinamento scientifico**

**Federico Bucci**

**Coordinamento editoriale**

**Franco Origoni**

**Coordinamento redazionale**

**Elena Spadavecchia**  
coordinamento,  
ricerca e selezione  
del materiale iconografico

**Redazione**

**Carlo Piano**  
lettura redazionale

**Milena Ardalic**  
redazione e rielaborazione grafica  
dei disegni

**Roberta Lanzalaco**  
redazione e rielaborazione grafica  
dei disegni

**Maddalena Scarzella**  
ricerca iconografica

**Flora Di Tullio**  
illustrazioni "a misura d'uomo"

con il contributo  
per la rielaborazione grafica

**Silvia Greco**  
**Filippo Andreoli**  
**Mattia Besana**  
**Saveria Petillo**  
**Ilaria Rondina**

**Alessandra Bergamini**  
correzione di bozze

**Progettazione grafica  
e impaginazione**

**Franco Origoni e Anna Steiner**  
**Architetti Associati**  
con  
**Lorenza Perego**  
**Roberta Cesani**

**Si ringrazia  
per la selezione immagini**

**Shunji Ishida**

**Si ringrazia  
per la lettura critica**

**Enrico Bona**  
**Luciano Crespi**  
**Emilio Faroldi**  
**Anna Foppiano**



Intonaci speciali  
di Marco Sala e Leonardo Boganini

### 1. Intonaco ignifugo

L'intonaco ignifugo, le cui caratteristiche sono descritte nella normativa tecnica EN 13381, si utilizza con l'obiettivo di aumentare la protezione al fuoco di altre parti, strutturali e non, di involucro, contribuendo a impedire la propagazione delle fiamme nella fase di incendio generalizzato.

L'intonaco si presenta in polvere ed è composto principalmente da silicoaluminati, leganti e silice, a cui si aggiunge in cantiere l'acqua al fine di ottenere la malta; dopo l'imposto l'intonaco deve essere messo in opera entro due ore. Per l'applicazione si utilizzano macchine intonatrici, applicando l'intonaco sull'elemento desiderato in un unico strato, dal basso verso l'alto, con uno spessore che può andare da un minimo di 10 mm fino a un massimo di 20 mm (Figg. 451-453).

Per spessori superiori ai 20 mm le applicazioni vanno fatte a distanza minima di 24 ore, avendo cura di trattare l'intonaco esistente in modo da migliorarne la ruvidità.

La principale applicazione dell'intonaco ignifugo si ha nei casi in cui l'edificio presenta una struttura in acciaio: questi elementi, infatti, esposti a temperature elevate perdono la loro capacità strutturale di progetto, portando a un rapido collasso dell'edificio. In questi casi lo spessore d'intonaco da applicare è definito dalla norma UNI 9503, mentre per ogni singolo prodotto è specificata la procedura per la posa e il trattamento delle superfici.

Per le applicazioni esterne, in caso di finiture tipo rivestimenti a spessore, solitamente si tende a realizzare una superficie omogenea e compatta attraverso l'uso del frattazzo; nei locali interni l'intonaco deve essere completato con l'uso della malta fina, applicata dopo il completo indurimento dell'intonaco ignifugo stesso. Un sistema alternativo all'intonaco ignifugo per la protezione al fuoco di pareti o elementi strutturali è l'utilizzo di lastre ignifughe: queste lastre in cartongesso sono ultrale e sono armate con fibre minerali all'interno del nucleo di gesso al fine di aumentare la classe di resistenza al fuoco.

Fig. 454  
Sistema di posa in opera dell'intonaco



Figg. 451-453  
Gegotti Associati International,  
Teatro degli Arcimboldi,  
Milano, Italia, 1996-2002.  
Uso di pitture intumescenti

### 2. Intonaco termoisolante

I termointonaci possono essere utilizzati in interventi di nuova costruzione o riqualificazione, in quest'ultimo caso garantiscono ottimi risultati in relazione all'isolamento termico senza alterare l'aspetto estetico dell'edificio, per questo hanno trovato larga diffusione in interventi di recupero di edilizia storica.

La posa in opera dell'intonaco (Fig. 454), nella regola d'arte, prevede la realizzazione di 3 strati successivi:

- aggrappaggio (rinzaffo).
- aggrappo (coppo o ariccio).
- finitura (stabilitura o velo).

Gli intonaci speciali, commercializzati come premiscelati, sono costituiti solitamente da malte per rinzaffo o ariccio, trattate e additate con granuli di 3 mm di materiale isolante (UNI EN 1015-1), quale: sughero, argilla, perlite espansa e il polistirene.

Gli intonaci termoisolanti, che presentano una conduttività termica ( $\lambda$ ) compresa tra 0,045 e 0,107 W/mK, sono solitamente stesi a cappotto sulla superficie esterna della parete; grazie alla presenza di malta si possono mettere in opera spessori di malta a 10 cm (Figg. 455, 456).

Si tratta di materiali permeabili al vapore (da m=4 a m=15, UNI EN ISO 12572:2006) e possono essere utilizzati in interventi nei quali,

Fig. 455, 456  
Dettaglio intonaco termoisolante



Dettaglio intonaco ignifugo



Intonaco intumescente

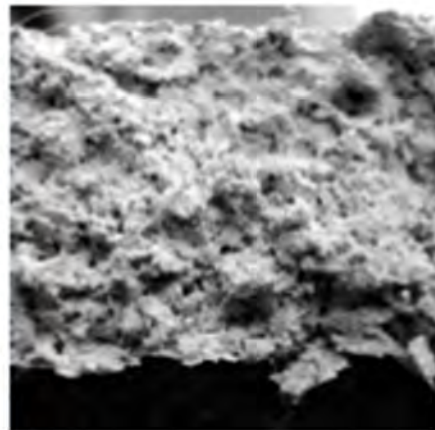
oltre all'isolamento termico dell'involucro, si deve assicurare la protezione da fenomeni di umidità di risalita, riducendo la possibilità di formazione di muffe e contribuendo alla salubrità dell'ambiente indoor.

Gli intonaci termoisolanti permettono di raggiungere ottime prestazioni anche sotto il profilo dell'isolamento acustico, incrementando la massa della parete e garantendo un buon isolamento alle basse, medie e alte frequenze.

Presentano buone prestazioni di resistenza meccanica, soprattutto a compressione, e non sono soggetti a formazione di fessurazioni conseguenti a una cattiva posa in opera o all'asciugatura. Una delle tipologie più interessanti di intonaco termoisolante è quella realizzata a base di sughero e argilla, che alle proprietà termoisolanti coniuga un basso impatto ambientale, essendo atossico e biologicamente puro.

Anche i termointonaci a base di argilla presentano buone caratteristiche termoisolanti, con valori di conduttività termica ( $\lambda$ ) di circa 0,062 W/mK.

Di recente sono stati messi sul mercato intonaci additivati con PCM che, grazie alle caratteristiche dinamiche della paraffina, capace di cambiare consistenza fisica in relazione alle sollecitazioni termiche esterne, incrementano la massa termica garantendo ottime prestazioni anche nei mesi estivi.



Energie rinnovabili integrate nell'involucro  
di Lucia Ceccherini Nelli

Il flusso di energia proveniente dal sole che inonda quotidianamente il nostro pianeta è un'inesauribile fonte di energia. Anche se tutta l'energia che viene irradiata dal Sole non è a disposizione dell'uomo, se moltiplichiamo questo valore per il totale della superficie delle terre emerse si può ottenere, solo dal sole, una disponibilità di energia pari a circa 2.400 volte l'attuale consumo energetico mondiale. Il funzionamento del sole è assicurato per i prossimi cinque miliardi di anni e non risente degli umori degli uomini; è infatti una delle poche risorse che non si può monopolizzare, regolare, assoggettare alle leggi del mercato. Il nostro obiettivo, tutt'altro che facile, è quello di non sprecare quest'energia che la natura generosamente ci offre e di farne, anzi, buon uso, nel rispetto dei delicati equilibri biologici quotidianamente minacciati attraverso l'inquinamento causato dai nostri macchinari e dai nostri impianti.

La radiazione solare consiste in energia elettromagnetica che scaturisce dai processi di fusione dell'idrogeno contenuto nel sole. L'intensità della radiazione solare viene misurata tramite due grandezze.

#### • Insolazione

Energia media giornaliera su superficie orizzontale (kWh/m<sup>2</sup> giorno).

#### • Irraggiamento

Potenza istantanea su una superficie orizzontale (kW/m<sup>2</sup>).

