

Fra le diverse tecnologie messe a punto per lo sfruttamento dell'energia solare, quella fotovoltaica è la più innovativa e promettente, a medio e lungo termine, in virtù delle sue caratteristiche di modularità, semplicità, affidabilità, ridotte esigenze di manutenzione ed in continuo progresso.

L'integrazione strutturale, elettrica e architettonica dei sistemi fotovoltaici negli edifici, permette di ridurre in maniera consistente il costo degli impianti, per la parte relativa al generatore vero e proprio, che costituisce una parte rilevante dell'installazione.

A causa della continua crescita della popolazione mondiale e dei relativi fabbisogni, la problematica energetico-ambientale rappresenta negli ultimi anni uno degli argomenti di maggiore interesse, a livello tanto scientifico, quanto politico e sociale. I paesi industrializzati si trovano oggi a dover elaborare, improrogabilmente, delle soluzioni contro il progressivo degrado dell'ecosistema del pianeta, dovuto all'evoluzione intensiva delle attività umane.

Questo libro intende fornire un repertorio di soluzioni architettoniche e tipologiche per l'integrazione architettonica della tecnologia fotovoltaica, oltre che un repertorio di prodotti, facili da installarsi, in modo da informare progettisti e tecnici del settore sullo sviluppo e sulle possibilità che questa tecnologia offre. Nel solo settore edilizio, il fotovoltaico rappresenta, al giorno d'oggi, una tecnologia prossima alla maturità e caratterizzata da innumerevoli vantaggi che consistono: nel ridotto impatto ambientale, nella possibilità di produzione decentrata dell'elettricità direttamente nei luoghi di utilizzo (con particolare riferimento alle utenze remote o isolate), nella modularità delle realizzazioni possibili (che possono variare da propria taglia da installazioni della potenza di pochi watt alle grandi centrali da alcuni megawatt), il progressivo sviluppo del settore, inoltre, lascia prevedere buone prospettive commerciali e occupazionali, che andrebbero a sommarsi ai benefici ambientali ottenibili.



**GIORGIO RAFFELLINI**, laureato in Ingegneria elettronica presso l'Università di Bologna, è Prof. Ordinario di "Fisica Tecnica Ambientale ed Impianti Tecnici", ed incaricato di "Tecnologia delle Fonti d'Energia Rinnovabili", presso la Fac. d'Architettura dell'Univ. di Firenze. Docente a vari Corsi post-universitari di Specializzazione e di Perfezionamento in varie sedi. È Direttore del Laboratorio di Fisica Tecnica Ambientale dell'Univ. di Firenze. Dal 1997 ad oggi, è nominato Energy Manager dell'Università di Firenze.

**MARCO SALA**, laureato in Architettura presso l'Università di Firenze, è Prof. Ordinario di "Tecnologia dell'Architettura", ed incaricato di "Laboratorio di sintesi finale" presso la Fac. d'Architettura dell'Univ. di Firenze. Direttore vicario e fondatore del Centro Interuniversitario di Ricerca ABITA (Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'Ambiente) fra gli Atenei di Firenze, Roma, Napoli e Milano e docente in corsi di perfezionamento in tecnologia per il risparmio energetico alle Università di Firenze, Roma e Bologna. Coordinatore del Master Universitario di II livello ABITA (Progettazione sostenibile dell'ambiente costruito) alla Facoltà di Architettura di Firenze. L'attività professionale e di ricerca è rivolta prevalentemente agli aspetti energetici in architettura e più specificatamente nell'ambito della "Architettura Bioclimatica", tendente ad ottimizzare i rapporti dell'architettura con il clima, ai fini di un risparmio energetico e nel quadro di una consapevole salvaguardia ambientale.

**LUCIA CECCHERINI NELLI** architetto, laureata presso la Facoltà di Architettura di Firenze nel 1986. Dal 1990 collabora all'attività didattica e di ricerca nel Dipartimento di Progettazione e dal 1992 nel Dipartimento di Tecnologia dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini", e con il Centro Interuniversitario Abita, dove svolge il dottorato di ricerca dal 2000 in Tecnologia dell'Architettura. L'attività di ricerca è volta principalmente alle tecnologie innovative e al risparmio energetico negli edifici, ed in tale ambito è autrice di diverse pubblicazioni: (1993) *Tecnologie Solari*, (1994) *Tecnologia bioclimatica in Europa e (2000) Schermature Solari*, (2002) *Integrazione architettonica del fotovoltaico*, 13 casi studio in Toscana, (2004) *Economia della Sostenibilità*, (2004) *Impianto fotovoltaico integrato da 20 kWp per l'edificio aule e biblioteca a Sesto Fiorentino*, oltre a numerosi saggi e articoli pubblicati in riviste e manuali del settore. Nell'ambito dell'architettura sostenibile e energie rinnovabili collabora alla realizzazione di diverse mostre di architettura in Italia e all'estero e all'organizzazione di convegni e concorsi internazionali. Partecipa alla progettazione di diversi edifici, studiando sistemi integrati per la riduzione dei consumi e tecnologie integrate che utilizzano l'energia fotovoltaica.

**FRANCESCO CARIELLO**, laureato in Ingegneria Elettrica presso l'Università di Padova, si è specializzato in impianti di produzione, con particolare interesse nel settore delle fonti rinnovabili. Ha acquisito un'ottima conoscenza dei sistemi fotovoltaici anche grazie all'attività svolta nell'ambito dei programmi ministeriali "Tetti fotovoltaici" e "Isole Minori"; ha partecipato alla progettazione e alla realizzazione di numerosi impianti connessi alla rete anche ad alta valenza architettonica. Coordina partenariati europei ed internazionali nello sviluppo di progetti di promozione e sviluppo delle fonti rinnovabili di energia. È autore di diversi articoli scientifici sull'argomento. Collabora con agenzie energetiche e con amministrazioni pubbliche per la realizzazione di interventi di risparmio energetico.





CENTRO INTERUNIVERSITARIO ABITATA  
sede di FIRENZE

Lucia Ceccherini Nelli

# FOTOVOLTAICO IN ARCHITETTURA

Presentazione di Giorgio Raffellini  
Introduzione del curatore della collana Marco Sala  
Contributi di Francesco Cariello

 **ALINEA**  
EDITRICE



© copyright ALINEA EDITRICE s.r.l. - Firenze 2006  
50144 Firenze, via Pierluigi da Palestrina, 17/19 r  
Tel. +39 055 33428 - Fax +39 055 331013

*tutti i diritti sono riservati:*

*nessua parte può essere riprodotta in alcun modo (compresi fotocopie e microfilms) senza il permesso scritto dalla Casa Editrice*

e-mail ordini@alinea.it  
http://www.alinea.it

ISBN 88-6055-085-8

finito di stampare Ottobre 2006

Progetto editoriale, progetto grafico e copertina:  
Lucia Ceccherini Nelli

Fotografia in fronte copertina, Polo Universitario di Sesto Fiorentino:  
Francesco Cariello  
Fotografie in retrocopertina: Mario Faraoni, Lucia Ceccherini Nelli

Stampa: Lito Terrazzi - Impruneta (Firenze)

Ringraziamenti:

Ringrazio Claudia Rubini e Giovanni Calvani per il prezioso contributo per il reperimento di materiale fotografico di alcuni edifici del quartiere di Ameersfoort in Olanda, Mario Faraoni, Giulia Lusuardi e Tiziana Bruni nell'aver contribuito con materiale fotografico di alcuni edifici in Germania, Tanja Kolibius per le preziose informazioni su alcuni impianti fotovoltaici in Germania.

Un ringraziamento al professore Giorgio Raffellini, energy manager dell'Università degli Studi di Firenze per la sua disponibilità e per la fiducia accordatami nella progettazione dell'impianto fotovoltaico del Polo Universitario di Sesto Fiorentino.

Ringrazio infine il professore Marco Sala, direttore vicario del Centro ABITA, per il suo apporto scientifico a questo testo con la sua esperienza pluriennale nel campo delle energie rinnovabili.

*Volume a cura di Lucia Ceccherini Nelli*

**ABITA - CENTRO INTERUNIVERSITARIO - Firenze**

Via S. Niccolò 89a 50125 Firenze

e-mail: master.abita@taed.unifi.it web: http://web.taed.unifi.it/abitaweb/



CENTRO INTERUNIVERSITARIO ABITA  
sede di FIRENZE

LUCIA CECCHERINI NELLI

# FOTOVOLTAICO IN ARCHITETTURA

Presentazione di Giorgio Raffellini  
Introduzione del curatore della collana Marco Sala  
Contributi di Francesco Cariello

 **ALINEA**  
EDITRICE



# INDICE

<b>Premessa introduttiva</b> <b>Lucia Ceccherini Nelli</b>	7
<b>Presentazione</b> <b>Giorgio Raffellini</b>	8
<b>Introduzione del curatore della collana</b> <b>Energie rinnovabili e sostenibilità</b> <b>Marco Sala</b>	13
<b>PARTE PRIMA-La tecnologia fotovoltaica: funzionamento, dimensionamento e valutazioni economiche</b> <b>Francesco Cariello</b>	23
Introduzione	24
1.1. I processi fisici	24
1.1.1. La luce	25
1.1.2. Funzionamento di una cella	26
1.2. Le caratteristiche elettriche della cella	28
1.2.1. I moduli	29
1.3. I materiali	30
1.3.1. Il Silicio	30
1.3.2. Policristallini a film sottile	31
1.3.3. Monocristallini a film sottile	32
1.4. Gli impianti fotovoltaici	32
1.4.1. Gli impianti connessi alla rete (Grid connected)	32
1.4.2. Gli impianti isolati (stand alone)	34
1.5. Componenti del sistema	35
1.5.1. Moduli e stringhe	35
1.5.2. Il B.O.S. e le strutture di supporto	35
1.6. Dimensionamento preliminare di un impianto	36
1.7. I dati solari	36
1.8. Analisi della superficie a disposizione	37
1.9. Analisi del fabbisogno elettrico	37
1.10. Calcolo della producibilità	38
1.10.1. Verifica del corretto accoppiamento delle stringhe di un campo fotovoltaico con il convertitore statico (inverter)	38
1.11. Analisi dell'investimento	41
1.11.1. Sistemi di incentivazione in Italia – Il conto energia	41
1.11.2. Il Fotovoltaico	42
1.11.3. Il decreto 28 Luglio 2005	42
1.11.4. Tempi di ritorno – guadagni	43
Esempio di impianto < 20 kWp <sup>5</sup> :	
Esempio di impianto da 30 kWp.	
1.11.5. Benefici ambientali	44

<b>PARTE SECONDA - Il fotovoltaico per l'architettura, produzione e caratteristiche</b>	<b>45</b>
<b>Lucia Ceccherini Nelli</b>	
2.1. Sviluppo storico dell'energia fotovoltaica	46
2.2. La tecnologia fotovoltaica	47
2.3. Scelta dei materiali FV per l'integrazione architettonica	48
2.3.1. La cella	48
2.3.2. Silicio monocristallino, policristallino e amorfo	48
2.3.3. Il processo produttivo delle celle FV	49
2.3.4. Celle ad elevato rendimento	52
2.3.5. Le celle fotovoltaiche semitrasparenti	54
2.3.6. Celle colorate	55
2.3.7. Film sottili	56
2.3.8. I moduli	57
2.3.9. Celle organiche	60
<b>PARTE TERZA - Tipologie di integrazione</b>	<b>63</b>
<b>Lucia Ceccherini Nelli</b>	
3.1. Integrazione architettonica del fotovoltaico per la valorizzazione energetica delle aree urbane	64
3.2. Integrazione architettonica fotovoltaica– Criteri di progettazione	65
3.2.1. Ubicazione dell'impianto fotovoltaico	65
3.2.2. Tecnologie solari passive integrate con sistemi fotovoltaici	66
3.2.3. Le tipologie architettoniche fotovoltaiche principali	67
3.3. Tecnologie di integrazione	70
3.4. Coperture inclinate e piane sovratetto	72
3.4.1. Lucernari	76
3.5. Coperture a shed e curve	78
3.5.1. Shed e altre soluzioni di illuminazione dalla copertura	78
3.5.2. Coperture curve	78
3.6. Sistemi integrati nelle facciate	80
3.7. Sistemi di schermatura	83
3.8. Elementi di rivestimento	86
3.9. Parapetti e fioriere	88
3.10. Pensiline	89
3.11. Il fotovoltaico integrato nell'arredo urbano	90
<b>PARTE QUARTA - Mercato e produzione</b>	<b>93</b>
<b>Lucia Ceccherini Nelli</b>	
4. Il mercato fotovoltaico	94
4.1. Il mercato fotovoltaico mondiale	94
4.2. L'industria Internazionale per l'integrazione architettonica del FV	94
4.3. Il mercato italiano	95
4.3.1. La normativa vigente per le applicazioni fotovoltaiche	95
4.3.2. Regolamenti economico-fiscali riguardanti la vendita di energia elettrica	96
4. 4 Designer fotovoltaici	97

<b>La produzione - schedatura dei prodotti</b>	99
P.c. Coperture fotovoltaiche	100
P.f. Moduli per facciata	118
P.s. Profili di sostegno per coperture inclinate	126

<b>Schede progetti</b>	137
<b>Lucia Ceccherini Nelli</b>	

<i>Indice Schede progetti</i>	140
-------------------------------	-----

**A. Realizzazioni e progetti di architetture integrate con sistemi FV**

A.1. Insedimenti urbani	145
A.2. Edilizia residenziale	167
A.3. Edifici per uffici, Istituti finanziari e Hotel	209
A.4. Centri di ricerca e culturali, musei	259
A.5. Edifici scolastici, Biblioteche e Accademie	303
A.6. Edifici industriali, fieristici, commercio e Stazioni	347
A.7. Chiese, orologi, parcheggi e altre applicazioni.	401

<b>Programmi di simulazione energetica</b>	429
<b>Lucia Ceccherini Nelli</b>	

<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI e WEB LINK</b>	443
---	-----



# Premessa introduttiva

**Lucia Ceccherini Nelli**

Fra le diverse tecnologie messe a punto per lo sfruttamento dell'energia solare, quella fotovoltaica è la più innovativa e promettente, a medio e lungo termine, in virtù delle sue caratteristiche di modularità, semplicità, affidabilità, ridotte esigenze di manutenzione ed in continuo progresso.

L'integrazione strutturale, elettrica e architettonica dei sistemi fotovoltaici negli edifici, permette di ridurre in maniera consistente il costo degli impianti, per la parte relativa al generatore vero e proprio, che costituisce una parte rilevante dell'installazione.

A causa della continua crescita della popolazione mondiale e dei relativi fabbisogni, la problematica energetico - ambientale rappresenta negli ultimi anni uno degli argomenti di maggiore interesse, a livello tanto scientifico, quanto politico e sociale. I paesi industrializzati si trovano oggi a dover elaborare, improrogabilmente, delle soluzioni contro il progressivo degrado dell'ecosistema del pianeta, dovuto all'evoluzione intensiva delle attività umane.