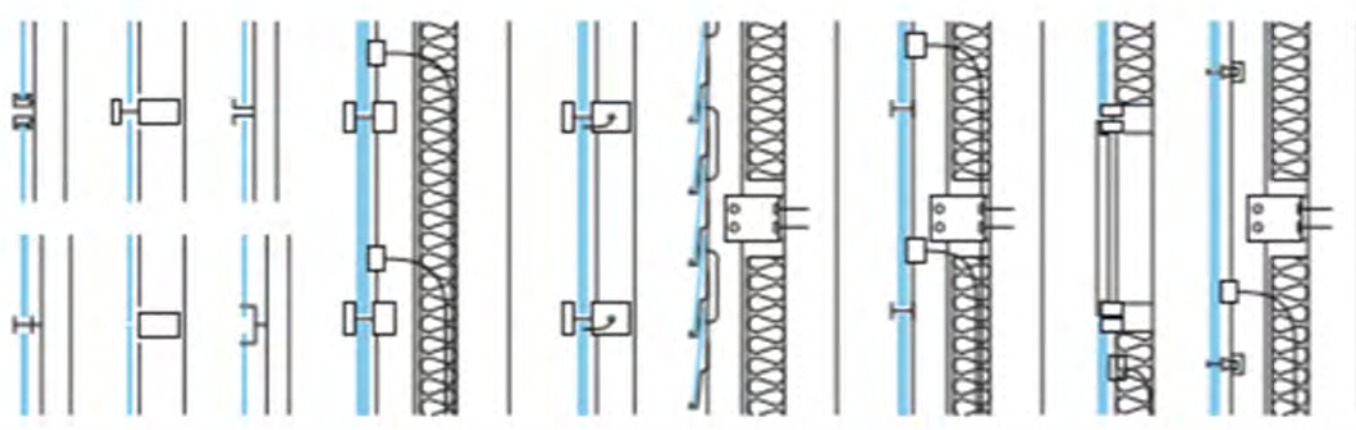
L'energia solare può essere sfruttata con numerosi vantaggi per le seguenti applicazioni:

- produzione di energia elettrica,
- riscaldamento di acqua calda sanitaria,
- riscaldamento dell'ambiente,
- mantenimento in temperatura dell'acqua.

La disponibilità di energia solare durante l'arco di un anno rappresenta un elemento determinante per valutare l'effettivo vantaggio o meno dell'utilizzo di un sistema solare.

Infatti, ciascuna delle applicazioni citate ha una propria particolare richiesta di energia durante l'anno, così come durante l'anno la disponibilità di energia non è sempre la stessa. Come si può vedere, a qualsiasi latitudine la disponibilità di energia solare riveste un ruolo importante e ha un peso rilevante dal nord al sud Italia. La tecnologia fotovoltaica offre l'opportunità di produrre energia elettrica, utiliz-

Fig. 459  
Modalità di integrazione del fotovoltaico nell'involucro



Figg. 457, 458  
Giffith Architects,  
Eden Project - Education Centre,  
The Corn, Bude, Cornwall,  
UK, 2002-2005

zando l'energia solare, nel contesto urbano. Ciò rende il fotovoltaico un tema di particolare interesse per la pianificazione urbana locale e la valutazione delle disponibilità di fonti rinnovabili sul territorio. Pertanto, la tecnologia fotovoltaica può contribuire in modo rilevante allo sviluppo sostenibile del territorio a livello locale.

Per favorire la diffusione e l'applicazione della tecnologia fotovoltaica in architettura è necessario sviluppare il settore dei sistemi fotovoltaici integrati che, grazie a una continua e avanzata ricerca industriale, sta risultando una valida alternativa ad alcuni componenti edilizi realizzati con materiali tradizionali (Fig. 459).

Da qui la necessità di sviluppare l'integrazione architettonica del fotovoltaico come strumento tecnologico progettuale con la duplice valenza, sia architettonica sia di risparmio energetico negli edifici (Figg. 457, 458).

L'energia viene utilizzata in vari settori, civile, abitativo e dei servizi, dell'industria e dei trasporti, in varie forme, da quella meccanica a quella termica, a bassa, media e alta temperatura, a quella elettrica. L'elettricità ha assunto in tutti i settori del vivere e della tecnologia umana una importanza e un peso crescente e un interesse fondamentale e strategico. L'elettricità prodotta nelle centrali elettriche a partire dai combustibili fossili, di cui si riesce a sfruttare solo parzialmente il contenuto energetico, deve essere trasportata ai grandi agglomerati urbani che la utilizzano.

Già comporta da un lato perdite di energia nella conversione dall'energia chimica del combustibile fossile a quella elettrica, dall'altro la risoluzione di problemi di inquinamento

ambientale ed elettromagnetico. Riguardo al problema inquinamento dalle perdite nel trasporto e all'equiparato ambientale si sta diffondendo la convinzione che sia opportuno di implementazione di un innovativo modello di sviluppo del sistema elettrico basato sulla produzione locale, in corrispondenza di ciascuna utenza e in quantità corrispondente al singolo bisogno (microgenerazione).

La produzione di energia elettrica dal vento è genericamente associata all'immagine di siti eolici posizionati sui crinali o, ultimamente, in mare aperto, laddove vi sono le migliori condizioni climatiche, orografiche e ambientali per uno sfruttamento della risorsa vento a fini industriali (produzione di energia elettrica per la vendita). D'altro canto è anche vero che molto spesso, passeggiando per i porti, si notano imbarcazioni dotate di piccoli generatori eolici, del diametro non superiore a 1 metro, che vengono impiegati per caricare le batterie a motore fermo. Questi sistemi sono in grado di alimentare grazie al vento le piccole utenze di bordo (frigorifero, quadro di controllo, luci, ecc.) inserendosi perfettamente nel contesto in cui sono installate. Un impiego della forza del vento si trova ancora in diverse fattorie dove mulini multipala generano energia sufficiente a pompare l'acqua dai pozzi.

Se si pensa perciò che microsistemi (della potenza di qualche kilowatt per i quali non esistono vincoli di elevatissimo pregio) non producono energia elettrica allo stesso modo, per continuità e potenza di picco, dei generatori fotovoltaici (PV).



## Fotovoltaico

## 1. Monocristallino

Le celle fotovoltaiche monocristalline sono realizzate utilizzando un singolo cristallo di silicio, ed è proprio nella purezza del silicio utilizzato che risiede il motivo della loro alta efficienza.

Un modulo standard in monocristallino ha una dimensione di circa 100 x 200 cm con potenza variabile di 180-200 Watt fino a un massimo, per quelli più performanti, che si aggira su una potenza anche di 300 Watt.

I moduli monocristallini sono composti da decine di celle, tipicamente 72, di forma circolare oppure ottagonale di 10-12 cm di diametro e 0,2-0,3 mm di spessore, con una colorazione uniforme blu scuro o nera (Figg. 460, 461).

L'omogeneità della colorazione dona a questi pannelli un aspetto gradevole, adatto per le applicazioni più diverse. La presenza di una superficie vetrata e di una cornice in alluminio assicura protezione e solidità al pannello.

Le caratteristiche tecniche e i prezzi dei moduli monocristallini sono molto simili a quello dei policristallini.

Attualmente, tra tutte le tecnologie fotovoltaiche disponibili a livello commerciale, il monocristallino è quella caratterizzata mediamente dalla più alta densità energetica.

I moduli monocristallini presentano elevati rendimenti elettrici, variabili tra il 14% e il 17%.

Quindi, a parità di kWp installati, un impianto fotovoltaico con moduli monocristallini ha il vantaggio di occupare di solito uno spazio inferiore rispetto a un impianto con moduli policristallini o in silicio amorfo.

Per questo motivo, il monocristallino è preferito quando vi è una limitata disponibilità di spazio per l'installazione.

La potenza di un impianto e dei moduli si misura in kWp (kilowatt di picco), ossia la potenza istantanea generata da un modulo fotovoltaico in condizioni standard di irraggiamento, 1.000 W/m<sup>2</sup> di radiazione solare e 25 °C di temperatura.

La superficie media, su una superficie piana o inclinata, necessaria per avere 1 kWp di moduli fotovoltaici installati è di circa 8 m<sup>2</sup>, ma tale dimensione può variare in base ai moduli installati. Una famiglia tipica di 4 persone, che intende coprire il proprio fabbisogno energetico con il fotovoltaico connesso in rete con il conto energia, avrà bisogno di una potenza installata di 2-3 kWp, pari a una superficie variabile di 16-24 m<sup>2</sup>.

Le prestazioni dei pannelli monocristallini si riducono all'incirca dell'1% l'anno e mediamente hanno un rendimento del 90% della propria potenza nominale e dopo 10 anni e si riduce fino all'80% dopo 20 anni.

A tale scopo, nonostante la vita minima di un pannello fotovoltaico sia superiore ai 25-30 anni, la progressiva perdita di efficienza ne rende necessaria la sostituzione o la sostituzione. I pannelli poli e monocristallini risultano particolarmente sensibili alla presenza di ombreggiature, anche parziali, e alla riduzione di irraggiamento in caso di cielo coperto.

In zone climatiche con nuvolosità variabile i moduli in amorfo risultano più performanti nel lungo periodo.

L'intero processo produttivo, dalla lavorazione del silicio all'assemblaggio del modulo, è estremamente dispendioso in termini energetici. Dal punto di vista della sostenibilità è da considerare che nel corso di vita utile di

un impianto fotovoltaico di oltre 25 anni, un pannello fotovoltaico è in grado di produrre fino a 10 volte più energia di quella che è stata necessaria per produrlo e pertanto questa tecnologia risulta avere un bilancio energetico-ambientale molto efficiente. Il decadimento nel tempo dei moduli, non è dovuto al silicio ma al normale degrado nel tempo delle giunzioni del silicio e delle connessioni elettriche interne ai moduli.

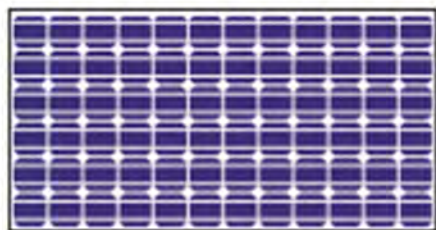


Fig. 460  
Pannello fotovoltaico monocristallino



Fig. 461  
Esempio di applicazione del fotovoltaico monocristallino

## 2. Policristallino

I moduli policristallini (o multicristallini) sono caratterizzati da rendimenti elettrici intermedi tra quelli dei moduli monocristallini e quelli del silicio amorfo.

Se è vero che i rendimenti sono leggermente inferiori a quelli del monocristallino, tuttavia anche il costo dei moduli, a parità di potenza installata, risulta normalmente inferiore.

I moduli in policristallino hanno la stessa dimensione di quelli in monocristallino, variano dai 100 x 180-200 cm con potenza media che si aggira 150-200 Watt, con un peso variabile secondo la composizione del pannello ma che mediamente si aggira sui 20 kg.

I moduli policristallini sono composti da decine di celle, tipicamente 72, di forma ottagonale oppure quadrata (Figg. 462, 463).

Le celle fotovoltaiche sono realizzate a partire da più cristalli di silicio, ricavati dal riciclo degli scarti dell'industria elettronica.

L'accostamento di più cristalli dona a queste celle, e quindi all'intero modulo, una caratteristica colorazione blu cangiante.

I moduli policristallini presentano valori di efficienza variabili tra l'11% e il 14%.

La minore densità energetica del policristallino rispetto al monocristallino in realtà deve essere verificata 'sul campo': pannelli policristallini di ottima qualità possono avere rendimenti pari (se non superiori) a quelli di pannelli monocristallini di qualità medio-bassa. I moduli policristallini presentano valori di efficienza variabili tra l'11% e il 14%.

La minore densità energetica del policristallino rispetto al monocristallino in realtà deve essere verificata poiché pannelli policristallini di ottima qualità possono avere rendimenti pari, e in alcuni casi anche superiori, a quelli di pannelli monocristallini di qualità inferiore.

Il wafer di policristallo si origina dalla fusione e successiva ricristallizzazione del silicio di scarto dell'industria elettronica chiamati 'scrap' di silicio. Dalla fusione si ottiene un cilindro che viene tagliato verticalmente in lingotti con forma di parallelepipedo, per cui i wafer ottenuti hanno forma quadrata e le caratteristiche striature. I pannelli in monocristallino hanno le stesse caratteristiche delle celle in monocristallino, ossia perdono di potenza con la riduzione della radiazione solare riflessa e diretta mentre non subiscono l'influenza della radiazione solare diffusa. Attualmente più dell'80% dei sistemi fotovoltaici in commercio sono con celle in silicio poli e monocristallo.

Vantaggi e svantaggi del modulo fotovoltaico in silicio mono o policristallino

- minore superficie occupata grazie a una buona resa a m<sup>2</sup>;

- efficienza 12 > 16% stabile nel tempo;

- silicio monocristallino e policristallino da impiegarsi in condizioni ottimali di esposizione Sud e in condizioni di esposizione meno favorevoli Sud-Est > Sud-Ovest;

- sensibile alle ombre;

- non produce con cielo nuvoloso;

- non facilmente adattabile alle superfici in quanto il rendimento è sensibile all'inclinazione dei pannelli, ottimale tra 25° e 35°;

- usufruisce di un numero inferiore di ore di luce;

- rendimento influenzato dalla temperatura.

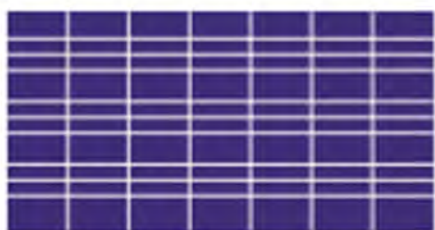


Fig. 462  
Pannello fotovoltaico policristallino



Fig. 463  
Esempio di applicazione del fotovoltaico policristallino

## 3. Silicio amorfo-film sottile

I moduli in silicio amorfo sono caratterizzati da rendimenti elettrici inferiori rispetto ai pannelli cristallini e imputabili al particolare processo produttivo con cui sono realizzati.

Nel caso del silicio amorfo è improprio parlare di celle fotovoltaiche: il silicio infatti viene depositato uniformemente e in piccolissime quantità su superfici plastiche o vetrate a formare un unico film sottile (o thin film) dello spessore di qualche millesimo di millimetro.

I moduli sono disponibili sia nella tradizionale struttura rigida, con telaio di rinforzo, sia in rotoli flessibili per impianti ad alta integrazione architettonica.

I moduli a film sottile di silicio amorfo o di altri materiali, tellurio di cadmio, diseleniuro di rame e indio, sono estremamente gradevoli dal punto di vista estetico. Si presentano privi dell'effetto griglia tipico dei moduli a silicio cristallino, hanno solitamente una colorazione uniforme ma possono essere richiesti anche in colorazioni diverse, sono più leggeri in quanto privi dello strato protettivo in polivinile superiore, possono più facilmente essere integrati architettonicamente e hanno particolari doti di flessibilità e leggerezza (Figg. 464, 465).

Tutte queste caratteristiche fanno del silicio amorfo la tecnologia ideale per applicazioni architettoniche avanzate, in cui è fondamentale ricercare la massima resa estetica anziché puntare unicamente sulla producibilità dell'impianto. Il costo dei moduli in silicio amorfo, per Watt installato, è inferiore anche del 30-40% rispetto alle tecnologie in silicio cristallino.

I moduli in silicio amorfo presentano bassi rendimenti elettrici, con valori compresi tra il 6 e il 10%.

Il limite principale del silicio amorfo risiede proprio nella bassa densità energetica del materiale, che costringe all'utilizzo di ampie superfici.

Se si dispone di poco spazio utile per l'installazione, il consiglio è quello di utilizzare i tradizionali moduli mono o policristallini.

Il silicio amorfo può essere un'ottima soluzione per le zone in cui la forza della radiazione solare è attenuata da caratteristiche climatiche sfavorevoli.

Al contrario, in zone particolarmente assolate come l'Italia centro-meridionale, la tecnologia fotovoltaica esprime i massimi rendimenti con i pannelli mono e poli cristallini.

Il silicio amorfo è la tecnologia fotovoltaica con il minore impatto ambientale in fase di produzione. Il particolare processo produttivo, in cui si utilizzano limitate quantità di silicio, fa sì che in circa 2 anni ogni modulo abbia già prodotto energia elettrica in quantità pari a quella utilizzata per produrlo. I 2 anni corrispondono al tempo di ritorno energetico (il cosiddetto EPBT, Energy Pay-Back Time), che arrivano fino a 6 per i moduli in silicio cristallino.

Vantaggi e svantaggi del modulo in silicio amorfo o film sottile:

- superficie occupata di maggiori dimensioni in funzione del rendimento a m<sup>2</sup>;

- efficienza 5-8% in continuo miglioramento grazie alle nuove tecnologie;

- non sensibile all'ombreggiamento;

- produce anche con cielo nuvoloso;

- sfruttamento ottimale della luce diffusa e riflessa;

- non richiede inclinazione dei pannelli;

- meno influenzato dalla temperatura;

- sfrutta più ore di luce;

- ritorno dell'investimento più rapido.