Nel solo settore edilizio, il fotovoltaico rappresenta, al giorno d'oggi, una tecnologia prossima alla maturità e caratterizzata da innumerevoli vantaggi che consistono: nel ridotto impatto ambientale, nella possibilità di produzione decentrata dell'elettricità direttamente nei luoghi di utilizzo (con particolare riferimento alle utenze remote o isolate), nella modularità delle realizzazioni possibili (che possono variare la propria taglia da installazioni della potenza di pochi watt alle grandi centrali da alcuni megawatt). Il progressivo sviluppo del settore, inoltre, lascia prevedere buone prospettive commerciali e occupazionali, che andrebbero a sommarsi ai benefici ambientali ottenibili. Il mercato della tecnologia fotovoltaica, tuttavia, è ancora penalizzato dalla distanza tra il costo attuale degli impianti (e quindi, dell'energia ottenibile) e la competitività rispetto alle fonti convenzionali. Per ridurre questo divario, oltre che sui risultati della ricerca bisogna poter contare su di un'efficace strategia economica in grado di convincere i produttori e possibili utenti.

Lo sviluppo della tecnologia FV, soprattutto sotto il profilo economico, non rende nell'immediato significativi risultati, anche se negli ultimi anni, il prezzo dei moduli FV è diminuito in modo determinante.

Questa tecnologia è da ritenersi di una valenza strategica tanto elevata che molti governi nazionali hanno deciso di utilizzarla in importanti progetti, come ad esempio alcuni edifici governativi della Germania.

Il sole è un'inesauribile fonte di energia che utilizziamo in maniera sempre più efficiente. Tramite le celle fotovoltaiche siamo in grado di generare elettricità direttamente dal sole. La tecnologia fotovoltaica, soprattutto se utilizzata come elemento integrante degli edifici, offre elevate possibilità di utilizzo. Per questo motivo lo sviluppo del mercato di questa tecnologia innovativa ricopre un ruolo importante e decisivo nel cammino verso un futuro più sostenibile e nel comune impegno per scongiurare il pericolo delle alterazioni climatiche.

Attualmente è possibile assistere in tutta Europa alla realizzazione di un grande numero di progetti fotovoltaici che presentano caratteristiche diverse per progettazione, applicazioni e meccanismi di finanziamento; in molti casi è risultato decisivo il ruolo svolto dalle Amministrazioni Pubbliche. E' riscontrabile una tendenza positiva del numero di Amministrazioni Pubbliche che puntano all'inserimento dei sistemi fotovoltaici integrati negli edifici nell'ambito delle politiche di pianificazione urbanistica.



*Alcuni esempi di integrazioni FV*

# Presentazione

*Giorgio Raffellini*



*Gruppo di abitazioni in Germania con coperture integrate con FV*

Fin da Adamo ed Eva la prima fonte di energia utilizzata è stata quella solare , successivamente l'uomo ha scoperto il fuoco , l'energia idraulica ed eolica, e da allora la situazione per secoli è restata sostanzialmente stabile , fino all'invenzione della macchina a vapore, cui è seguito l'enorme sviluppo verificatosi negli ultimi due secoli, quando il consumo energetico su base mondiale è cresciuto circa stabilmente ad un tasso medio intorno al 2,3 per cento.

Questa fame di energia, ora accentuata anche in Paesi, cosiddetti in via di sviluppo, fra i quali i principali consumatori sono: Cina, India , Taiwan, Vietnam, accresce via via importanti problemi già evidenziatisi con grande clamore . Infatti forti difficoltà insorgono per :

- tutte le nazioni che debbono procurarsela in larga misura, importandola da altri paesi, e tale dipendenza si verifica sia in termini economici che sotto ogni profilo relazionale,
- le tensioni sia politiche che economiche, che troppo spesso si sono verificate negli anni recenti, tanto che talvolta sfociano in eventi drammatici, anche con molti paesi coinvolti (es. conflitto in Iraq),
- conseguenti inquinamenti ambientali (aria, acque, terra) , sia nel tragitto fra luoghi di produzione e quelli di utilizzo, sia nell'utilizzazione diretta (es. combustioni).

Pare quindi necessario, anzi vitale per le varie Nazioni e per il pianeta, da un lato limitarne sensibilmente le quantità richieste , e dall'altro sostituire, con forti accelerazioni, i combustibili fossili (petrolio, gas, carbone) con fonti di energia rinnovabili (sole, vento, acqua), che hanno ottime caratteristiche potenziali.

Ciò è potenzialmente possibile : basti pensare che il consumo complessivo legato oggi alle attività dell'uomo è comunque solo 1/10.000 dell'energia proveniente dal sole ed incidente sulla superficie terrestre.

Secondo recenti studi (Greenpeace e EPIA), lo sviluppo dell'utilizzazione dell'energia solare pare finalmente consistente in molti Paesi, tanto



da giustificare l'asserto della sua entrata nella seconda generazione di sistemi impiantistici atti ad utilizzarla. Si prevede, infatti, che entro i prossimi quindici anni (2020) almeno un milione di persone solamente in Italia utilizzerà energia solare per i suoi fabbisogni energetici, con molti vantaggi:

- riduzione delle importazioni di combustibili fossili,
- forte incremento del commercio e del giro d'affari, e, se vi sarà un adeguato sviluppo tecnologico,
- aumento sensibile dei posti di lavoro.
- forte riduzione delle emissioni inquinanti: circa 170 milioni di tonnellate di gas serra per ogni anno.

Ancora, secondo l'analisi dell'IEA, tra il 2000 ed il 2030 è prevedibile un raddoppio dei consumi mondiali di energia elettrica, principalmente a causa dell'aumento della domanda nei Paesi in via di sviluppo.

I candidati ideali per rompere tale circolo vizioso tra il progresso economico e le sue ripercussioni ambientali e sociali sono:

- I. "risparmi e recuperi energetici", che è auspicabile siano sempre più perseguiti,
- II. l'uso dell'energia solare,
- III. l'uso dell'idrogeno,
- IV. il largo ricorso alle energie alternative: vento, acque, biogas, ecc...

Riguardo alla captazione della risorsa solare, dopo una discreta diffusione di impianti con collettori solari, quasi esclusivamente ad acqua, verificatasi in Italia negli anni 75-80, per almeno vent'anni l'energia solare come fonte alternativa è stata pressochè ignorata. Peraltro, pure in questi ultimi anni non si sono verificati in Italia nè l'elargizione di sostanziosi incentivi pubblici, nè apprezzabili spinte mediatiche degli organi d'informazione, al contrario di altri Paesi, ad esempio la Germania dove questi eventi si sono attuati in misura significativa, anche se con condizioni d'irraggiamento solare assai minore di quello che si verifica in Italia, specialmente delle aree centro meridionali ed insulari.

Dovrà quindi essere dato un forte impulso, in fondi ed in battaglie di informazioni, verso l'uso



*Imbarcazione solare*



*Intervento Bed Zed, zona periferica di Londra.*



*Intervento di Amersfoor, Olanda*



*Integrazione fotovoltaica come elementi di rivestimento - BP solar*



*Moduli FV BP solar in copertura.*

diffuso di sistemi solari attivi e di impianti fotovoltaici.

Riguardo a questi ultimi, un paio di anni fa è stata lanciata una prima campagna "tetti fotovoltaici" finanziata con fondi pubblici, per rendere tali impianti, i cui costi sono attualmente improponibili nell'ottica di mercato, circa competitivi con altri metodi di produzione dell'energia elettrica. Proprio di questa promozione anche l'Univ. Di Firenze, come altre Univ. e vari Enti Pubblici, ha inteso avvalersi per realizzare un primo impianto campione, ed è parso opportuno che essa venisse attuata nel Polo di Sesto Fiorentino, di recente avvio e proprio nell'edificio di Fisica, per l'evidente assonanza e compatibilità scientifica.

Appunto questi impianti fotovoltaici vengono ritenuti da molti esperti i principali candidati ad assumere il ruolo di reali fonti alternative, in particolare di energia elettrica, nel lungo termine. Essi si basano sull'ottenimento di una forza elettromotrice da celle fotovoltaiche (FV) che consente di trasformare direttamente l'energia solare in energia elettrica, basandosi sulle proprietà di alcuni materiali semiconduttori (fra cui il silicio, cioè il secondo elemento più diffuso in natura dopo l'ossigeno), che opportunamente trattati (drogati) ed interfacciati, sono in grado di generare elettricità se colpiti dalla radiazione solare, in misura dipendente dall'intensità della stessa. Più precisamente la cella FV è composta da una fetta di silicio, che deve essere appunto "drogato" mediante l'inserimento su una faccia di atomi di boro (drogaggio p) e sull'altra faccia con piccole quantità di fosforo (drogaggio n). Questo drogaggio serve per rendere questa fetta carica in maniera differente sulle due facce, negativa e positiva, per creare un diverso potenziale, infatti nella zona di contatto tra i due strati a differente drogaggio si determina un flusso di elettroni, sempre più intenso all'aumentare dell'intensità solare, e quindi ai capi dei conduttori inseriti sulla cella si evidenzia una differenza di potenziale elettrico, e da qui si raccoglie energia elettrica, sotto forma di corrente elettrica continua.

La scoperta dell'effetto fotovoltaico è merito del fisico francese Edmond Becquerel che scoprì casualmente, mentre effettuava delle espe-



rienze su una cella elettrolita in cui erano immersi due elettrodi di platino, che i raggi solari potevano produrre effetti elettrici.

Però solo nel 1954 si ha la prima cella FV commerciale in silicio (Person, Fuller, e Chopin), peraltro i costi iniziali di questa nuova tecnologia erano ingenti, quindi con un campo d'azione limitato a casi particolari, come l'alimentazione di satelliti artificiali lanciati nello spazio. Le sperimentazioni vennero comunque portate avanti e verso la metà degli anni settanta si iniziò a guardare anche ad altri usi del fotovoltaico, per applicazioni sulla terra, in impianti isolati, molto difficilmente raggiungibili con cavi o linee elettriche.

Oggi la ricerca è rivolta soprattutto all'abbassamento dei costi di produzione, che dovrebbero abbassarsi di almeno 5 volte, alla loro durata ed al miglioramento dei loro rendimenti. Infatti, l'efficienza di conversione di celle commerciali al silicio monocristallino è attualmente compresa tra il 10% e il 13% mentre realizzazioni speciali hanno raggiunto valori del 25%. Dalla singola cella, di limitatissima produttività, nasce la necessità di unirle in gran numero per ottenerne energia elettrica in quantità significativa per l'uso, ecco quindi che esse vengono riunite in stringhe, poi in pannelli e quindi in sistemi di produzione con batterie tampone per cercare di uniformare le uscite con la variabilità dell'energia solare, ed altre apparecchiature del settore (convertitori, trasformatori, ecc...).

Gli avanzamenti tecnologici in tale settore sono ancora oggi indispensabili per aumentarne l'efficienza e per ridurre di molto i costi, ecco che l'immediato futuro prevede avanzamenti quali: tecnologia solare "sferica", pellicola multicristallina disposta su vetro, fogli e nastri "concentratori ottici", inseguitori e focalizzatori solari.

In conclusione le celle fotovoltaiche solari rappresentano per il prossimo futuro un obiettivo molto interessante e promettente, ed al tempo stesso una stimolante e fondamentale sfida tecnologica. Infatti, per renderle utilmente apprezzabili per un largo e diffuso impiego in ogni parte del mondo, occorre renderle più



*Integrazione FV in facciata e sui parapetti dei balconi dell'albergo*



*Vista della parete FV dall'interno di una camera*



*Stazione dei pompieri, Olanda*

prestazionali in termini di : efficienza, affidabilità, durata , e principalmente in termini di costi, che dovranno ridursi , per essere commercialmente proponibili, almeno di 4/5 volte rispetto agli attuali.

Nel frattempo ci si cimenta nella meritevole realizzazione di impianti dimostrativi, i cui maggiori costi debbono essere finanziati dallo Stato , al fine di essere di stimolo ad altre realizzazioni ed accumulare esperienza nel settore.

Per documentare lo stato di fatto e dell'arte, in Italia ed in altri Paesi, sono auspicabili le qualificate opere, come quella che l'Autrice presenta , con un'ampia raccolta di casi studio assai significativa e ben documentata, cui sono lieto di augurare la migliore accoglienza da parte della comunità scientifica e di quella larga parte di progettisti attenti a nuove ed attraenti tendenze.



*Elettrificazione di una chiusa*



# Sostenibilità e Energie rinnovabili

**Marco Sala**

Gli equilibri economici del mondo sviluppato dipendono in larga parte dalla disponibilità di energia elettrica sul posto dove essa viene utilizzata. I modi tradizionali di produzione da combustibili fossili pongono problemi di approvvigionamento delle materie prime, di finitezza e 'sostenibilità' ambientale.

Questa consapevolezza antica è diventata emergenza a causa della crescita dei consumi e del numero dei Paesi che vogliono adottare i nostri modelli di sviluppo. Ecco perché gli Stati più lungimiranti stanno predisponendo strategie di sostegno delle produzioni basate su fonti rinnovabili potenzialmente inesauribili, pulite e localizzate. La caratteristica propria di alcune di esse, come quella che ha origine dall'effetto del sole sulle celle fotovoltaiche, coinvolge direttamente realtà come le Scuole e gli Enti Locali.



*Campus Universitario a Pechino*



Foto: M.Sala



*Residenze passive,  
Friburgo*



*Casa passiva, Oxford  
UK*



*Abitazioni a schiera in  
Olanda*



*Casa Solare a Friburgo*



*Muro fotovoltaico per  
Channel 4, Londra UK*

## Architettura sostenibile

L'Architettura sostenibile si occupa dello studio delle soluzioni tipologiche e delle prestazioni dei sistemi tecnologici che rispondono maggiormente alle caratteristiche ambientali e climatiche del sito, e che consentano di raggiungere condizioni di benessere all'interno degli edifici. Tali obiettivi vengono perseguiti attraverso una attività progettualmente consapevole nell'uso delle risorse disponibili. Da un simile approccio si possono massimizzare i benefici ottenibili mediante l'impiego delle energie rinnovabili e, in particolare, dell'uso dell'energia solare, riducendo al minimo l'apporto degli impianti alimentati con fonti energetiche non rinnovabili. Gli edifici "sostenibili" sono opere architettoniche in genere caratterizzate dall'utilizzazione di componenti e sistemi edilizi che, oltre ad esplicare la loro funzione specifica, sono anche in grado di assolvere funzioni energetiche, ossia di captare, accumulare, conservare e restituire l'energia termica trasportata dai raggi solari.

Progettare un ambiente, un edificio, uno spazio aperto, sostenibile vuol dire progettare in completa sintonia con la natura. L'architettura deve lasciare interagire gli elementi naturali con gli spazi, la natura entra nell'edificio. Quindi è essenziale conoscere il più possibile la natura del luogo ed utilizzare le fonti rinnovabili di energia e di benessere quali il sole, il vento, il calore generato da eventuali altri impianti..., riutilizzare quanto più possibile i materiali provenienti dalle demolizioni e non sprecare l'acqua.

Obiettivo dell'Architettura sostenibile è quello di raffrescare naturalmente gli edifici, a mezzo di tecniche di espulsione del calore eccessivo verso dissipatori di calore "ambientali" (aria, cielo, terra, acqua), con l'ausilio di metodi naturali di trasferimento del calore. Ottimizzazione dell'uso della componente luminosa dell'energia solare per mezzo di pannelli solari e moduli fotovoltaici.