Alcuni moduli, con tecnologia HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin Layer) di Sanyo, integrano le caratteristiche del silicio cristallino (un monocristallino) e del silicio amorfo ultrasottile. Sono generalmente in grado di fornire una maggiore resa annuale, arrivando a efficienze dell'ordine del 17 > 19% contro il 14% medio dei moduli al silicio cristallino mantenendo un alto rendimento anche in caso di temperature elevate.



Fig. 464  
Modulo fotovoltaico in silicio amorfo



Fig. 465  
Esempio di applicazione del film in silicio amorfo

## 4. Produzione per l'integrazione architettonica

La tecnologia fotovoltaica integrata negli edifici non solo presenta i requisiti di qualità propri dei materiali da costruzione (resistenza meccanica, impermeabilità, isolamento termico e acustico, schermatura e protezione dal fuoco), ma offre notevoli soluzioni con un'alta valenza architettonica grazie alla loro versatilità e modularità. La decisione di utilizzare la tecnologia FV integrata in un edificio dovrebbe nascere insieme allo stesso progetto architettonico.

È proprio agli inizi che è opportuno valutare attentamente se le condizioni sono favorevoli all'applicazione, quali le condizioni macro e microclimatiche, la presenza o meno di ostruzioni fisiche che possano ostacolare la radiazione solare.

Il FV dovrà quindi essere parte dell'idea iniziale del progetto e rispondere sia alle esigenze estetiche formali richieste dagli architetti, sia alle esigenze funzionali richieste dagli ingegneri. Le ragioni per le quali si potrebbe applicare il FV sono:

- fornire in situ tutta o parte dell'energia elettrica annuale richiesta dall'edificio in modo da ridurre la bolletta energetica;

- fornire la potenza massima richiesta, o più probabilmente, una frazione di essa;

- ridurre l'impatto sull'ambiente;

- costruire un edificio innovativo dal punto di vista architettonico e ingegneristico;

- utilizzare l'edificio come esempio dimostrativo e progetto educativo.

Principali soluzioni di integrazione:

- coperture,

- facciate,

- schemature,

- sistemi di rivestimento (Figg. 466-468),

- arredo urbano.



Figg. 466-468  
Jüdische Architekt und Perraudin Architects, Accademia della Formazione, Hame-Sodingen, Germania, 1982 - 1991 Sistemi integrati nella facciata e nella copertura



Tra gli esempi più interessanti di edifici con sistemi fotovoltaici integrati, l'Ospedale Pediatrico Meyer di Firenze (Figg. 469-474) presenta un impianto composto da 181 moduli fotovoltaici realizzati con vetrocamera di diverse dimensioni; la potenza nominale complessiva è di 32000 Wp.

I moduli sono stati integrati nella facciata fotovoltaica della serra e la maggior parte ha dimensione 2200 x 938 mm per una potenza di 201 Wp, altri hanno dimensioni più piccole. Il gruppo di conversione in grado di trasformare la corrente continua in corrente alternata è stato posato sul tetto della serra; il quadro di controllo e interfaccia con la rete è ubicato al centro della serra all'interno di una struttura in legno. L'impianto realizzato è costituito da tre campi fotovoltaici, lotto est, lotto centrale e lotto ovest, ciascun campo alimenta ciascuna delle tre fasi della rete elettrica dell'ospedale. Al fine di ottimizzare il rendimento di conversione i moduli collegati a ogni inverter hanno tutti la stessa inclinazione (tolleranza ammessa fino a 6°). I moduli occupano al massimo due file contigue in modo che l'impianto possa risultare abbastanza omogeneo.

1. Lotto est  
55 moduli da 201 Wp (B1)  
12 moduli da 88 Wp (B1/2)  
5 inverter SMA SB2500

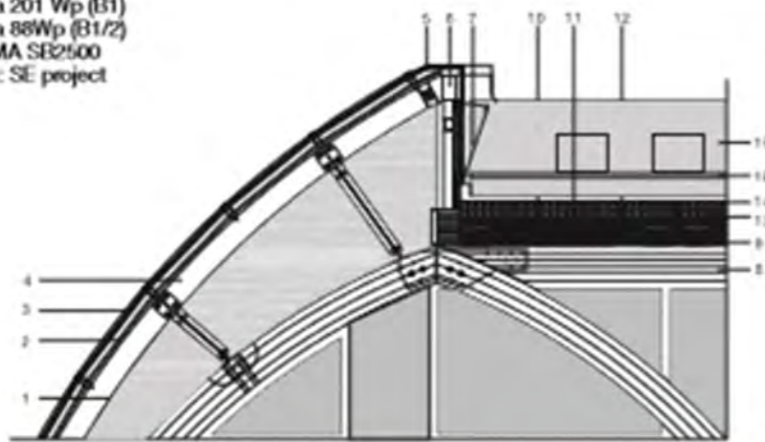
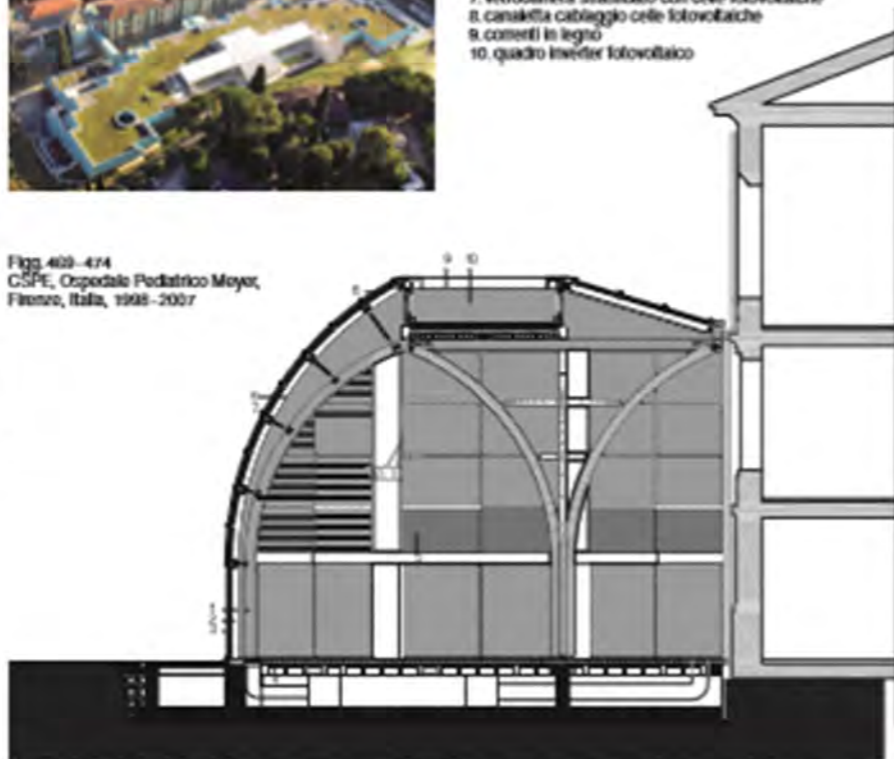
2. Lotto centrale  
35 moduli da 188 Wp (B2)  
12 moduli da 88 Wp (B2/2)  
1 inverter SMA SB3000 + 1 inverter SMA SB3300

3. Lotto ovest  
55 moduli da 201 Wp (B1)  
12 moduli da 88 Wp (B1/2)  
5 inverter SMA SB2500  
Installazione: SE project



Figg. 469-474  
CSPE, Ospedale Pediatrico Meyer,  
Firenze, Italia, 1998-2007

1. piastra in legno lamellare
2. trave tubolare in acciaio
3. vetrata continua con vetro camera stratificato
4. massetto con pannelli radianti
5. vetrocamera stratificato
6. carrier in lamiera di alluminio preverniciata
7. vetrocamera stratificato con celle fotovoltaiche
8. canalina cablaggio celle fotovoltaiche
9. cornici in legno
10. quadro inverter fotovoltaico



1. carrier in lamiera di acciaio inox preverniciata
2. canalina cablaggio celle fotovoltaiche
3. vetrocamera stratificato con celle fotovoltaiche
4. trave tubolare continua in acciaio
5. scossalina in laccato patinato
6. trave metallica riflettore
7. pannello clico con apertura automatica a ventisette
8. intradossso pialato a vista
9. cornici in legno
10. compensato per realizzazione piano rigido e pendenza 1%
11. strato isolante 4 cm
12. strato separatore
13. manto impermeabile
14. strato di ghiaietta per copertura piano
15. quadro inverter fotovoltaico
16. ripiano metallico grigliato



## Solare termico

### 1. Tipologie di collettori solari

Un collettore solare è un contenitore idoneo alla captazione dell'energia solare termica. In un collettore solare è posta una piastra captante che, grazie alla sua geometria e alle proprietà della sua superficie, assorbe energia solare e la converte in calore (conversione fototermica). Tale energia viene poi trasferita a un fluido termovettore che circola all'interno della piastra captante. La caratteristica principale che identifica la qualità di un collettore solare è l'efficienza, intesa come capacità di conversione dell'energia solare incidente in energia termica. Esistono tre principali tipologie di collettori solari:

- piani (vetrati, non vetrati),
- sottovuoto,
- a concentrazione,
- collettori solari piani.