Le fonti energetiche rinnovabili nel corso degli ultimi anni, seppur lentamente, hanno acquistato sempre maggiore importanza nelle politiche e nelle strategie comunitarie, il che ha provocato e sta provocando, un' importante ricaduta in termini di diffusione e sviluppo di queste tecnologia in diversi stati europei.

Il punto di partenza di ogni seria operazione di razionalizzazione energetico è una rigorosa contabilità energetica, in sede sia di progettazione degli interventi, che di verifica ad impianti realizzati o modificati. Per dichiarare conveniente un intervento è necessario indicare su quale specifico consumo agisca e verificare, a livello di sistema, tutte le sue conseguenze, calcolandone attentamente l'importanza. Il puro e semplice confronto fra i livelli di consumo riscontrati prima e dopo l'intervento non è sufficiente a permettere la formulazione di giudizi definitivi: infatti i consumi energetici complessivi dipendono da molti fattori (come il carico di lavoro degli impianti, la distribuzione temporale del fabbisogno energetico, le condizioni ambientali), la cui accidentale variazione può, in alcuni, casi dare effetti più rilevanti di quelli ascrivibili al provvedimento adottato.

Esistono molte possibilità di utilizzazione razionale dell'energia già a partire dalla scelta della fonte cui attingere e dall'impianto di captazione e conversione ritenuto più idoneo al caso specifico, senza prescindere ovviamente dagli oneri economici relativi alle successive politiche di intervento sugli impianti in attività, ad esempio di tipo manutentivo. Nella pratica, non è scontata la corrispondenza tra beneficio



energetico e beneficio economico ed allora è da considerare che non si ritiene di interesse un intervento che, pur realizzando un vantaggio energetico, non comporti anche un ritorno economico. È proprio l'aspetto economico a costituire il più delle volte un freno alla libera espansione sul mercato di sistemi energetici ad alto rendimento e del tutto innovativi rispetto a quelli convenzionali.

La realizzazione di un intervento di uso razionale dell'energia comporta quasi sempre un investimento economico, la cui convenienza deve essere preventivamente valutata a fronte del "valore" del risparmio energetico ottenibile; si tratta in sostanza di determinare quanto "costa" risparmiare energia. Diverse tecniche di analisi permettono di ricavare indici di efficienza economica legati alle diverse strategie di razionalizzazione energetica, tra le quali il calcolo del costo dell'unità di combustibile risparmiata, il calcolo del risparmio netto attualizzato e del tempo di pay-back di un dato investimento. Nei vari settori degli usi finali energetici, soprattutto in quelli civili, purtroppo, manca ancora una cultura diffusa del risparmio energetico. Ciò implica costi energetici superiori a quelli altrimenti ottenibili con un migliore utilizzo delle risorse. Ad esempio, l'adozione delle tecnologie di misurazione dei consumi e della qualità della fornitura elettrica può fruttare risparmi del 20%-30%, cui vanno aggiunti i risparmi ulteriori generati dalla riduzione dei guasti.

### **L'integrazione architettonica**

La più recente categoria di applicazioni della tecnologia fotovoltaica è quella dei sistemi integrati negli edifici. Il collegamento elettrico alla rete e l'integrazione architettonica dei moduli fotovoltaici nelle strutture esterne degli edifici (terrazze, tetti a falda, facciate, ecc.) rappresentano gli elementi più importanti per l'inserimento dei sistemi fotovoltaici nel contesto urbano. Da qualche anno, la sperimentazione condotta in alcune applicazioni ha portato alla realizzazione di progetti con ottimo impatto visivo e si è dimostrato che il fotovoltaico è una tecnologia perfettamente integrabile praticamente in ogni tipologia edilizia.



*Bayerisches Umweltministerium, Monaco*



*Fabbrica Solar Fabrik, Friburgo Friburgo*



*Istituto bancario  
Bayerisches,  
Monaco*



*Museo dei Bambini,  
Roma*

Le applicazioni fotovoltaiche integrate nelle strutture edili, se non vengono supportate finanziariamente, non possono trovare convenienza economica e quindi possibilità di utilizzo laddove l'energia elettrica è già messa a disposizione dalla rete di distribuzione. Risultano perciò necessari interventi pubblici che, riconoscendone il valore sociale, incentivino l'adozione di tali sistemi.

I sistemi fotovoltaici godono dal punto di vista architettonico di una serie di prerogative che li rendono unici per la applicazione architettonica in ambiente urbano. Gli interventi di integrazione architettonica più comuni, si distinguono per il tipo di superficie dell'edificio utilizzata per l'impianto (tetto piano, facciata e tetto a falda); nonché per il particolare tipo di utilizzo (lucernario, frangisole, skylight, ecc.). In particolare; notevoli sforzi sono attualmente dedicati allo sviluppo di una vera e propria "tegola fotovoltaica".

La caratteristica di modularità di sistemi fotovoltaici consente, inoltre, altri utilizzi, che rientrano sotto la categoria dell'arredo urbano: coperture per parcheggi, barriere antirumore, pensiline per percorsi pedonali o per le stazioni degli autobus e dei treni; alimentazione di parchimetri e impianti di illuminazione.

Non bisogna poi dimenticare la valenza estetica del fotovoltaico: la cella di silicio ha un aspetto gradevole e di particolare effetto, che la rende un materiale interessante per l'architettura contemporanea. È possibile utilizzare celle di diverso colore, adattandole ai diversi contesti in cui esse vengono inserite

Le Fonti di energia rinnovabile e l'Uso razionale dell'energia devono essere considerate come contributo alla soluzione del problema centrale, cioè della graduale, ma sistematica, trasformazione dell'attuale sistema energetico verso la sostenibilità, intesa come ricerca di una compatibilità fra sviluppo economico ed ambiente naturale, equilibri politici e socio-economici, nonché come garanzia per le future generazioni di accesso alle risorse naturali di base.

In contrasto con il rapido sviluppo dei dispositivi fotovoltaici, l'energia solare copre ancora quote marginali del mercato dell'Energia. Gli alti costi di produzione e le basse efficienze dei prodotti in commercio (minori di un fattore 3 rispetto a quelle prima riportate, relative a celle prodotte in laboratori di ricerca) ne sono i principali responsabili.

Rispetto a questo dato, bisogna però sottolineare che il costo delle celle solari è sceso negli ultimi decenni, ma il trend complessivo segna, comunque, un forte ritardo in confronto a quello relativo ad altre tecnologie atte a produrre energia da fonti rinnovabili (e.s. eolico).

Negli ultimi sette anni le vendite delle celle solari sono salite mediamente del 31% l'anno, raddoppiando ogni due anni, ma questo non basta, secondo gli esperti, a fare in modo che il fotovoltaico diventi una sorgente di elettricità a basso costo anche se il mercato si allargherà.

In quest'ottica, il ruolo dei Governi dovrebbe essere quello di creare degli incentivi per far sì che questo settore industriale si espanda.

I paesi che applicano gli incentivi più consistenti all'uso delle celle solari sono, attualmente, gli stessi in cui esistono i più grandi produttori di questo tipo di impianto, ovvero Giappone (100 Megawatt), Germania (75 Megawatt), Stati Uniti (32 Megawatt) e India (8 Megawatt).

I maggiori produttori sono Giappone con il 43% del mercato, Unione Europea con il 25% e gli Stati Uniti con il 24%.



## Gli sviluppi futuri

Di notevole interesse è il conseguente sviluppo economico ed occupazionale derivante dal settore fotovoltaico: si possono certamente attribuire a tale tecnologia effetti di stimolo dello sviluppo economico nelle aree meno sviluppate del mondo. In sintesi, ecco alcune considerazioni alla base di un futuro effetto benefico dovuto allo sviluppo del Fv nei Pvs:

- la tecnologia Fv consente la realizzazione di servizi altrimenti impensabili per alcune zone rurali nei Pvs, i quali già di per sé favoriscono lo sviluppo economico locale;
- l'elettrificazione solare Fv nelle zone rurali dei Pvs consente di incrementare la loro attrattività, in modo da favorire l'arrivo di personale qualificato (medici, insegnanti, ecc.) e di contrastare il fenomeno della migrazione delle popolazioni rurali verso i centri urbani;
- l'effetto moltiplicatore della tecnologia Fv crea in media, per ogni addetto nell'industria Fv, 2-3 nuovi posti di lavoro nelle aree di destinazione (per la vendita al dettaglio, l'installazione e la manutenzione). Inoltre, l'effetto di accumulo nel tempo aggiunge negli anni altri 5-7 posti di lavoro (distribuiti sul territorio) per la manutenzione;
- la diffusione di tale tecnologia consente la creazione di richiami turistici selettivi verso un target di turismo più sensibile al riguardo, disposto a pagare per l'ecologia qualcosa di più, e meno distruttivo dell'odierno turista medio;
- con il sostegno della tecnologia Fv si migliora la qualità di erogazione dei servizi realizzati (approvvigionamenti idrici, elettrici, servizio scolastico, sanitario, ecc.) attraverso l'introduzione nel sistema locale di nuove e più avanzate tecnologie (elettronica, inverter, automazione/telecontrolli, desalinizzatori ad osmosi inversa, ecc.);
- si creano localmente opportunità di formazione per tecnici qualificati;
- la tecnologia Fv si esprime al meglio nelle applicazioni diffuse e decentralizzate e, quindi, diversamente dalle tecnologie energetiche convenzionali, i suoi effetti economici si manifestano non in modo concentrato, ma in modo diffuso e decentralizzato;
- è possibile introdurre gradualmente tale tecnologia così che i relativi investimenti possono essere diluiti nel tempo.

Tutte le considerazioni fatte per la tecnologia del Fv possono, a seconda dei casi, essere ripercorse per le altre Fonti di energia rinnovabile, in particolare per lo sviluppo del settore eolico e delle biomasse. Anzi, è proprio un utilizzo locale e diversificato che farebbe delle Fonti di energia rinnovabile un punto di forza per lo sviluppo socio-economico dei Pvs nei prossimi anni.

## Le strategie dell'Unione Europea per la promozione e diffusione delle fonti energetiche rinnovabili

Secondo il "Libro Bianco dell'Unione Europea del 1997, "Energia per il futuro: Le fonti energetiche rinnovabili", l'Unione europea rappresenta quasi un terzo della produzione e dell'impiego annuali nel mondo dei moduli fotovoltaici (più di 100 MWp). L'industria europea è in una posizione di avanguardia nel settore delle applicazioni



*Diversi sistemi di assemblaggio dei moduli FV*



*Totem fotovoltaico all'ecoparco di Torino*



*Polo Scientifico edificio aule di Sesto Fiorentino*

fotovoltaiche negli edifici. L'Europa è anche prima per le applicazioni fotovoltaiche nei paesi in via di sviluppo.

Nel corso di questi anni, nell'ambito della politica energetica Europea, uno spazio importante è stato dedicato allo sviluppo, alla diffusione ed all'incentivazione all'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili. L'azione della Commissione Europea è legata alla necessità di diversificare le fonti energetiche, questione che oltre a rivestire un ruolo importante sotto un profilo di risparmio economico e di riduzione della dipendenza energetica dell'Unione, è strettamente correlata alle problematiche della sostenibilità ambientale e del riscaldamento progressivo del pianeta (effetto serra/rispetto del Protocollo di Kyoto).

Importante in tal senso è il programma ALTENER, istituito nel 1993 e rinnovato nel 1998, volto a promuovere proprio l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili.

Tale programma è stato affiancato nel 1997 dal menzionato Libro Bianco sulle fonti energetiche rinnovabili, libro che ha l'obiettivo principale di raddoppiare la quota delle energie rinnovabili nel consumo interno lordo di energia dell'UE, portandola dal 6% del 1997 al 12% del 2010.

La risposta politica da parte dell'Unione non si è fatta attendere, tant'è che è stato già proposto un nuovo programma pluriennale di azioni "Energia Intelligente per l'Europa" (2003-2006) con un budget di 215 milioni di euro. All'interno di questo programma è previsto il rinnovo del programma ALTENER, per la promozione delle fonti energetiche rinnovabili.

Inoltre, la strategia di azione per l'energia rinnovabile in Europa prevede una campagna di decollo denominata "Campaign for Sustainable Energy", la quale abbraccerà sia il rendimento energetico che l'energia rinnovabile, e provvederà a fini del raggiungimento di una serie di obiettivi settoriali indicativi, a fornire una serie estesa di strumenti promozionali. Essa permetterà, inoltre, che i partners uniscano lo sforzo comune di effettuare i programmi e le iniziative in Europa e oltre.



In rapporto all'argomento trattato è doveroso, poi, menzionare il Libro Verde in materia di sicurezza nell'approvvigionamento energetico, tematica profondamente interrelata con la promozione all'utilizzo delle nuove fonti di energia sostenibile.

Sempre in tal senso il Consiglio e del Parlamento Europeo hanno emanato la Direttiva 2001/77/CE, sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità. Oggi le tematiche ambientali hanno trovato un nuovo impulso grazie, da un lato al sempre maggiore interesse che si muove attorno allo sviluppo sostenibile, dall'altro ai programmi mirati ed agli impegni internazionali precisi che coinvolgono anche il nostro Paese e si propongono di formare un atteggiamento più responsabile e più sostenibile.

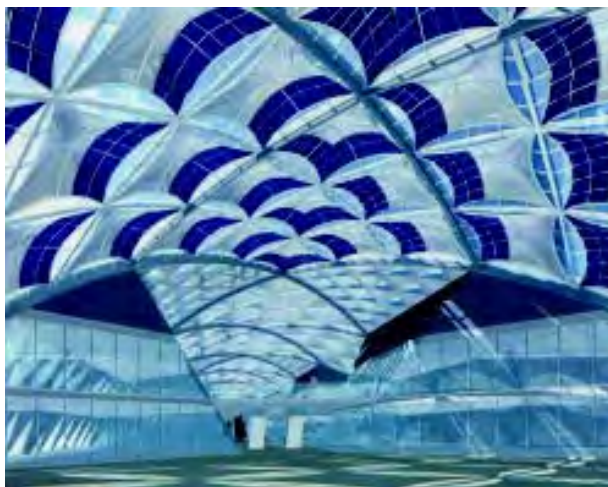
Lo sforzo fatto dai progettisti nel tentativo di trovare nuove soluzioni all'integrazione deve andare di pari passo con la volontà di dare sviluppo alla tecnologia del fotovoltaico, per sollecitare la realizzazione di nuovi componenti e di sistemi sempre più efficienti e affidabili. Solo un piano programmatico, concertato su obiettivi di sviluppo qualitativo, estetico e funzionale di alta valenza industriale, potrà infatti garantire un solido e competitivo futuro al fotovoltaico italiano e nel mondo.