I collettori solari piani sono diffusi e possono essere di diverse tipologie.

#### • Vetrati

Sono essenzialmente costituiti da una copertura in vetro, una piastra captante isolata termicamente nella parte inferiore e lateralmente e infine contenuti all'interno di una cassa metallica o plastica.

#### • Scoperti (non vetrati)

Sono normalmente in materiale plastico direttamente esposti alla radiazione solare. L'utilizzo di questi ultimi è, di norma, limitato al riscaldamento dell'acqua di piscine.

#### • Collettori solari a concentrazione

Sono collettori concavi progettati per ottimizzare la concentrazione dell'energia solare in un punto ben determinato (fuoco). Sono efficaci solo con luce solare diretta poiché devono seguire il movimento del sole. Questo tipo di collettore, potendo raggiungere alte temperature, è una scelta logica per generatori solari o per forni ad altissime temperature (oltre 400/500 °C). Il costo e la realizzazione per il suo equipaggiamento di inseguimento del Sole e la sua costruzione lo rende poco utilizzabile. I parametri caratteristici di un collettore solare sono:

- efficienza,
- proprietà ottiche,
- superficie con spettro selettivo,
- assorbimento,
- emissione,
- trasferimento di calore,
- isolamento,
- posizionamento.

### • Impianti solari per produzione di acqua calda sanitaria (ACS)

Gli impianti solari per produzione di acqua calda sanitaria vengono generalmente suddivisi come riportato nello schema seguente:

- A. Circolazione forzata
- B. Circolazione naturale

Il vantaggio della circolazione naturale è quello di utilizzare il calore trasportato all'interno dei collettori solari direttamente dove esso viene naturalmente accumulato, ossia nella parte più alta del collettore stesso. Posizionando, quindi, il serbatoio di accumulo a quota superiore si evitano quei componenti meccanici ed elettrici obbligatori per il corretto funzionamento di un impianto a circolazione forzata. Gli elementi costitutivi di un impianto a circolazione naturale sono:

- collettori solari,
- serbatoio di accumulo.

Il collettore piano è connesso in un circuito chiuso a un serbatoio termicamente isolato destinato all'accumulo dell'acqua calda.

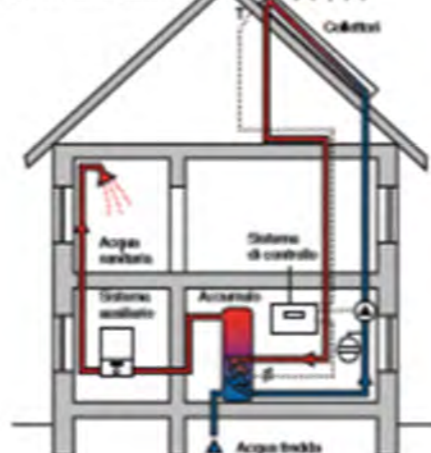
Negli impianti a scambio diretto, l'acqua scambista è la stessa che viene riscaldata nei collettori per poi risalire "per termosifone" nell'accumulatore da cui verrà prelevata per l'utilizzo. In quelli a scambio indiretto, un fluido (glicole e acqua demineralizzata) si riscalda nei pannelli solari e sempre "per termosifone" circola in uno scambiatore posto all'interno del serbatoio in cui è accumulata l'acqua calda. In fig. 475 viene illustrato, in maniera semplificata, il principio di funzionamento di un impianto in circolazione naturale.

Il principio di funzionamento di un impianto a circolazione forzata differisce da quello a circolazione naturale per il fatto che il fluido, contenuto nel collettore solare, scorre nel circuito chiuso per effetto della spinta fornita da una pompa comandata da una centralina o termostato attivata, a sua volta, da sonde poste sul collettore e nel serbatoio.

Gli elementi base costitutivi di un impianto di questo tipo sono:

- collettori solari,
- serbatoio di accumulo/scambiatori,
- termostato differenziale o centralina,
- sonde di temperatura,
- pompa di circolazione,
- vaso di espansione,
- scambiatore di calore,
- valvole.

Fig. 475  
Schema di funzionamento  
di un impianto  
in circolazione naturale



### 2. Solare termico-tubi sottovuoto

I tubi di vetro sottovuoto sono la componente chiave del collettore solare con tubi sottovuoto (Tab. 15). Ogni tubo sottovuoto consiste di 2 tubi di vetro.

Lunghezza	1500 mm
Diametro esterno	47 mm
Diametro interno	37 mm
Spessori del vetro	1,60 mm
Espansione termica	$3,50 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Materiale	Vetro borosilicato 3,30
Materie assorbenti	Al-NiN
Capacità di assorbimento	> 92% (AM 1,5G)
Emissività	< 0% (10 °C)
Sottovuoto	$P < 5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$
Temperatura di stagnazione	> 200 °C
Perdita di calore	< 8 W / (m <sup>2</sup> °C)
Massima resistenza	0,80 MPa

Tab. 15  
Caratteristiche dei collettori  
solari con tubi sottovuoto

Il tubo esterno è composto di vetro borosilicato estremamente duro, in grado di resistere a grandine maggiore di 25 mm di diametro. Anche il tubo interno è fatto di vetro borosilicato, ma rivestito con uno speciale rivestimento selettivo (AL-NiN) con eccellenti caratteristiche di assorbimento e proprietà minima di riflessione di calore.

L'aria è aspirata tra i due vetri fino a formare il sottovuoto con il quale si eliminano le perdite di calore conduttivo e convettivo. Per ottenere il sottovuoto tra i due strati di vetro è utilizzato un anello di bario (lo stesso dei tubi catodici dei televisori).

Durante la produzione questo anello è esposto ad alte temperature che causano nel fondo del tubo una copertura con uno strato puro di bario. Lo strato attivo di bario assorbe ogni particella di ossido di carbonio (CO), anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), azoto (N<sub>2</sub>), ossigeno (O<sub>2</sub>), acqua (H<sub>2</sub>O), idrogeno (H<sub>2</sub>), consentendone la fuoriuscita durante la costruzione del tubo e aiutando così a mantenere il sottovuoto.

Il colore argenteo dello strato di bario assicura la permanenza del sottovuoto; la comparsa di un alone bianco sul fondo indica la perdita del sottovuoto. Ciò consente di determinare il corretto funzionamento del tubo.

Diversamente dagli altri tipi di collettore solare, il collettore solare a tubi sottovuoto dà risultati eccellenti in giorni di cielo nuvoloso.

Questo perché i tubi sono in grado di assorbire la frazione di raggi infrarossi che attraversa le nuvole. In presenza di vento e di basse temperature i collettori solari sottovuoto offrono prestazioni migliori se comparati ai collettori a lastra piana, grazie alle proprietà di isolamento del sottovuoto.

I tubi sottovuoto sono montati in parallelo, l'angolo del montaggio dipende dalla latitudine della vostra località.

La forma dei tubi provvede a un assorbimento maggiore se comparata ai collettori a lastra piana. Poiché il tubo è tondo i raggi solari colpiscono la superficie del tubo con la giusta angolazione minimizzando la riflessione.

Se la superficie del collettore è piana, la quantità di radiazione solare che attraversa il collettore è al suo massimo solo a mezzogiorno quando, il sole è perpendicolare alla superficie del collettore.



Durante il giorno o il pomeriggio i raggi del sole colpiscono in modo obliquo la superficie del collettore e, perciò la quantità di radiazione solare a cui è esposto è ridotta. I tubi sottovuoto per la loro forma cilindrica sono attraversati da una quantità di radiazione solare relativamente costante per l'intero arco della giornata (Figg. 476, 477). Questa caratteristica massimizza la quantità totale di radiazione solare prodotta dal collettore ogni giorno. Inoltre i raggi solari attraversano i tubi a un angolo perpendicolare alla loro superficie riducendo così le perdite per riflessione.



Fig. 476  
Caratteristiche fondamentali dei tubi sottovuoto



Fig. 477  
Esempio di applicazione del solare termico con tubi sottovuoto

3. Solare termico integrato

Il Centro per la sostenibilità a Barcellona integra il sistema a tubi sottovuoto per la produzione di acqua calda sanitaria come sistema di pensilina per l'ombreggiamento della terrazza posta in copertura (Figg. 478, 479). Il solare termico che meglio si integra nelle costruzioni è quello installato in modo planare alla superficie d'involucro, diventando vero e proprio elemento di tamponamento edificio. Le applicazioni più frequenti realizzate finora si trovano in Germania e in Austria e riguardano sistemi ad acqua o ad aria.

Nella facciata con pannelli solari integrati, l'elemento captante garantisce un buon isolamento termico, poiché il pannello solare è sempre costituito da una scatola in alluminio con una parte coibentata per evitare dispersioni di calore dai tubi di rame, dove scorre il liquido termovettore. I pannelli solari, a differenza dei pannelli fotovoltaici non necessitano di ventilazione della parte a contatto con un eventuale tamponamento opaco. I collettori solari integrati in facciata garantiscono una buona produzione durante tutto l'anno (a fronte di una riduzione della produzione di acqua calda sanitaria di circa il 30% rispetto a un pannello con una inclinazione ottimale verso sud), soprattutto in zone scarsamente soleggiate dove il contributo di superfici riflettenti (naturali e artificiali, quali specchi d'acqua, neve o materiali riflettenti) può incrementare la resa anche in condizioni climatiche sfavorevoli.



Figg. 478, 479  
Centro per la sostenibilità a Barcellona



4. Sistemi ibridi

La tradizionale separazione tra solare termico e solare fotovoltaico sembra destinata a scomparire. Infatti sono in fase di sperimentazione i pannelli solari ibridi che permettono la produzione di energia elettrica e calore nello stesso momento (Figg. 480, 481). I moduli fotovoltaici convertono in elettricità solo una piccola porzione della radiazione solare, il resto (tra l'85% e il 94%) viene perso sotto forma di calore. I pannelli ibridi riescono a recuperare una buona parte di questa energia termica migliorando contemporaneamente il rendimento della produzione elettrica. I pannelli ibridi sono costituiti da moduli fotovoltaici posizionati sulla superficie assorbitiva di un collettore solare termico. In pratica il collettore termico raffredda i moduli fotovoltaici migliorandone in modo significativo il rendimento elettrico. I vantaggi pratici in particolare per le applicazioni domestiche a bassa temperatura sono facilmente intuibili:  
- la produzione e installazione dei pannelli ibridi presenta minori costi rispetto ai due pannelli prodotti e installati separatamente;  
- maggiore rendimento di superficie (o minore spazio occupato).

Un campo solare coperto con pannelli ibridi produce più energia elettrica e termica di uno coperto con collettori solari e pannelli fotovoltaici separati. I collettori flat-box hanno il vantaggio di funzionare in modo efficiente anche con la sola circolazione naturale. La presenza del vetro di copertura riduce le dispersioni frontali, contribuendo ad aumentare la resa termica, anche se può rappresentare un problema in caso di interruzione del circuito idraulico. Infatti durante i periodi di elevata insolazione, se il pannello non viene alimentato con acqua (guasto del sistema, impossibilità di accumulo nel serbatoio) la temperatura interna del pannello tende a salire (il termine tecnico è stagnazione), raggiungendo valori che possono ridurre la vita utile o addirittura danneggiare i moduli fotovoltaici. In Italia, dati i valori di radiazione solare incidente, è possibile usare vantaggiosamente anche i pannelli non vetrati pur con evidenti limiti della resa termica ottenibile. La produzione FV è abbinata al recupero di calore delle celle del pannello cristallino e permette un incremento della produzione elettrica del 15-20% su base annua. Nei prodotti commerciali le celle fotovoltaiche convertono generalmente dal 13% al 18% dell'energia radiante incidente. La restante energia resta intrappolata nella cella e ne aumenta la temperatura con conseguente perdita di efficienza di conversione delle celle fotovoltaiche.

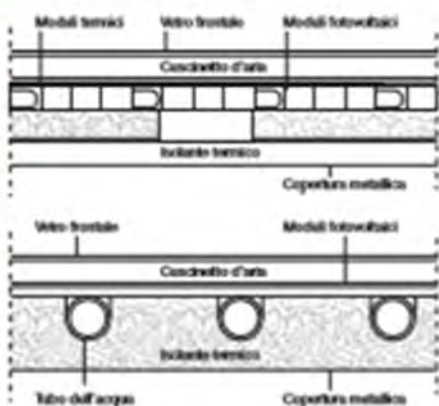


Fig. 480  
Tipologie di sistemi ibridi



Fig. 481  
Il pannello ibrido integra in una unica unità la tecnologia fotovoltaica con il solare termico

La tecnologia Fotothem® è basata sulla produzione fotovoltaica abbinata al recupero di calore dalle celle fotovoltaiche di un pannello cristallino e rivoluziona quindi la generazione fotovoltaica, permettendo un incremento della produzione elettrica (15-20% su base annua) e la generazione simultanea di energia termica. I prodotti della gamma Fotothem® sono realizzati con tecnologie e materiali che garantiscono durata e rendimenti in analogia ai tradizionali pannelli fotovoltaici. Il pannello ibrido HybridPower è un pannello fotovoltaico e solare termico in una sola unità, in grado di generare energia elettrica e termica contemporaneamente. L'HybridPower è composto da un pannello FV standard in silicio mono o policristallino con un elemento scambiatore di calore installato sulla parte posteriore del pannello, inserito all'interno di un telaio in alluminio con copertura in schiuma poliuretana di alta densità. Principali benefici del pannello HybridPower:  
- Alto rendimento termico e incremento di produzione di energia elettrica del 20% grazie al raffreddamento del modulo FV.  
- Grazie al raffreddamento delle celle solari si ottiene una maggiore durata del pannello FV.  
- Il calore generato può essere usato per preriscaldare l'acqua per uso sanitario o per un sistema di riscaldamento.  
- I pannelli ibridi hanno in media un costo del 25% inferiore rispetto a pannelli separati solari termici e FV.  
- Massimizzazione della superficie utilizzabile del tetto.  
- Elevata riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Microeolico

È l'erede dei vecchi mulini, sfrutta l'energia del vento per produrre energia meccanica o elettrica. Vengono considerate "micro" le macchine eoliche che generano potenze fino a 20 kW destinate all'autoconsumo di energia, e le macchine da 20 a 100 kW considerate di uso industriale. Utilizzate per produrre energia elettrica o meccanica; è utile per utenze isolate o collegate alla rete elettrica. L'energia prodotta con macchine eoliche di piccola taglia, singole o collegate tra loro, è generalmente utilizzata sul posto. Macchine eoliche non connesse alla rete elettrica possono alimentare utenze isolate come sistemi di telecomunicazione, stazioni di pompaggio, utenze rurali e isole. In questi casi l'energia prodotta e non consumata viene immagazzinata in un sistema di accumulo formato, nella maggior parte dei casi, da batterie. Macchine eoliche allacciate alla rete elettrica di bassa tensione possono integrare l'energia prodotta con l'energia della rete elettrica oppure vendere alla rete l'energia prodotta (la vendita di energia è consentita solo per macchine eoliche di potenza nominale superiore a 20 kW). Le pale delle macchine eoliche vengono messe in rotazione dal movimento dell'aria. L'energia così ottenuta può azionare generatori elettrici (in questo caso si dicono aerogeneratori) o azionare macchine operatrici come le pompe (in questo caso si dicono aeromotori). Le pale della macchina (comunemente tre) sono fissate su un mozzo e nell'insieme costituiscono il rotore che normalmente si posiziona controvento. Il mozzo, a sua volta, è collegato a un albero sul quale è posizionato

un freno a valle del quale si trova il generatore elettrico, da cui dipartono i cavi elettrici diretti alle utenze da alimentare o alla rete. Tutti questi elementi sono ubicati in una cabina detta navicella, o gondola, posizionata a sua volta su un supporto-cuscinetto orientabile in base alla direzione del vento. La navicella viene completata da un sistema di controllo di potenza che interrompe il funzionamento della macchina in caso di vento eccessivo. Un timone posto in coda garantisce la migliore posizione della navicella in relazione alla direzione del vento. L'intera navicella è poi posizionata su di una torre che può essere a traliccio, tubolare o ad aste stralate (Fig. 482). Gli aspetti caratteristici che differenziano una tipologia di macchina da un'altra, indipendentemente dalla taglia di potenza e quindi di dimensione, sono i seguenti:  
- sistema di controllo della potenza: a passo o a stalli,  
- velocità del rotore: costante o variabile,  
- presenza o assenza del moltiplicatore di giri.