### **Una nuova figura professionale**

Finchè l'Italia non si allineerà alle strategie delle nazioni più progredite nello sfruttamento dell'energia solare, sarà difficile convincere utenti e committenti che si tratta di una opportunità economica di risparmio concreta. Gli architetti fotovoltaici sono una categoria, praticamente inesistente in Italia ma in forte ascesa in altre Nazioni come il Giappone, la Germania e gli USA, quei paesi in cui lo sfruttamento dell'energia solare negli edifici è divenuta una pratica diffusa. Per migliorare l'integrazione architettonica del fotovoltaico in edilizia è necessaria una ottima conoscenza dei sistemi integrati, pertanto si stanno sviluppando studi tecnici specializzati nel progetto dell'integrazio-



*Progetto per la copertura della hall di ingresso dell'Ospedale Meyer a Firenze. Progetto vincitore del bando Alta valenza Architettonica.*



*Progetto per la copertura della stazione Alta velocità a Firenze*

*Visite degli studenti del master Abita ad impianti fotovoltaici*



*Studi televisivi vicino Barcellona*



*Biblioteca di Matarò Spagna*



*Totem FV Ecoparco di Torino*

ne dei sistemi solari attivi nell'involucro edilizio e nell'arredo urbano. L'approccio multidisciplinare, le conoscenze dell'impiantistica, della scienza delle costruzioni, della tecnologia e la fisica degli edifici caratterizzeranno questa nuova figura professionale dell'Architetto fotovoltaico, la quale avrà la possibilità di svilupparsi se in Italia le strategie pubbliche di incentivazione decolleranno, in modo tale che la committenza pubblica e privata potrà affidarsi a dei veri e propri esperti.

L'edilizia è importante per molti versi: perché la casa è un bisogno primordiale, il rifugio dalle forze ostili della natura e dagli altri umani; perché nella casa passiamo gran parte della nostra esistenza; perché la città, fatta di edifici e di spazi aperti tra il costruito, rispecchia gran parte del nostro intendere la civiltà e la società; perché gli edifici ospitano i servizi che giornalmente utilizziamo - scuole, ospedali, uffici, banche, musei - e molte attività produttive.

L'edilizia è anche importante per l'energia e per l'ambiente. Per l'energia, perché quasi un terzo dei consumi energetici del Paese vanno a scaldare, a raffrescare, a illuminare gli ambienti costruiti e ad alimentare frigoriferi e scaldabagno, ferri da stiro e televisori. Per l'ambiente, se non altro per la qualità dell'aria interna (che somma all'inquinamento dell'aria esterna quello prodotto appunto in casa) con riflessi spesso sottovalutati sulla salute degli abitanti (e nei musei, anche dei quadri esposti).

## Il Centro Abita

Sostenibilità è oggi un termine largamente usato, anche nel campo dell'architettura e della progettazione urbana, ma il nostro studio ha lavorato in questo settore da oltre venti anni, ed oggi è in grado di gestire un patrimonio di conoscenza, di uso di strumenti scientifici di simulazione e verifica, di esperienze pratiche che pochi altri studi in Italia hanno sviluppato.

Questa acquisizione è stata possibile grazie alla stretta collaborazione fra il settore ricerca e il Centro Interuniversitario ABITA (Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'Ambiente), di cui Marco Sala è stato fondatore ed oggi Direttore Vicario.

L'attività scientifica ha potuto così svilupparsi attraverso numerose ricerche applicative condivise con i centri studi più avanzati in Europa, ma con il vantaggio di poter essere verificata nella pratica professionale dell'attività lavorativa, attraverso un interessante incrocio di teoria e prassi.

Queste competenze specialistiche sono applicabili a tutte le scale dell'intervento progettuale o programmatico, apportando un valore aggiunto che si trasferisce all'oggetto del lavoro, potenziandone la qualità ambientale, rendendolo idoneo a sfruttare possibili incentivazioni finanziarie, nazionali o europee, ed infine predisponendolo ad utilizzare un potenziale di marketing "ecologico" oggi fra i più ricercati.

I temi della sostenibilità, dell'uso razionale dell'energia, dello sfruttamento delle energie rinnovabili, non sono una delle tante mode o tendenze effimere dell'architettura, ma una visione e una interpretazione del mondo che è trasversale a tutti i settori economici e diffusa in tutti i paesi industrializzati.

I problemi che sorgono dal crescente costo dell'energia, fenomeno irreversibile e fuori controllo, possono essere in parte anticipati, nel campo delle costruzioni, e in parte superati con una attenzione specifica nel momento del progetto (nuovo o di ristrutturazione) utilizzando poi questo beneficio o come valore aggiunto del prodotto, in caso di uso diretto, come risparmio crescente nella gestione degli immobili.



Un vantaggio non secondario di questo approccio progettuale (che si esplica dall'inizio della ideazione progettuale e si sviluppa e si approfondisce in tutte le fasi e le scale del progetto) nasce nel rapporto con le Amministrazioni, Comunali, Provinciali o Regionali preposte alle varie fasi autorizzative, dove spesso, invece di contrasti si sono sviluppate interessanti sinergie di obiettivo e di immagine. (Possiamo portare ad esempio alcuni progetti dove sono state ottenute importanti deroghe ai regolamenti vigenti in quanto interventi di particolare qualità ambientale o di avanzata concezione tecnologica) Queste strategie progettuali sono da noi condotte in modo strettamente coordinato con i nostri consulenti per l'impiantistica, riuscendo a realizzare così significative economie rispetto ai progetti tradizionali, e spesso anche i costi di costruzione, attraverso il coordinamento delle scelte e l'esperienza pregressa, risultano inferiori.

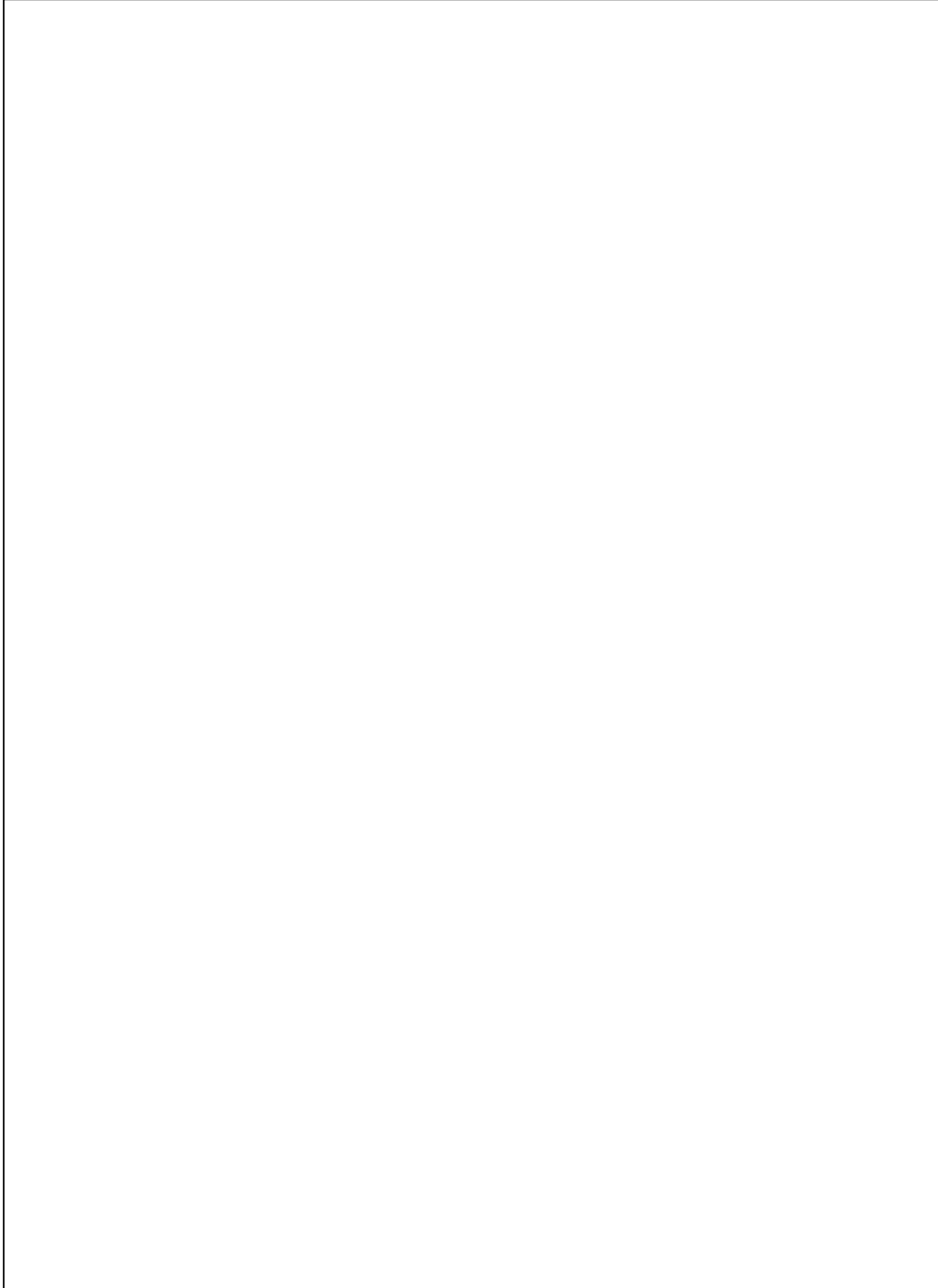
Un buon progetto nasce prima da una buona intesa con la committenza, ma anche dalla visione organica di tutte le scelte, sia formali che tecnologiche e impiantistiche finalizzate alla acquisizione del risultato finale.



*Impianto FV al Polo di sesto Fiorentino*



*Pensilina fotovoltaica a Barcellona*

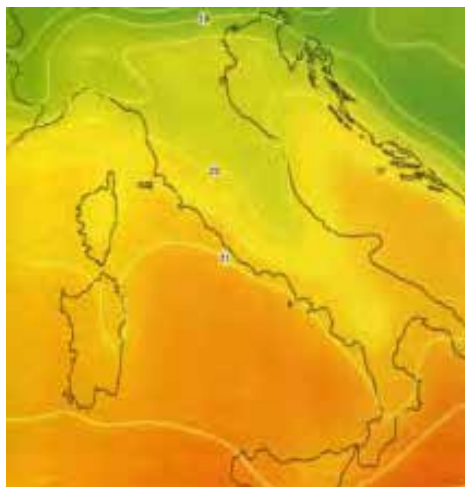
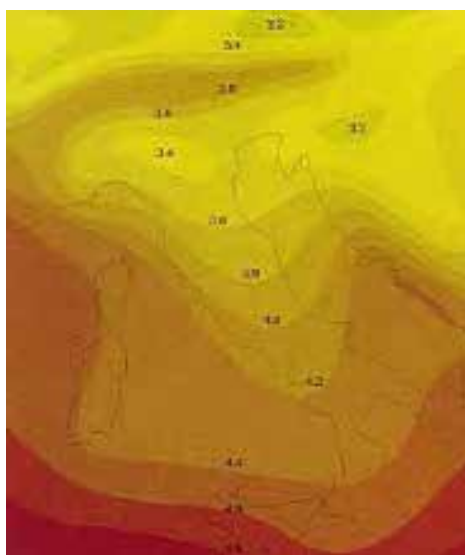
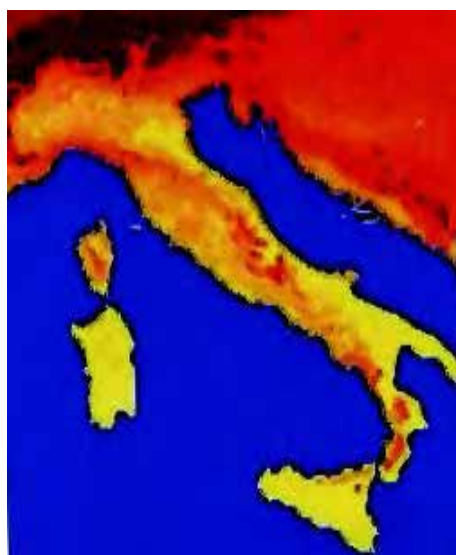




## La tecnologia fotovoltaica: funzionamento, dimensionamento e valutazioni economiche

**Francesco Cariello**

*In questo capitolo cercherò di fornire uno strumento di approfondimento del funzionamento della tecnologia fotovoltaica rivolto principalmente a progettisti nell'ambito dell'architettura; questo settore è senz'altro di vitale importanza per il successo del FV nel nostro come in altri paesi. Il FV infatti deve essere considerato come un materiale per l'edilizia, deve rientrare tra i possibili rivestimenti a disposizione di un professionista nella realizzazione delle sue opere: un materiale che lo sviluppo tecnologico rende disponibile in forme e modalità sempre più adatte ad essere utilizzato nell'architettura contemporanea.*



Mappe isoradiative

## **Introduzione**

La tecnologia fotovoltaica consente di trasformare direttamente l'energia solare in energia elettrica. Le sue caratteristiche di modularità, affidabilità, assenza di parti in movimento, generazione elettrica senza emissione di inquinanti o di rumore, fanno sì che questa tecnologia possa integrarsi meglio di ogni altra nei contesti urbani e nelle strutture architettoniche.

Negli ultimi anni, a livello mondiale, si assiste ad una crescita notevole dei volumi di produzione di moduli fotovoltaici "FV nel seguito", della loro evoluzione tecnologica e delle potenze complessive di impianti installati. Ciononostante la frazione di energia elettrica che viene attualmente prodotta tramite moduli FV è ancora del tutto marginale, e tale resterà, è giusto rammentarlo, ancora per molti anni; tuttavia in un contesto internazionale caratterizzato dalla imprescindibile necessità di ridurre la dipendenza mondiale dalle fonti fossili, di ridurre le emissioni climalteranti generate dalle attività umane, di dislocare la produzione elettrica presso i centri di consumo e di ridurre i livelli di inquinanti nei centri urbani, pare assolutamente necessario promuovere la ricerca e l'applicazione di una tecnologia in grado di produrre elettricità nel pieno rispetto di questi criteri di sviluppo.

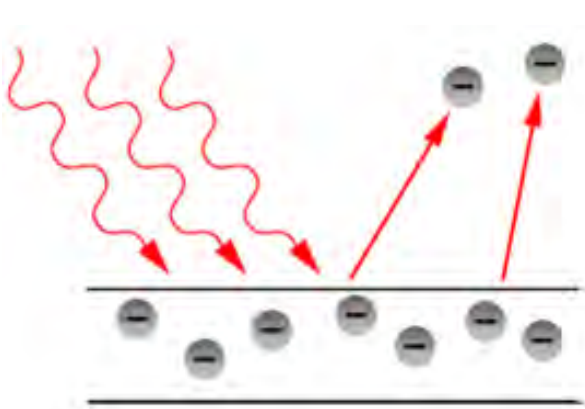
### **1.1. I processi fisici**

Nel seguito vengono descritti in modo semplificato i principali processi fisici alla base del funzionamento dei moduli e degli impianti fotovoltaici.

#### **L'effetto fotoelettrico**

L'effetto fotoelettrico consiste nella possibilità che una radiazione luminosa di sufficiente intensità possa generare una corrente elettrica, tale fenomeno venne osservato dall'allora diciannovenne fisico francese Edmond Bequerel nel 1839 ma per molti anni ancora la scienza si interrogò su come la luce potesse interagire con le cariche elettriche.