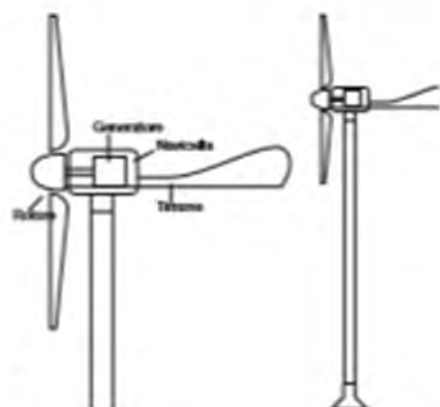


Fig. 482  
Schema di un aerogeneratore

Prerequisiti

La macchina eolica deve essere installata in un luogo ventoso; quelle attualmente in commercio necessitano di una velocità minima del vento di circa 3 m/s per entrare in funzione. Gli impianti per autoconsumo possono risultare economicamente convenienti per alimentare utenze isolate in zone ventose. Gli impianti molto più grandi riescono a sfruttare economie di scala e incentivi alla produzione di energia elettrica che ne fanno la tecnologia più competitiva rispetto alle fonti tradizionali. La produzione di energia elettrica attraverso generatori eolici esclude l'utilizzo di qualsiasi combustibile, quindi azzerò le emissioni in atmosfera di gas a effetto serra e di altri inquinanti. L'energia impiegata nel processo di fabbricazione degli impianti viene recuperata in pochi anni di funzionamento. Il microeolico rispetta l'ambiente perché ha dimensioni contenute e non disturba il paesaggio (Fig. 483). Il dimensionamento di un impianto domestico (max 200 kW destinato all'autoconsumo) è funzione di:  
- ventosità del sito;  
- area disponibile per la macchina eolica;  
- energia utilizzabile dalle utenze;  
- capitale disponibile di chi fa l'investimento.



Fig. 483  
Generatore eolico ad asse verticale

Anche se la ventosità del sito e lo spazio a disposizione consentono di installare potenze elevate, bisogna tenere in considerazione l'effettivo fabbisogno energetico dell'utenza che si intende servire, poiché l'energia elettrica prodotta e non consumata non gode della tariffa incentivante prevista dallo scambio sul posto. I rotori più piccoli adatti a minime applicazioni domestiche si attestano attorno a una potenza di 500 W a cui corrisponde un diametro minimo del rotore pari a poco più di un metro, fino ad arrivare a 8 m per taglie da 15 a 20 kW. Il dimensionamento degli impianti di potenza nominale superiore a 20 kW viene fatto per sfruttare al massimo il vento e lo spazio a disposizione e quindi per massimizzare la quantità di energia prodotta e immessa in rete. Gli aerogeneratori fino a 100 kW di potenza sono dotati di rotori di diametro fino a 20 m e possono raggiungere 20 m di altezza. Una macchina eolica è molto semplice ed è composta da:  
- rotore (pale);  
- torre di sostegno;  
- moltiplicatore di giri.  
Se la macchina viene utilizzata per produrre energia elettrica è composta anche da:  
- generatore;  
- sistema di controllo;  
- trasformatore.  
Per l'alimentazione utenze isolate occorrono:  
- batterie di accumulo;  
- inverter DC/AC (corrente continua/corrente alternata);  
- carica batterie (convertitore AC/DC) e sistema di controllo.  
Per il collegamento alla rete elettrica deve essere prevista di:  
- quadro elettrico completo di dispositivo di interfacciamento alla rete elettrica di bassa tensione;  
- sistema di controllo del parallelo alla rete elettrica di bassa tensione;  
- inverter AC/DC/AC.  
Il tempo di vita di un impianto ammonta a circa 20 anni.



## 1. TIM

I Transparent Insulation Material, brevettati per la prima volta in Germania negli anni Ottanta con la sigla TWD, sono nuovi materiali isolanti trasparenti caratterizzati dalla capacità di garantire un ottimo isolamento termico e una buona illuminazione dello spazio confinato. La ricerca tecnologica legata allo sviluppo di questi materiali isolanti traslucidi è conseguenza di studi condotti in ambito biologico in merito alle caratteristiche della pelliccia dell'orso bianco, in grado di garantire a questo mammifero una temperatura corporea tale da permettergli la sopravvivenza in ambienti molto freddi. Gli studi condotti in questo settore scoprono che il manto di questo animale è costituito da sottili peli tubolari e cavi che incanalano la radiazione solare dall'esterno fino alla massa corporea, trasformandola in calore. L'analisi delle caratteristiche della pelliccia animale condusse i ricercatori tedeschi a sviluppare un materiale che, per analogia di conformazione fisica, garantisca le stesse prestazioni anche nel settore edilizio.

Nacquero quindi i TIM, materiali plastici o vetrosi, trasparenti nel visibile e nel vicino infrarosso, realizzati con una struttura capillare a nido d'ape che riduce, grazie alla particolare composizione materica e geometrica, gli scambi radiativi e blocca i moti convettivi dell'aria. La traslucenza dei materiali utilizzati per la loro realizzazione ne garantisce un'elevata trasparenza che favorisce l'illuminazione diffusa dello spazio confinato, anche nelle situazioni in cui l'ambiente presenta dimensioni in profondità elevate.

I TIM possono essere classificati in relazione alla struttura geometrica del materiale che li costituisce, che può essere parallela o perpendicolare alla superficie vetrata (Fig. 484).

-I pannelli con fibre parallele hanno uno spessore tra 1 o 2 mm, e sono particolarmente indicati nelle applicazioni edilizie.

Sono particolarmente indicati nella realizzazione di strutture a elevata capacità isolante ma riducono la trasmissione della radiazione solare verso l'interno.

-I pannelli con fibre perpendicolari sono caratterizzati da una maglia a nido d'ape dalle dimensioni di qualche centimetro e sono particolarmente indicati per la realizzazione di superfici che convergono la luce verso determinate direzioni.

In relazione alle caratteristiche di trasmissione della radiazione solare possiamo inoltre distinguere due sistemi.

-Opachi, a parete massiva.

Si tratta di sistemi che sfruttano il principio del riscaldamento di uno strato di assorbimento, spesso costituito da una parete piana con elevata massa di accumulo termico applicata in aderenza allo strato isolante termico traslucido. In presenza di una facciata continua, invece, è lo strato isolante (ad esempio lana di roccia) a svolgere la funzione di massa termica e a restituire calore all'interno dell'ambiente. La funzione di protezione degli agenti atmosferici è svolta da uno strato di vetro antipisto al sistema.

Il pannello di TIM anteposto alla parete di accumulo permette di trasformare il 95% della

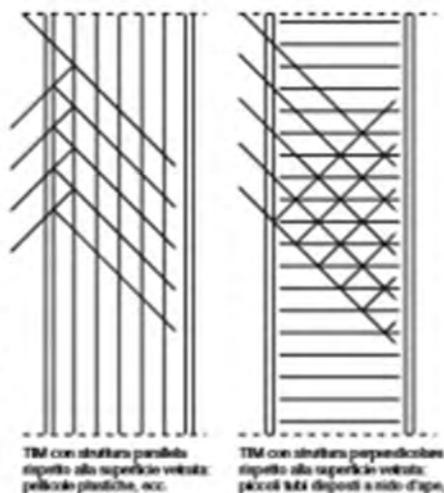


Fig. 484  
Tipologie di struttura geometrica del TIM

radiazione solare assorbita in calore, impedendo di disperdere successivamente il calore verso l'esterno in tempi inferiori alle 7 ore. Questi sistemi di isolamento comportano tuttavia situazioni di surriscaldamento nei mesi estivi, durante i quali è bene prevedere una loro opportuna schematura.

-Traslucidi, a guadagno diretto.

Si tratta di dispositivi formati da vetri speciali; in questo caso il TIM viene inserito tra due strati di vetro, garantendo una buona illuminazione naturale dello spazio confinato a fronte di buone prestazioni di isolamento termico.

Un pannello di isolante termico trasparente capillare in policarbonato con celle del diametro di 3 mm e uno spessore di 50 mm, incapsulato tra due vetri chiari da 4 mm separati da un distanziatore in alluminio e da una guarnizione in polisobutilene, ha una trasmittanza di 1,3 W/m<sup>2</sup>K; tali prestazioni termiche possono essere migliorate aumentando lo spessore del materiale e/o utilizzando vetrate basso-emissive per il tamponamento esterno, portando il valore di trasmittanza termica fino a 0,8 W/m<sup>2</sup>K22.

## 2. PCM

I Phase Change Materials, o materiali a cambiamenti di fase, limitano le dispersioni di calore tra l'interno e l'esterno di un edificio attraverso l'uso di pannelli caratterizzati da spessori ridotti. I PCM sono materiali solidi a temperatura ambiente, ma capaci di liquefarsi quando esposti a una temperatura superiore. In questo modo essi accumulano in forma latente l'energia che li colpisce, senza aumentare la loro temperatura.

Quando vengono riportati al di sotto della temperatura di soglia il ciclo si inverte, il materiale torna allo stato solido e cede calore all'ambiente, funzionando così da volano termico.

Nei PCM il calore si trasforma in energia chimica durante il cambiamento di fase (da solido a liquido, da liquido a gassoso) e il materiale subisce una modifica della struttura interna (Fig. 485). Le proprietà possono essere sfruttate solo in corrispondenza di determinate temperature esterne che ne rendono particolarmente adatto l'utilizzo sia nei mesi invernali sia in quelli estivi.

I pannelli in PCM sono solitamente realizzati con paraffina, un idrocarburo saturo a catena aperta, utilizzato come inerte micro-capsulato da mescolare all'interno di altri materiali, ad esempio nei pannelli in cartongesso o in fibra di legno. Grazie alla tecnologia Micronal<sup>®</sup> recentemente sviluppata da BASF, oggi sono disponibili materiali da costruzione a cambiamento di fase che permettono di aumentare l'inerzia termica degli elementi edili senza aumentare la massa, conciliando così benessere termico e leggerezza.

Le sfere possono essere facilmente incorporate nei comuni materiali da costruzione, già disponibili sul mercato: le matite per intonaco interno a a base di gesso Maxit Klima prodotte da Maxit e le lastre di cartongesso PCM 23-26 di Knauf, che con 15 mm di spessore offrono una capacità di accumulo termico pari a quella di un muro in mattoni pieni da 12 cm o in calcestruzzo da 9 cm, ma con una massa quasi 10 volte inferiore.

Per la loro capacità di cambiare struttura molecolare in relazione alle sollecitazioni termiche esterne, i PCM risultano particolarmente adatti per essere applicati anche in climi temperati come quelli del Sud Europa dove garantiscono un buon comportamento in termini di inerzia termica anche nei mesi estivi.

I PCM sono stati utilizzati da una azienda tedesca per brevettare innovativi componenti di facciata trasparenti dotati di porzioni multicamera totalmente trasparenti e porzioni traslucide, proprio grazie alla presenza di PCM nella camera più interna della vetrata. Dall'esterno verso l'interno l'intero pacchetto è quindi composto da: un primo vetro con camera d'aria contenente un selettore prismatico (in grado di captare l'energia solare invernale e riflettere quella estiva); un secondo vetro che introduce una camera isolata con gas nobile; quindi un terzo vetro oltre il quale si trovano i contenitori dei materiali a cambiamento di fase e il vetro finale verso lo spazio abitato.

In sostanza si tratta di una facciata dotata di quattro porzioni vetrate e tre camere: la prima eliosellettiva, la seconda isolante e la terza saturata da materiali a inerzia termica artificiale programmabile. Questo innovativo sistema di facciata, basato su una stratigrafia alquanto semplice, riesce a conferire un'immagine mutevole e dinamica all'edificio grazie alla diversa colorazione assunta dai sali o dalle paraffine nei diversi stati. Le paraffine, derivate dagli idrocarburi, impiegate nei PCM in un ciclo sinusoidale di scarico e carico termico possono essere utilizzate in chiave sostenibile e non devono essere dismesse in ambiente.

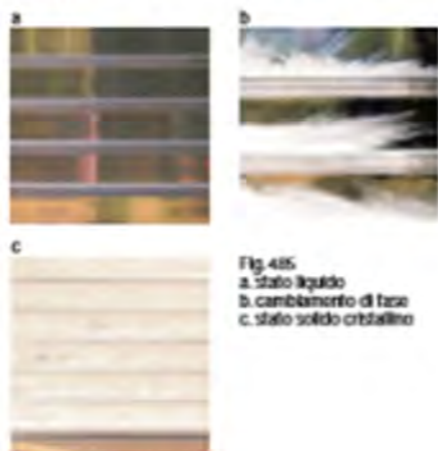


Fig. 485  
a. stato liquido  
b. cambiamento di fase  
c. stato solido cristallino

## 3. ETFE

ETFE, ossia etilene tetrafluoro etilene o come vuole la nomenclatura UPAC poli (etilene-co-tetrafluoroetilene).

Il nome non è dei più semplici ma si sta facendo notare come uno dei materiali di maggiore interesse nell'architettura moderna, poiché consente ai progettisti di ripensare l'involucro esterno degli edifici come una pelle leggera e dall'apparenza soffice come bolle di sapone.

Non proprio un colpo di fulmine dato che questo materiale plastico trasparente è stato immesso nella produzione intorno agli anni Settanta (nonostante il brevetto fosse degli anni Quaranta). Per la precisione fu la francese Dupont a realizzare per la prima volta un fluoropolimero da utilizzare come materiale isolante nel settore aeronautico e risolvere così in un'unica soluzione l'esigenza di un composto a elevata resistenza alla corrosione con un ampio intervallo di temperatura.

Negli ultimi due decenni questa tecnologia è stata utilizzata nell'Eden Project, in Cornovaglia (Figg. 486-490) e successivamente nei due spettacolari edifici cinesi di Beijing: il National Aquatic Center (PTW Architects) e il National Stadium (Herzog & de Meuron). A rendere altitante dal punto di vista progettuale questo materiale è innanzitutto la leggerezza: solo un centesimo del peso posseduto dal vetro a fronte di capacità di trasmettere la luce visibile del 94-97% per un irraggiamento dai 400 ai 600 Nm e una perfetta permeabilità ai raggi ultravioletti. Il materiale in questione

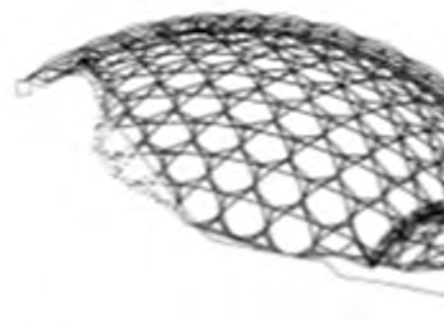
può contare fra i suoi vantaggi una temperatura di fusione molto elevata, eccellenti proprietà di resistenza chimica, elettrica e alle radiazioni ad alta energia, oltre a costi di trasporto e installazione notevolmente contenuti proprio per via del suo peso estremamente basso (350g/m<sup>2</sup>). Si è fatto notare soprattutto per tre qualità non da poco: è in grado di sopportare 400 volte il proprio peso, è autopulente grazie alla propria superficie antiaderente e completamente riciclabile.

La pellicola ETFE ha, inoltre, una forza di trazione di circa 42 N/mm<sup>2</sup> (6100 psi) con un intervallo di temperatura di funzionamento tra i -185°C e i 150°C.

Tra le realizzazioni entrano gli impianti cinesi sopraccitati, gioielli tecnologici realizzati in occasione delle passate Olimpiadi 2008, partono dalla sperimentazione dell'ETFE seppure con modalità e risultati differenti.

Nel Watercube il materiale è servito sia in termini estetici, a fornire l'aspetto di bolle di sapone irregolari, a copertura della megapiscina, sia in termini energetici, a conformare la struttura ai canoni dell'ecosostenibilità ricercati dagli organizzatori dei Giochi. Favorendo la luce naturale il materiale cattura il 20% dell'energia solare incidente sull'edificio ri-destinandola al riscaldamento delle vasche e riducendo pertanto i consumi elettrici.

Storia differente per lo Stadio Nazionale, dove il polimero termoplastico è stato funzionale al rivestimento della griglia esterna di elementi in acciaio intrecciati a cui deve, appunto, il nome di "Bird's Nest".



Figg. 486-490  
Nicholas Grimshaw  
& Partners Ltd,  
The Eden Project,  
Warm Temperate Biome,  
Humid Tropical Biome  
and Biome Link Building,  
Bodelva, Cornwall, UK,  
1996-2001