Solo dopo che la struttura della materia venne descritta con sufficiente chiarezza e solo dopo che la teoria della luce nella sua natura dualistica di onda e particella

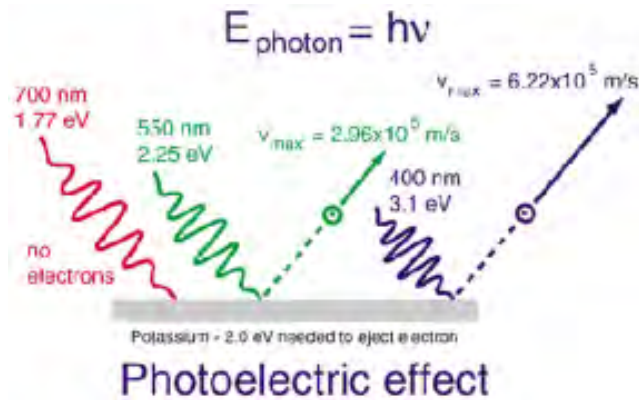


venne pienamente sviluppata da Einstein (1905), fu possibile descrivere con precisione l'effetto fotoelettrico: ovvero il fatto che una radiazione elettromagnetica (come la luce) se dotata di energia sufficiente è in grado di "staccare" un elettrone dal suo atomo (reticolo cristallino) e renderlo disponibile per la conduzione elettrica.

Si evidenziò come materiali diversi avevano delle soglie di energia diverse e solo al superamento di queste la radiazione incidente era in grado di produrre la corrente elettrica.

Pertanto non tutta la luce (radiazione) può produrre elettricità ma solo quella dotata di sufficiente energia;

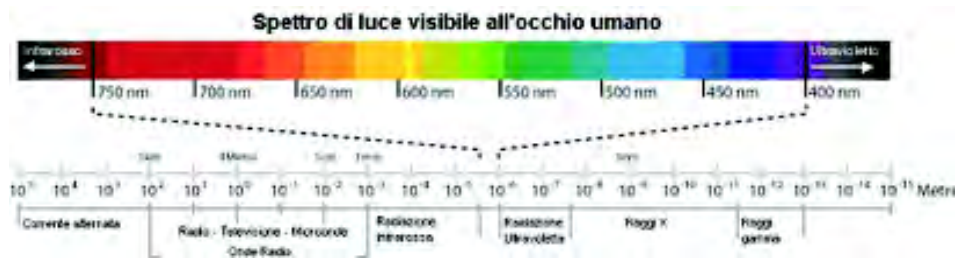




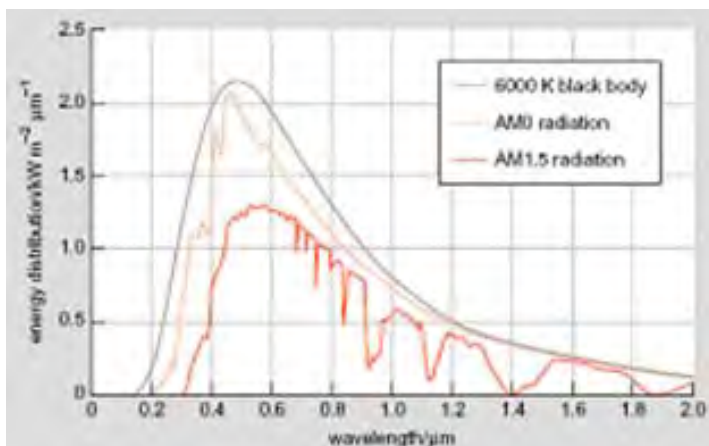
### 1.1.1. La luce

Il sole emette la sua energia, così preziosa per la vita, sotto forma di radiazione elettromagnetica, e gran parte di essa viene emessa in una ristretta banda di frequenze, che noi chiamiamo luce

L'energia della radiazione luminosa è direttamente proporzionale alla frequenza, le frequenze più basse (luce rossa) sono pertanto meno energetiche di quelle della zona del blu e del violetto.



Se prendiamo come materiale il silicio e lo esponiamo alla luce solare possiamo osservare che solo una parte della radiazione solare (ovvero quella caratterizzata da un'energia superiore a 1,1 eV) è in grado di produrre l'effetto fotoelettrico (75% dell'energia solare incidente).



Distribuzione dell'energia della radiazione solare per lunghezza d'onda

### 1.1.2. Funzionamento di una cella

Nel seguito vedremo come funziona una cella fotovoltaica, vero cuore essenziale della nostra tecnologia, dispositivo in grado di sfruttare l'effetto fotoelettrico per la generazione di energia. A tal fine cercheremo di descrivere come sia possibile far sì che la "disordinata" emissione di elettroni possa essere organizzata per creare una corrente elettrica.

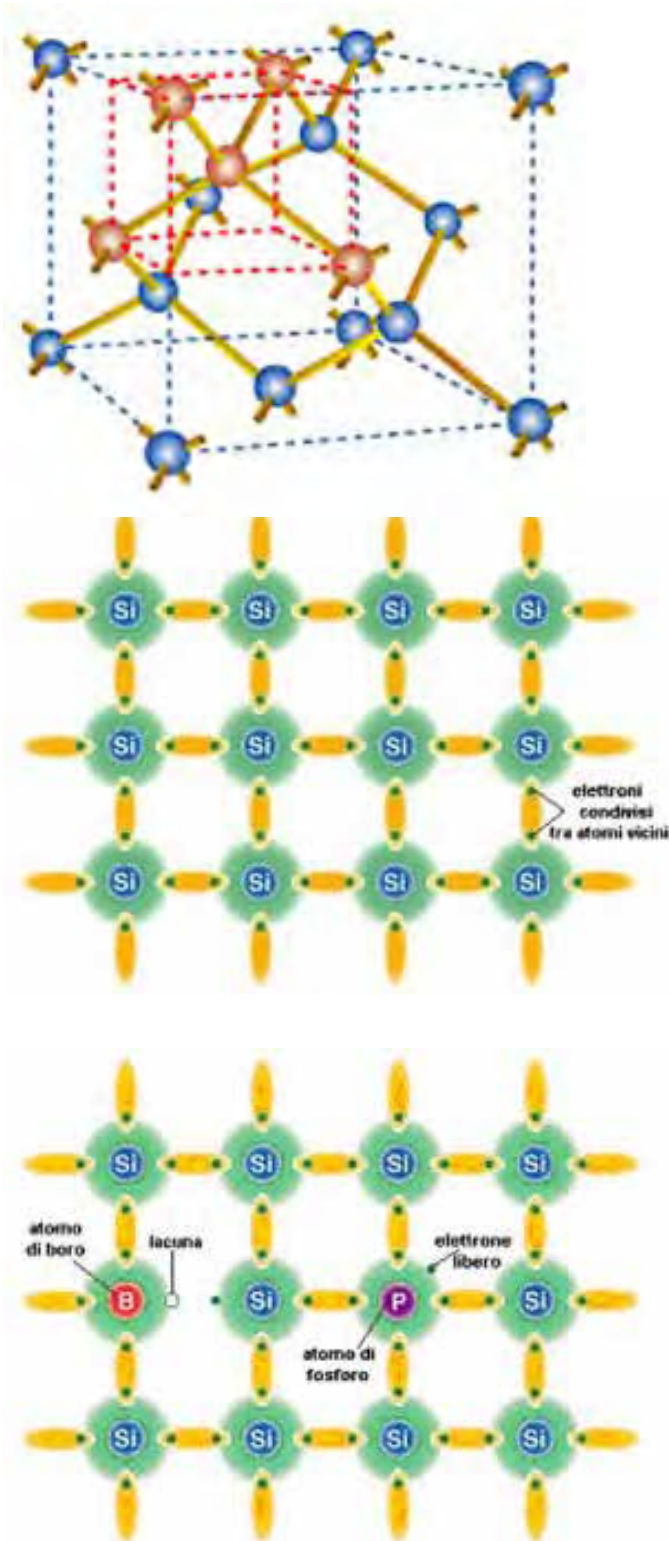
#### L'atomo di silicio

Il silicio è un materiale *semiconduttore*, ovvero un materiale con caratteristiche elettriche intermedie tra quelle dei metalli (ottimi conduttori) e degli isolanti (che non conducono la corrente elettrica). Dal punto di vista della struttura atomica il silicio, nella sua struttura cristallina, presenta degli atomi disposti in modo regolare, ciascun atomo condivide 4 elettroni con altri 4 atomi circostanti.

Grazie alla condivisione dei 4 elettroni di ciascun atomo il silicio assume una configurazione stabile e, almeno in linea di principio, tutti gli elettroni sono "impegnati" a formare legami e non sono a disposizione per la conduzione elettrica.

Può accadere tuttavia che il reticolo cristallino del silicio abbia delle imperfezioni e, in questo caso, può accadere che un atomo abbia 5 elettroni a disposizione e non 4, 1 elettrone resterà quindi libero, ovvero non essendo impegnato nei legami interatomici potrà "partecipare" ad una corrente elettrica. Una corrente elettrica tuttavia può essere generata anche da un moto di cariche positive, e questo può avvenire quando un atomo di silicio abbia solo 3 elettroni a disposizione, in questo caso infatti rimane una cosiddetta "lacuna" ovvero una carica mancante, che si comporta dal punto di vista elettrico come una carica positiva.

Tale fenomeno può essere creato appositamente per mezzo dell'introduzione di elementi diversi dal silicio all'interno del suo reticolo cristallino, infatti introducendo atomi con solo 3 elettroni (comunemente viene utilizzato il boro) a disposizione per la formazione di legami, si





avrà l'effetto di produrre un gran numero di lacune, e dunque di creare un eccesso di cariche positive nel cristallo. Con l'introduzione, al contrario, di un elemento dotato di 5 elettroni per la formazione di legami (tipicamente viene utilizzato il fosforo) si otterrà un incremento degli elettroni a disposizione per la conduzione elettrica.

Tale tecnica di modifica delle caratteristiche elettriche proprie del silicio viene chiamata drogaggio. Si chiamerà silicio di tipo p (positivo) il silicio drogato al fine di creare un maggior numero di lacune, si chiamerà n (negativo) il silicio drogato al fine di creare una maggiore concentrazione di cariche negative libere.

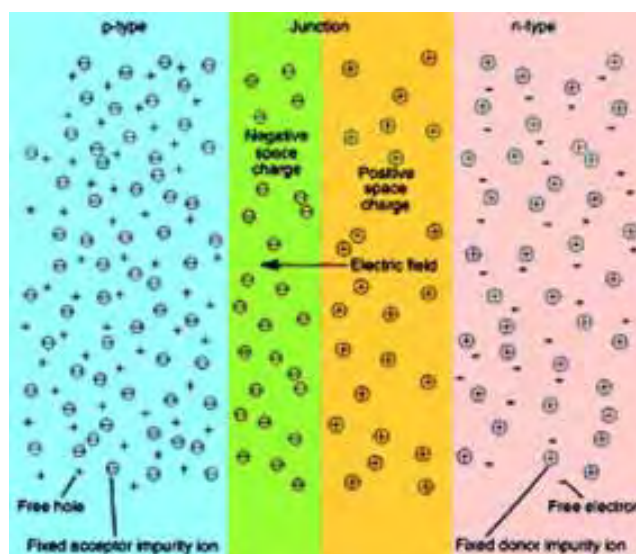
### La giunzione pn

Quando vogliamo rendere "ordinato" l'effetto fotoelettrico dobbiamo riuscire a creare all'interno del materiale stesso una forza elettrica in grado di direzionare tutte le cariche libere generate verso un circuito esterno utilizzatore.

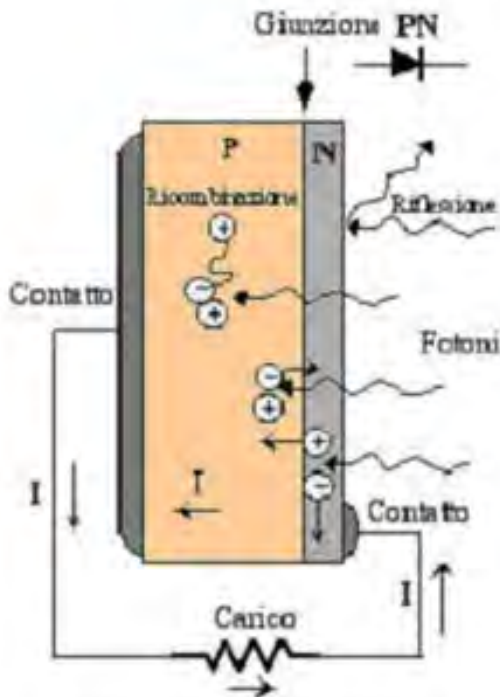
Senza tale forza interna infatti le cariche generate dall'interazione con la luce verrebbero perse per la maggior parte: esse si ricombinerebbero infatti andando a formare altri legami con atomi vicini e non potrebbero essere utilizzate.

Quella che abbiamo chiamato forza interna è creata da un campo elettrico formato all'interno del materiale dalla giunzione tra due strati di silicio drogati con segno opposto, a formare quella che viene comunemente chiamata giunzione pn.

Lungo la giunzione dei due materiali con caratteristiche elettriche opposte ha origine una ricombinazione locale delle cariche libere, positive e negative, a formare una zona detta di svuotamento. Questo fenomeno di diffusione delle cariche libere ha una durata estremamente breve, in quanto ben presto gli ioni che hanno perso le cariche libere, impediscono la migrazione di ulteriori cariche creando un campo elettrico. È questo campo a generare la forza interna che permetterà la produzione di potenza elettrica.



### L'interazione con la luce

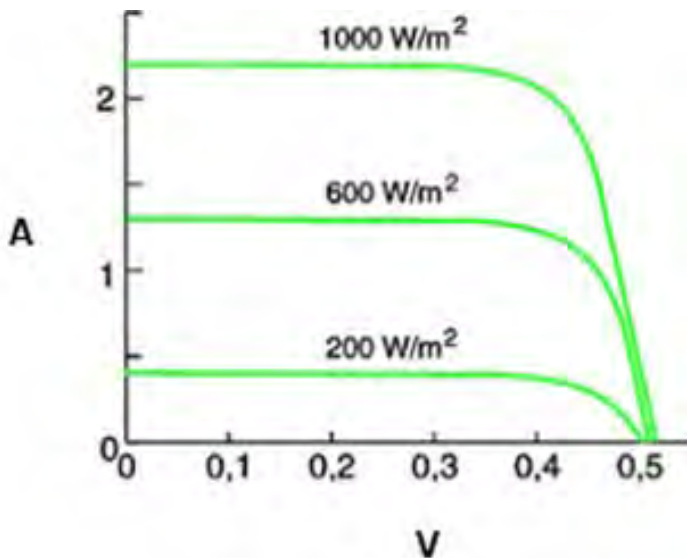


Ora siamo in grado di poter comprendere meglio il principio di funzionamento di una cella fotovoltaica al silicio cristallino che viene realizzata attraverso una giunzione pn e un circuito elettrico esterno che consente di prelevare la potenza elettrica generata. La cella viene realizzata in modo da far sì che la luce penetri nello strato p della giunzione e che produca, per effetto fotoelettrico, il maggior numero di elettroni liberi nei pressi della zona di svuotamento.

Tali elettroni accelerati dal campo elettrico interno attraversano lo strato n della giunzione e vengono poi catturati dai contatti metallici della cella.

Appare evidente come eventuali elettroni liberati nello strato p troppo lontano dalla zona di svuotamento hanno un'alta probabilità di venire "persi" per ricombinazione. Così pure risulta evidente come sia necessario cercare di massimizzare da un punto di vista costruttivo la quantità di luce che colpisce lo strato utile della cella, cercando di minimizzare la quantità di luce che viene riflessa.

A tal fine si procede coprendo la cella con uno o più strati di Ossido di silicio (SiO) che riduce al 4% circa le perdite per riflessione complessive, un'altra metodologia che viene spesso utilizzata è quella di praticare delle micro-incisioni sulla superficie della cella in modo da renderla scabrosa e quindi in grado di riflettere meno.



### 1.2. Le caratteristiche elettriche della cella

Per valutare le prestazioni di una cella si considerano dei valori standard di insolazione e temperatura (1000 W/mq e 25°C, considerando che il sole colpisca la superficie terrestre con un angolo di 48°<sup>1</sup>). Tutti i moduli fotovoltaici pre-

<sup>1</sup> Più comunemente si indica quest'ultimo valore con AM=1,5, ovvero considerando che la radiazione solare attraversi una massa d'aria pari a 1.5 volte quella che attraverserebbe se il sole fosse perfettamente perpendicolare alla superficie terrestre

senti in commercio vengono valutati in queste condizioni standard. Costruendo un circuito elettrico con un carico variabile sarà possibile stabilire la cosiddetta caratteristica della cella, ovvero i valori di tensione e corrente al variare del carico e delle condizioni esterne di irraggiamento e temperatura.

Nel grafico viene riportata la caratteristica tipica di una cella al silicio al variare del valore dell'irraggiamento. Possiamo notare come con irraggiamenti via via calanti vari molto la corrente della cella, mentre la tensione ha un regime di variazione molto limitato.

Il punto di massima potenza elettrica ( tensione x corrente) fornita dalla cella si colloca vicino alla estremità superiore destra della curva.

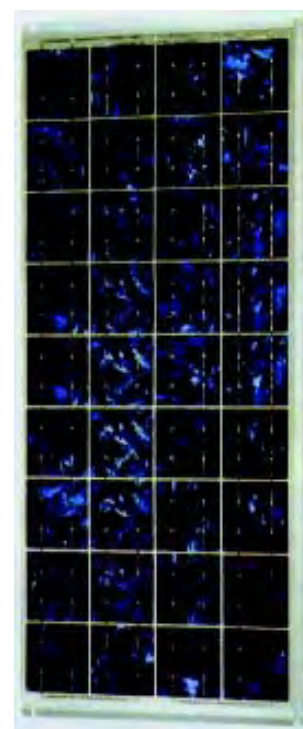
Possiamo poi notare che "a vuoto" ovvero senza alcun carico elettrico connesso (corrente nulla) la tensione assume un valore di poco superiore a 0,5 Volt e che la corrente di corto circuito (tensione nulla) assume valori prossimi ai 2 Ampere.



### 1.2.1. I moduli

I moduli fotovoltaici al silicio cristallino per uso civile nascono per l'alimentazione di sistemi a batteria, pertanto fino a poco tempo fa quasi tutti avevano un numero standard di celle connesse in serie: 36. Mettere in serie 36 celle significa infatti ottenere dei livelli di tensione (circa 21 Volt a vuoto e 18 a massima potenza) molto adatti alla ricarica delle tradizionali batterie a 12 Volt. Le celle vengono coperte da un vetro di protezione ad alta trasparenza alla radiazione solare (a basso contenuto di ferro) in modo da aumentare la quantità di luce trasmessa. Il vetro è studiato anche in modo da garantire un'altissima resistenza meccanica (urti, agenti atmosferici, garanzia di calpestabilità). Tra vetro e celle viene disposto uno strato di vinilacetato di etilene (EVA) che permette di isolare elettricamente le celle ed evitare la formazione di spazi vuoti tra silicio e superficie vetrata del modulo. Le celle vengono disposte a matrice, ad esempio per un modulo standard a 36 celle si realizzano usualmente 9 file da 4 celle ciascuna<sup>2</sup>. Al di sotto delle celle viene inserito un ultimo strato di EVA e, come base di appoggio si utilizza un foglio di polivinile fluorurato (Tedlar). Questo materiale estremamente resistente è usualmente di colorazione bianca opaca, ma è possibile averlo anche in versione trasparente, per soluzioni architettoniche in cui sia importante filtrare la luce. Sempre per ottenere effetti di filtrazione della luce e migliori caratteristiche estetiche complessive, è possibile posizionare al posto dello strato di Tedlar, una seconda lastra di vetro ottenendo in questo modo un modulo semitrasparente, adatto per integrazioni in coperture o facciate (moduli doppio vetro). Per quest'ultima applicazione sono anche presenti nel mercato dei moduli a vetro camera, dove un'ulteriore lastra di vetro viene introdotta per garantire una trasmittanza termica sufficientemente bassa.

Ulteriore caratteristica dei moduli commerciali standard è la cornice di alluminio che viene posta per protezione e per facilitare le operazioni di montaggio, nei moduli doppio vetro e in altre applicazioni particolari si preferisce evitare l'applicazione della cornice (moduli frameless).



*Policristallino*

---

<sup>2</sup> Negli ultimi anni, visto l'utilizzo dei moduli prevalente in impianti di potenza connessi alla rete, si privilegiano potenze unitarie più alte, quindi le taglie più tipiche dei moduli in commercio sono caratterizzate da 64 o 72 celle.



### **1.3. I materiali**

Nel seguito si darà una breve panoramica dei materiali attivi attualmente utilizzati per la produzione dei moduli fotovoltaici, per ciascuno di essi si cercheranno di mettere in evidenza le caratteristiche fondamentali per indirizzare la scelta del progettista nei vari impieghi possibili.

#### **1.3.1. Il Silicio**

Il silicio è di gran lunga il materiale più utilizzato dall'industria fotovoltaica, copre infatti la quasi totalità del mercato internazionale. Il silicio utilizzato dall'industria fotovoltaica ammonta a circa 11.000 tonnellate all'anno e proviene da produzione specifica<sup>3</sup> e dagli scarti dell'industria elettronica dei semiconduttori (circa il 20 – 30%), in quanto ai fini della generazione elettrica è sufficiente un grado di purezza inferiore. Si utilizza il silicio in forma monocristallina, policristallina ed amorfa.

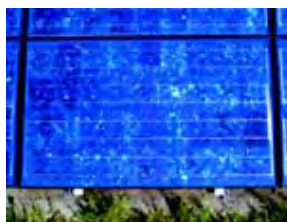
##### **Silicio monocristallino**

Il silicio monocristallino è ottenuto attraverso un costoso processo di formazione dei grani cristallini ai fini di ottenere una struttura molto regolare del reticolo. Il materiale viene prodotto in lingotti che vengono poi tagliati a formare le celle. Il taglio, d'altra parte, comporta una perdita del 20% circa del silicio prodotto.

Il materiale così realizzato consente di ottenere una resa elettrica molto alta (12-15%) che significa che per installare 1 kWp<sup>4</sup> di potenza elettrica dovrò installare una superficie di moduli pari a circa 7-8 metri quadri. In commercio i moduli di silicio monocristallino si trovano ad un prezzo compreso tra 4,2 e 5 €/Wp.



*Monocristallino*



*Policristallino*

##### **Silicio policristallino**

Il silicio policristallino è un materiale del tutto simile al precedente e si differenzia per il processo costruttivo che non comporta l'accrescimento di un unico grande cristallo, ma una solidificazione in più cristalli. In questo modo si ottiene un materiale con un aspetto molto meno uniforme e di colorazione bluastra, l'efficienza complessiva risulta ridotta a causa dell'alta probabilità di ricombinazione degli elettroni e delle lacune nel passaggio tra un cristallo e l'altro. Valori tipici di efficienza sono compresi tra il 10 e il 12%, ci sarà dunque bisogno di più spazio (8-10 metri quadri) per installare 1 kWp di potenza elettrica. Il costo del materiale risulta tuttavia più basso (intorno a 3,5 – 4 €/kWp per i moduli attualmente commercializzati). Risulta essere spesso un ottimo compromesso per costi e prestazioni.

---

<sup>3</sup> In tutto il mondo sono solo una dozzina le aziende produttrici di silicio per applicazioni industriali; proprio la scarsità di questa produzione – sebbene il silicio sia uno degli elementi più abbondanti in natura – pare possa costituire un freno allo sviluppo del fotovoltaico.

<sup>4</sup> La potenza elettrica degli impianti fotovoltaici viene indicata in kWp (kW di picco) per sottolineare che tale potenza è quella che l'impianto è in grado di erogare in condizioni standard

### Silicio amorfo

Il silicio amorfo rientra nella promettente famiglia dei "film sottili", questi materiali vengono così chiamati perchè possono essere depositati formando spessori di 4-5 micron contro i 300 micron delle tipiche celle cristalline. Il silicio in questo caso non viene raffreddato a formare una struttura cristallina ordinata, ma viene vaporizzato su un substrato. In questo modo il materiale presenterà una struttura disordinata, penalizzando di molto l'efficienza (5-8%), al contempo tuttavia la possibilità di ottenere dei film così sottili permette di poter depositare il silicio su supporti diversi, anche non rigidi e su superfici molto più ampie di una tradizionale cella cristallina: si possono così ottenere moduli interessanti dal punto di vista estetico, caratterizzati da una colorazione uniforme, moduli flessibili, oppure strutture fotovoltaiche adatte all'integrazione architettonica (tegole fotovoltaiche).

Il processo di produzione dei moduli in silicio amorfo consente di abbattere di molto i costi finali (2,8-3,5 €/Wp); tuttavia i moduli per integrazione architettonica risultano avere un prezzo di mercato del tutto simile a quello dei moduli in silicio cristallino. Nella scelta del silicio amorfo va tuttavia tenuto ben presente un fenomeno di deterioramento delle sue prestazioni nelle prime ore di funzionamento: nelle prime 300-400 ore il silicio amorfo perde circa il 10% della potenza nominale, ciò comporta una difficoltà non trascurabile nella capacità di predire la producibilità dell'impianto.



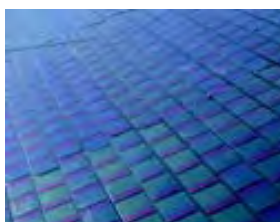
### 1.3.2. Policristallini a film sottile

Nella presente sezione si descrivono dei materiali che sembrano rappresentare il futuro della tecnologia fotovoltaica, sebbene all'attuale stato di sviluppo presentino ancora delle criticità non risolte: si tratta di quelli che abbiamo voluto chiamare policristallini a film sottile, che dovrebbero associare alle alte efficienze del silicio cristallino, l'economicità e la duttilità negli utilizzi tipiche dei film.

#### $\text{CuInSe}_2$ "CIS"

Il diseleniuro di Indio e Rame (meglio noto come CIS) è un film sottile caratterizzato da una giunzione di elementi diversi e permette di ottenere efficienze senz'altro interessanti (circa l'11%) attraverso un processo produttivo dai costi molto ridotti. I moduli CIS sono ancora scarsamente presenti sul mercato, da poco usciti dalla fase di sperimentazione in laboratorio, sembra confermato non risentano del problema del decadimento prestazionale nel primo periodo di funzionamento.

Il CIS e le nuovissime varianti CIGS (con aggiunta di Gallio) e CIGSS (con aggiunta di zolfo) possono avere ottime prospettive di diffusione nei prossimi anni.



*Esempi di moduli FV integrati in silicio amorfo*

#### CdTe

Un altro materiale molto promettente è il tellururo di cadmio che consente di ottenere, attraverso un processo industriale economico, una efficienza molto elevata (in laboratorio si sono registrati valori superiori al 15% che necessitano tuttavia di una validazione sul campo). Il CdTe tuttavia non è ancora arrivato ad un grado di sviluppo commerciale, si stanno utilizzando processi produttivi diversi e si stanno testando le prestazioni raggiungibili. Non si conoscono ancora a fondo i comportamenti del materiale nel tempo e permangono ancora delle perplessità circa l'opportunità di utilizzare il Cadmio, materiale che, se disperso nell'ambiente, può risultare cancerogeno.

### **1.3.3. Monocristallini a film sottile**

#### **GaAs**

L'arseniuro di Gallio (GaAs) non è un materiale particolarmente nuovo esso viene infatti utilizzato già da molti anni nell'industria spaziale per l'alimentazione di satelliti. Questo materiale infatti presenta delle caratteristiche eccezionali, altissime efficienze (25-30%), spessori estremamente contenuti e prestazioni non influenzate dalla temperatura. Tuttavia la sfida per quanto riguarda il GaAs è quella di poter contenere i costi di produzione, attualmente assolutamente eccessivi per poter penetrare il mercato del fotovoltaico tradizionale.

### **1.4. Gli impianti fotovoltaici**

In questa sezione illustreremo le principali caratteristiche di un impianto fotovoltaico, ovvero di quel sistema che, sfruttando i moduli che abbiamo descritto in precedenza, permette di produrre energia elettrica in corrente alternata o continua. Abbiamo diviso gli impianti in due categorie fondamentali: connessi alla rete e isolati (stand alone).

A differenza di altri sistemi di produzione elettrica, gli impianti FV sono caratterizzati dalla produzione dipendente dalla radiazione solare incidente. Pertanto si presenta come indispensabile esigenza la possibilità di avere un accumulo di energia durante le ore di produzione che sia in grado di immagazzinarla per renderla disponibile all'utenza nei tempi richiesti, indipendentemente dalla presenza o meno della radiazione solare. L'accumulo viene realizzato negli "impianti isolati" con una serie di batterie (di solito della tipologia Piombo-Acido), mentre negli impianti connessi alla rete elettrica (i tipici impianti dei "tetti fotovoltaici") il ruolo dell'accumulo viene svolto dalla rete stessa, che opera come un'immensa batteria, in grado di assorbire la produzione elettrica in eccesso, così come poter restituire energia nelle ore di scarsa o nulla insolazione.

#### **1.4.1. Gli impianti connessi alla rete (Grid connected)**

Gli impianti connessi alla rete sono tipicamente installati laddove vi è la possibilità di connessione alla rete elettrica con bassi costi o comunque dove i consumi elettrici sono molto consistenti. Quasi tutti gli impianti realizzati in contesto urbano appartengono quindi a questa categoria.

Questi sistemi quindi non necessitano dei costosi ed ingombranti banchi di batterie, ma devono essere dotati dei sistemi elettrici ed elettronici che permettono di produrre energia elettrica in connessione alla rete e quindi in corrente alternata in regime monofase o trifase a seconda della tipologia di utenza che vanno a servire. Vedremo nel seguito i singoli componenti l'impianto, per il momento ci interessa considerare le caratteristiche fondamentali di questi sistemi in modo da poter guidare la scelta del progettista o del potenziale utilizzatore.

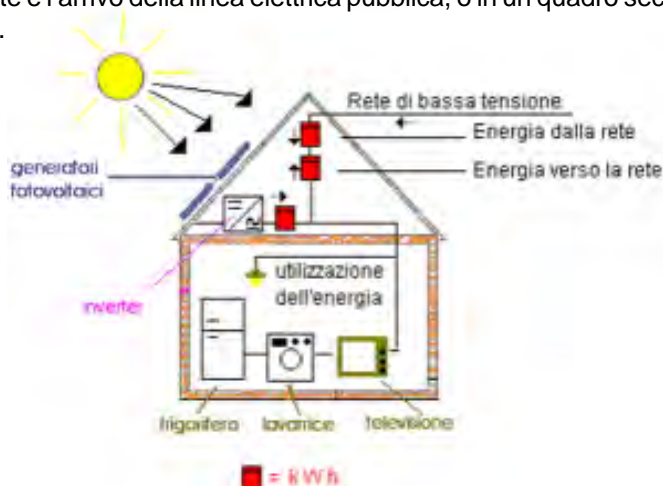
Gli impianti di questa tipologia vengono connessi ad un sistema di condizionamento della potenza elettrica (uno o più inverter) il cui scopo principale è quello di trasformare l'energia che proviene dai moduli (corrente continua, tensione variabile) e tra-



sformarla in modo tale da renderla compatibile con i parametri della rete elettrica (corrente alternata, 230Volt).

Per questi sistemi dunque va previsto un locale dove sistemare gli inverter, che possono essere tuttavia anche posizionati all'esterno nelle vicinanze dei moduli stessi.

La connessione alla rete dell'edificio avviene a livello del quadro generale, dove c'è il contatore dell'utente e l'arrivo della linea elettrica pubblica, o in un quadro secondario di distribuzione.



Il regime di scambio della energia elettrica prodotta con la rete, attivo in Italia dal 2000 in base alle disposizioni dell'Autorità per l'energia elettrica ed il gas, prevede che quando l'impianto FV produce più di quanto l'utente richieda in quel momento, l'energia elettrica in eccesso possa venire ceduta alla rete, mentre qualora l'utente richieda energia quando non vi è disponibilità dall'impianto, allora sarà la rete a fornire l'energia necessaria. Questo regime, di "scambio sul posto", dell'energia elettrica avviene, in Italia, a parità di prezzo, ovvero installando presso l'utente un secondo contatore che indichi quanta energia è fluiva verso la rete e a fine anno si procedendo ad un conguaglio, ovvero ai kWh (energia) consumati dall'utente e indicati dal vecchio contatore, si sottrarrà la cifra indicata dal nuovo, e l'utente dovrà pagare solo la differenza.

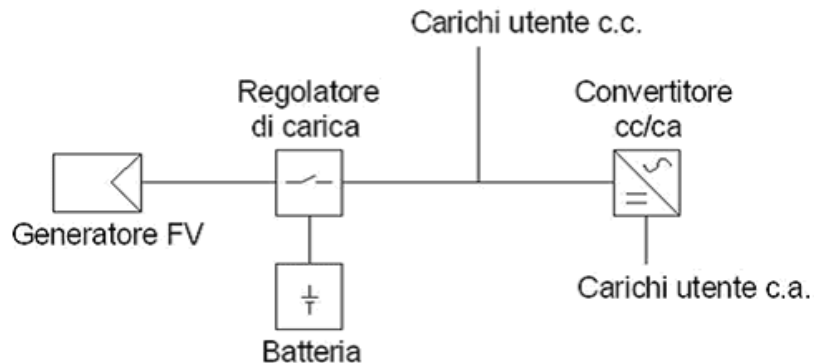
Per questo motivo, quando si progetta un impianto connesso alla rete - anche con il nuovo sistema di incentivazione in conto energia - è necessario dimensionare il sistema in modo che produca al massimo tutta l'energia che l'utente richiede annualmente, infatti in caso di sovrapproduzione FV, con il solo regime di scambio sul posto non verrà riconosciuto all'utente alcun utile, mentre con l'incentivo in conto energia il prezzo riconosciuto per l'energia ceduta alla rete è comunque inferiore rispetto al valore dell'energia consumata.



### 1.4.2. Gli impianti isolati (stand alone)

Come descritto in precedenza questa tipologia di impianti è caratterizzata dal fatto che non vi è connessione con la rete elettrica e dunque il sistema deve essere in grado di coprire l'intero fabbisogno dell'utenza. Il sistema di accumulo dell'energia riveste dunque un'importanza fondamentale, e spesso risulta essere il componente più costoso dell'intero impianto.

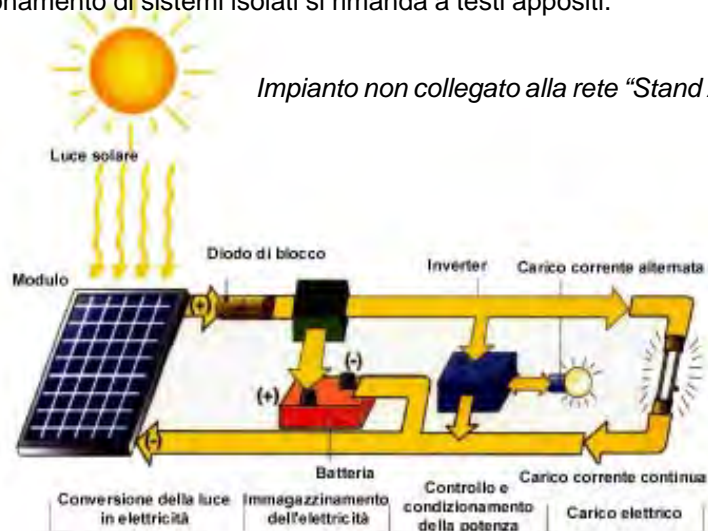
Il sistema di accumulo, banchi di batterie, è anche la parte più onerosa dal punto di vista della manutenzione e possiede una durata di vita attesa che è al massimo la metà di quella dei moduli.



Tutti questi motivi fanno sì che si scelga di realizzare un impianto di questo tipo solo quando non vi sia la possibilità di connessione alla rete: case isolate, rifugi alpini, altre realtà prive di rete elettrica.

Nel caso l'utente abbia bisogno di connettere alla rete carichi in corrente alternata, "anche in questo caso oltre alle batterie" si dovrà provvedere all'inserimento di inverter, peggiorando ulteriormente le prestazioni del sistema, altrimenti si preferisce cercare di tenere l'intero impianto, generatore e utilizzatori, in corrente continua alla tensione di batteria, tipicamente 12 o 24 Volt.

Nel seguito ci limiteremo a descrivere componenti e dimensionamento dei soli impianti connessi alla rete in quanto questa tipologia è di gran lunga la più diffusa, per il dimensionamento di sistemi isolati si rimanda a testi appositi.



## 1.5. Componenti del sistema

### 1.5.1. Moduli e stringhe

Si è descritto come il cuore degli impianti FV sia rappresentato dai moduli, che sono costituiti dalla connessione elettrica in serie delle singole celle.

Per raggiungere livelli di tensione elettrica adatti alla connessione con gli inverter è necessario tuttavia connettere in serie anche i singoli moduli, così come avviene normalmente con le batterie dei nostri piccoli apparecchi elettrici.

Si ottengono in questo modo le stringhe, ovvero serie di un numero variabile di moduli FV. La scelta del numero di moduli da connettere e come poi riunire l'energia prodotta dalle stringhe medesime è frutto dell'esperienza del progettista, ma è dettata principalmente dal tipo di inverter che si desidera adottare.



### 1.5.2. Il B.O.S. e le strutture di supporto

Il BOS (Balance of system) è un termine che indica tutto ciò che fa parte dell'impianto ad esclusione dei soli moduli FV e comprende dunque gli inverter, le strutture di supporto dei moduli, i cavi e i quadri elettrici, gli interruttori e quant'altro necessario per il funzionamento dell'impianto.

Le strutture di supporto più diffuse per gli impianti tradizionali si dividono in due grandi categorie: strutture per impianti a terra o su tetto piano e strutture per impianti su tetto a falda.

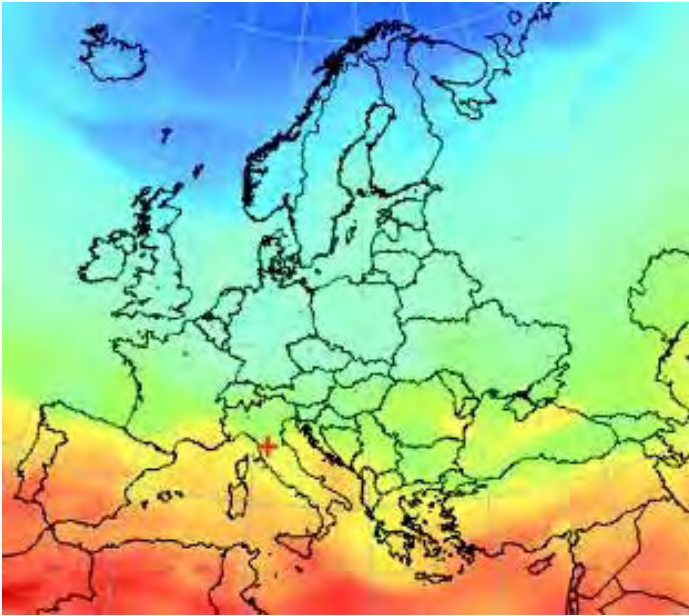
La prima categoria comprende delle strutture a cavalletto che consentono di collocare i moduli inclinati realizzando di solito più linee in successione, in questo modo si possono collocare i moduli secondo la migliore inclinazione e il migliore orientamento. Naturalmente il criterio di progetto fondamentale è quello di evitare che le singole linee di moduli possano produrre dell'ombreggiamento sulle file successive. Il fissaggio di queste strutture avviene o tramite imbullonamento o tramite delle zavorre di cemento (mattoni fotovoltaici) cui le strutture vengono fissate. Il peso complessivo di queste strutture è estremamente variabile a seconda della tipologia di fissaggio utilizzata, per un calcolo approssimativo si possono preliminarmente considerare circa 150-200 kg per kWp installato per strutture in acciaio zincato.

La seconda grande categoria di strutture comprende una grande varietà di soluzioni che consentono di fissare dei profilati in alluminio anodizzato sulle falde inclinate, con o senza la presenza di tegole. Queste strutture consentono di ottenere gradevoli effetti estetici in quanto i moduli risultano disposti parallelamente al tetto e quasi complanarmente. Ovviamente in questa seconda ipotesi i moduli saranno obbligatoriamente inclinati e orientati seguendo la superficie del tetto a disposizione, pertanto queste caratteristiche della copertura vanno attentamente analizzate per valutare le possibilità di produzione elettrica dell'impianto.

Il fissaggio di queste strutture avviene tramite imbullonamento, il peso complessivo si può approssimativamente stimare in circa 40 kg per kWp installato.







### **1.6. Dimensionamento preliminare di un impianto**

In questa sezione verrà finalmente descritta la modalità con cui vengono dimensionati gli impianti fotovoltaici: partiremo dall'analisi della irradiazione annua disponibile al suolo per poi passare a valutare il fabbisogno elettrico della utenza che vogliamo dotare del sistema FV. Dovremmo infine valutare la effettiva producibilità del nostro impianto, ovvero partendo dalla taglia che vogliamo installare, cercheremo di valutare con buona approssimazione l'effettiva quantità di energia che riusciremo a produrre. Ultima analisi che effettueremo sarà una prima valutazione per quanto riguarda l'impegno finanziario dell'investimento valutando il tempo di ritorno e il vantaggio derivante da eventuali finanziamenti.

### **1.7. I dati solari**

La prima valutazione indispensabile per poter valutare la producibilità di un impianto FV è naturalmente quella relativa alla quantità di energia solare incidente sulla superficie dei moduli che vogliamo installare. Naturalmente la radiazione incidente varierà a seconda della latitudine del sito in cui sorgerà l'impianto, dell'orientamento dei moduli (azimut rispetto al nord) e dalla loro inclinazione rispetto all'orizzontale (angolo di tilt).

Esula dai fini della nostra trattazione approfondire le caratteristiche della radiazione solare utili per il calcolo della produzione fotovoltaica; basti sapere che la radiazione viene divisa in diretta, diffusa e riflessa e che è necessario stimarne i vari contributi. Per conoscere i dati di radiazione media mensile su piano orizzontale ci si può riferire alle Norme UNI 10349 che riporta i dati standardizzati di 101 capoluoghi di provincia. Altre utili informazioni si possono ricavare dall'Atlante Solare Europeo o da un sito di recente pubblicazione del Joint Research Center della Commissione Europea: [re.jrc.ec.eu.int/pvgis/](http://re.jrc.ec.eu.int/pvgis/).

A partire da questi dati è possibile estrapolare i

valori della radiazione orizzontale al suolo per tutte le località di nostro interesse ed è possibile valutare i livelli di radiazione sulla superficie dei nostri moduli, orientati e inclinati in modo variabile. A tal fine è possibile procedere ai calcoli della norma UNI 8477 oppure riferirsi ad atlanti che contengono delle tabelle di radiazione su superficie inclinata e variamente orientata. Il nostro consiglio è quello di inserire i dati raccolti in un software di progettazione che permette di ottenere dei valori assolutamente accettabili per un'analisi preliminare che non richiede eccessiva precisione. Grazie a questa procedura sarà possibile ricavare il valore medio annuo di Kwh/mq al giorno incidenti sulla superficie dei nostri moduli. Indicativamente riportiamo i valori ricavabili dalla norma UNI 10349 per piani orizzontali per 3 città significative: Milano = 3.582; Roma = 4.140; Trapani 5.115.

### **1.8. Analisi della superficie a disposizione**

Questa seconda analisi è un altro passo essenziale per la realizzazione dell'impianto e non va assolutamente trascurata: capita infatti che anche se ci troviamo in un luogo con un ottimo irraggiamento nell'arco dell'anno le condizioni della superficie a disposizione rendano poco consigliabile l'installazione di un impianto.

I fattori da valutare, sin da un'analisi preliminare, sono sicuramente: l'area a disposizione per i moduli, le ombre che vanno ad incidere sulla superficie nel corso della giornata nell'arco di un anno, la presenza di ostacoli, la resistenza meccanica della superficie di installazione.

Una volta che si sia stabilito che l'orientamento e l'inclinazione di una falda di tetto, ad esempio, sono ottimali per la produzione FV, si tratterà, di considerare quanta superficie risulta a disposizione per l'installazione (tenendo presente l'efficienza del sistema: per un impianto al silicio policristallino dovremo valutare circa 10 mq per ogni kWp), se vi sono lucernai o comignoli che impediscono il fissaggio dei moduli o possono gettare delle ombre sull'impianto, così pure dovremo valutare l'accessibilità del tetto stesso (un tetto agevolmente raggiungibile semplifica le operazioni di manutenzione).

Altro parametro non trascurabile risulta essere senz'altro la resistenza meccanica della superficie, per un'installazione su tetto piano, ad esempio, dovremo valutare la resistenza del solaio, capendo se la struttura che abbiamo ipotizzato, e dunque il maggior carico che la struttura edilizia si troverà a sopportare, risultano adeguate. Per quanto riguarda le ombre risultano spesso molto utili dei software di simulazione che riescono a valutare l'andamento dell'ombra nell'arco dell'anno.

### **1.9. Analisi del fabbisogno elettrico**

Per dimensionare il nostro impianto dovremo attentamente valutare il fabbisogno di energia elettrica dell'utenza che vogliamo dotare del sistema FV. Abbiamo visto infatti come, nel caso di regime di "scambio sul posto" dell'energia sia conveniente dimensionare il nostro impianto in modo da non produrre energia in eccesso, che andrebbe "regalata" all'ente distributore.

Nel caso di edifici esistenti e abitati la via più semplice per stimare il fabbisogno annuo è naturalmente l'analisi delle bollette elettriche dell'utenza, si consiglia di prendere in considerazione almeno 3 anni di bollette, se possibile.

Per le utenze nuove ovviamente la cosa è più complessa, per un'abitazione privata si possono considerare 1.000 kWh per ciascun abitante, i consumi medi annui di una famiglia italiana si stimano in 3.500 kWh. Per altre realtà ci si dovrà consultare con il progettista elettrico dell'edificio, o comunque valutare gli apparecchi elettrici installati e stimare il loro utilizzo.

### **1.10. Calcolo della producibilità**

Il calcolo della producibilità può essere realizzato tramite un software di progettazione dedicato, ma si consiglia di considerare le varie perdite dell'impianto "manualmente".

Si deve considerare l'energia media annua in kWh/mq anno che risulta dall'analisi della radiazione solare incidente già effettuata, tale energia è esprimibile come il numero di ore equivalenti in cui si possono misurare 1000 W/mq; è possibile dunque considerare la potenza del nostro impianto e moltiplicare questo valore per le ore medie equivalenti annue.

Il prodotto ottenuto è l'energia prodotta dai moduli FV nell'arco dell'anno, per poter valutare l'effettiva energia resa disponibile dall'impianto sarà necessario moltiplicare questo valore per il rendimento dell'impianto.

Andiamo a valutare sommariamente le perdite elettriche che si verificano nell'impianto:

- Perdite per riflessione: 3,1%
- Perdite per bassa radiazione e ombreggiamento: 3,3%
- Mismatching stringhe: 5,7%
- Perdite per effetto della temperatura: 7,6%
- Perdite per quadri in continua: 1,2%
- Perdite nei convertitori cc/ca (Inverter): 4%
- Perdite nei filtri: 2%

Complessivamente si possono in media considerare delle perdite complessive pari al 25% .

Complessivamente dunque una buona stima della producibilità dell'impianto è pari a: POTENZA (in kWp) x n° ore giorno equivalenti medie x 365 x effetto perdite 0,75 = Energia producibile

Mediamente per impianti in Italia è possibile assumere dei valori cautelativi medi pari a :

- o Nord Italia: 1000-1100 kWh/kWp
- o Centro: 1100 - 1250 kWh/kWp
- o Sud: 1250 - 1400 kWh/kWp

#### **1.10.1. Verifica del corretto accoppiamento delle stringhe di un campo fotovoltaico con il convertitore statico (inverter)**

Nell'ambito della progettazione di un impianto fotovoltaico riveste una notevole importanza saper adattare al meglio le caratteristiche elettriche dell'inverter con quelle del campo o del sottocampo fotovoltaico cui l'inverter è connesso.



In pratica il problema consiste nel determinare il corretto numero di moduli da connettere ad un inverter attraverso la formazione di stringhe (gruppi di moduli connessi elettricamente in serie) in grado di garantire i corretti valori di tensione e corrente in ingresso al gruppo di conversione in qualunque regime di funzionamento dell'impianto.

Come procedura si consiglia di partire sempre dall'analisi delle specifiche dell'inverter presentate dal costruttore e di considerare i parametri elettrici dei moduli fotovoltaici nelle condizioni standard di funzionamento. Così facendo avremo la possibilità di effettuare un primo dimensionamento delle stringhe del sistema che andremo poi a verificare nelle diverse condizioni possibili.

Per quanto riguarda la prima fase dovremo innanzitutto valutare la potenza fotovoltaica (ovvero il numero di moduli) che è possibile connettere con l'inverter che abbiamo scelto; tale valutazione il più delle volte è immediata, quasi sempre infatti il costruttore dell'inverter indica direttamente la potenza – o il range di potenze – che l'inverter ammette in ingresso.

*Esempio 1: intendo adottare un inverter da 2500 W di potenza che indica come potenze ammissibili 3300 – 2500 Wp – in questo caso, se uso moduli da 100 Wp, potrò connettere ad un inverter un numero compreso tra 25 e 33 moduli.*

Nel caso in cui un costruttore non indicasse la potenza fotovoltaica ammessa è buona norma connettere un numero di moduli la cui potenza complessiva è data da  $P_N / 0,8$

Dove  $P_N$  è la Potenza nominale in alternata dell'inverter.

*Esempio 2: intendo adottare un inverter da 2500 W di potenza, dovrò connettere una potenza fotovoltaica di  $2500/0,8 \text{ Wp} = 3125 \text{ Wp}$ . Dovrò pertanto connettere circa 31 moduli da 100 Wp.*

Una volta stabilita la potenza fotovoltaica da connettere, ovvero il numero di moduli fotovoltaici, si dovrà determinare quanti moduli andranno connessi in serie a formare una stringa.

Per far questo sarà fondamentale conoscere, oltre ai dati dichiarati dal costruttore dell'inverter anche i valori di tensione nominale ( $V_n$ ) e tensione a vuoto ( $V_0$ ) del modulo fotovoltaico.

La stringa derivante dalla connessione in serie di N moduli avrà una tensione pari a  $N \times V_n$  e una corrente pari a I, se I è la corrente di un modulo.

Le specifiche dell'inverter di solito comprendono una tensione massima ammissibile ( $V_{MAX}$ ) e un intervallo di tensioni ( $VMPP_{min} - VMPP_{max}$ ) in cui la macchina è in grado di far lavorare l'impianto fotovoltaico al punto di massima potenza (Maximum Power Point Tracking): il dimensionamento preliminare delle stringhe dovrà pertanto partire da questi valori.

Si dovrà in particolare garantire che

1)  $N$  (numero moduli)  $\times V_0 = V_{MAX}$  e comunque inferiore a 600 V, per semplicità impiantistica potendo considerare tutto il sistema in classe II e che

2)  $VMPP_{min} = N \times V_n = VMPP_{max}$

*Esempio 3: Supponiamo che i nostri moduli da 100 Wp abbiano una tensione a vuoto pari a 42 V e una tensione nominale di 34 V. Se il nostro inverter ha una tensione massima ammissibile di 600 V e una "finestra di MPPT" da 350 a 550 V, possiamo vedere facilmente come 14 moduli in serie diano luogo ad una stringa che soddisfa entrambi i criteri sopra esposti: infatti  $14 \times 42 = 600$  V e  $14 \times 34 = 476$  che è compreso tra 350 e 550 V.*

### Verifiche del dimensionamento

Il procedimento sin qui illustrato permette di ottenere un primo dimensionamento valido per le stringhe del nostro sistema fotovoltaico.

Un progetto accurato non può tuttavia prescindere dalla verifica dei parametri di tensione della stringa individuata in tutte le condizioni di funzionamento.

Sappiamo infatti che i moduli fotovoltaici presentano una sensibile variazione dei parametri funzionali al variare della temperatura.

Si tratterà quindi di verificare se esistono delle condizioni di funzionamento (rare, ma possibili) in cui il dimensionamento della stringa non verifica più le condizioni già illustrate.

Si dovranno pertanto valutare la temperatura più bassa e più alta plausibilmente riscontrabili nel sito di installazione.

Si dovrà conoscere la variazione della tensione del modulo con la temperatura. I moduli in silicio cristallino tipicamente hanno una tensione che si abbassa all'aumentare della temperatura con una variazione tipica intorno al  $-0,35\%/^{\circ}\text{C}$ .

Per una torrida giornata d'estate a mezzogiorno per un impianto installato in Italia centro-meridionale non è difficile ipotizzare che la cella fotovoltaica si trovi a lavorare a temperature prossime ai  $60^{\circ}\text{C}$  ovvero  $35^{\circ}\text{C}$  in più rispetto alle condizioni standard, ciò significa che la tensione della cella calerà dello  $0,35 \times 35 = 12,2\%$  !

Vediamo ora come cambiano le condizioni 1) e 2) nelle diverse condizioni di funzionamento.

Visto che la condizione 1) riguarda esclusivamente un valore massimo di tensione che è vietato superare basterà valutare se nelle temperature più rigide riscontrabili nell'impianto la tensione a vuoto di stringa si mantiene al di sotto del valore massimo ammissibile.

Se supponiamo di poterci trovare al massimo a  $-5^{\circ}\text{C}$  in una rigida giornata di inverno avremo che la tensione del modulo aumenterà dello  $0,35 \times 30 = 10,5\%$ .

*Esempio 4: prendendo i moduli di prima avremo per ciascuno di essi una tensione a vuoto pari a  $42 + 10,5\% = 46,41$  V. La stringa che avevamo ipotizzato di 14 moduli in queste condizioni di funzionamento di troverebbe ad avere una tensione di  $46,1 \times 14 = 645$  V > 600V la verifica non è dunque soddisfatta in queste condizioni, dovremo quindi adottare una stringa con un minor numero di moduli! Già una stringa di 13 moduli potrebbe essere sufficiente..*

La verifica andrà completata poi nel considerare se in tutte le condizioni di funzionamento la stringa ha una tensione di lavoro che rimane all'interno della finestra MPPT dell'inverter.

Si tratterà quindi di considerare se nelle condizioni più fredde la tensione rimane al di sotto del valore limite superiore dell'MPPT e se nelle condizioni di temperatura più alta (minima tensione di stringa) la tensione di stringa si mantiene al di sopra del valore limite inferiore dell' MPPT dell'inverter.

*Esempio 5: eseguiamo la doppia verifica con i moduli che abbiamo utilizzato negli esempi precedenti: dovremo pertanto considerare il valore di tensione nominale di stringa e considerare la sua variazione con la temperatura. Supponiamo che il modulo lavori tra i 60°C (estate sole a picco, temperatura misurata sulla cella ) e i -5°C (temperatura più rigida riscontrabile in inverno).*

*Dovremo pertanto verificare la tensione massima nominale che crescerà dello  $0,35 * 30 = 10,5\%$  dunque il mio modulo avrà una tensione di  $34 + 10,5\% = 37,57$  .  
Facendo una stringa di 14 moduli si ottiene  $14 * 37,57 = 526$  V, che è comunque inferiore al valore limite superiore della finestra MPPT (550 V), questa prima verifica è soddisfatta.*

*La seconda verifica, a 65°C, impone un abbassamento della tensione di  $0,35 * 35 = 12,2\%$  . Quindi passeremo dai nominali 34 V ai 29,8 V che mi aspetto nella giornata più torrida. La stringa avrà in questo caso una tensione di  $14 * 29,8 = 418$  V. Anche questa seconda verifica risulta soddisfatta in quanto  $418$  V > 350 V, limite inferiore della finestra MPPT.*

Gli esempi 4 e 5 illustrano l'importanza di eseguire sempre contemporaneamente le 3 verifiche in quanto il dimensionamento di stringa può soddisfare uno o più criteri ma non tutti contemporaneamente, il che comporta comunque il cambiamento di progetto.

## **1.11. Analisi dell'investimento**

### **1.11.1. Sistemi di incentivazione in Italia – Il conto energia**

Da più di un decennio ormai il finanziamento in "conto energia" si è affermato a livello europeo come strumento privilegiato per la promozione e lo sviluppo dei sistemi di produzione a fonte rinnovabile.

Tale meccanismo di finanziamento consiste nel riconoscere un prezzo superiore a quello di mercato per l'energia elettrica prodotta da impianti a fonti rinnovabili e ceduta alla rete per un arco temporale di circa 10 anni; la tariffa incentivante ("feed in tariff") permette quindi di rendere competitiva sul mercato elettrico la produzione da fonti non fossili e di offrire sicurezza finanziaria per gli investimenti del settore.

In Italia un meccanismo di questo tipo è in vigore dagli inizi degli anni 90 (provvedimento CIP 6/92) ma non limitandosi al finanziamento delle sole fonti rinnovabili ha ottenuto i migliori risultati nello sviluppo di sistemi a ciclo combinato o di cogenerazione a metano.

La riorganizzazione del settore elettrico, tuttavia, iniziata con il Decreto Bersani nel 1999 (D. Lgs. 16 Marzo 1999) e l'introduzione dei certificati verdi, ha portato negli ultimi anni (Decreto 387 del 29 dicembre 2003, Legge Marzano 23 Agosto 2004) una sostanziale modifica nelle politiche di promozione delle fonti rinnovabili istituendo anche un meccanismo di "feed in tariff" molto simile a quello che ha consentito alla Germania di divenire il primo paese per potenza eolica installata al mondo.



### **1.11.2. Il Fotovoltaico**

Le tariffe incentivanti che vengono fissate per le fonti rinnovabili, generalmente legate al prezzo di vendita dell'energia elettrica all'utenza domestica, non sono utili per promuovere il fotovoltaico in quanto i notevoli investimenti necessari per questa tecnologia richiedono tariffe di ritiro dell'energia prodotta molto superiori per essere remunerati adeguatamente.

Sono stati sviluppati quindi numerosi meccanismi di supporto ad hoc per il settore fotovoltaico, tra le più comuni tuttavia rimane l'incentivo in "conto energia" a tariffe superiori (intorno ai 50 ¢cents/kWh).

Meccanismi di questo tipo hanno consentito un vero e proprio boom dell'industria fotovoltaica a livello europeo con la Germania ancora una volta a fare da capofila con circa 400 MWp installati nel corso del 2004.

In Italia si è preferito iniziare a promuovere la tecnologia fotovoltaica (2001) con un sistema di finanziamento in conto capitale basato su bandi regionali che permettevano ai soggetti ammessi in graduatoria di poter beneficiare di una copertura dei costi iniziali fino al 75%. Questo sistema, se da un lato ha permesso di allargare la conoscenza su questi sistemi e accrescerne la diffusione (circa 4 MWp installati nel corso dell'ultimo anno) non è riuscito ad imprimere la svolta decisiva per la creazione di un settore industriale così solido e affermato come quello tedesco; i principali limiti del sistema infatti risiedevano proprio nella architettura basata su bandi regionali, che stabiliva regole di partecipazione diverse regione per regione, livelli di finanziamento diversi, tempi troppo lunghi per la formazione delle graduatorie. Le tempistiche stesse dei bandi hanno determinato un regime "sincopato" nel lavoro degli operatori del settore, fatto di picchi nei mesi di accettazione delle domande di finanziamento e di lunghe attese nei mesi di formazione delle graduatorie.

L'insieme di queste difficoltà ha fatto chiedere da più parti l'applicazione anche nel nostro Paese di un regime di finanziamento in "conto energia" valido su tutto il territorio nazionale e che potesse offrire parametri certi di remunerazione degli investimenti con un orizzonte temporale sufficientemente lungo.

A partire da Agosto 2005 è attivo anche in Italia il finanziamento in conto energia per l'energia fotovoltaica, che permette di godere per 20 anni di una tariffa incentivante che si spera possa portare ai notevoli risultati raggiunti dall'industria tedesca.

### **1.11.3. Il decreto 28 Luglio 2005**

Cerchiamo di illustrare i punti principali del decreto 28 Luglio 2005 che istituisce in Italia il finanziamento in "conto energia" per gli impianti fotovoltaici connessi alla rete. Innanzitutto il sistema di finanziamento verrà applicato a tutta l'energia elettrica prodotta dagli impianti ceduta o autoconsumata e potranno beneficiarne tutti i soggetti pubblici o privati che ne facciano richiesta. Saranno ammessi a finanziamento tutti gli impianti connessi alla rete di bassa e media tensione e di potenza inferiore ai 1000 kWp, senza obbligo di installazione su edifici o strutture edilizie, e senza condizioni premianti per l'integrazione architettonica.

Nel dettaglio gli impianti vengono suddivisi in tre fasce di potenza con regimi di incentivazione differenti:

- Impianti da 1 a 20 kWp: l'energia prodotta verrà remunerata con una tariffa

pari a 0,445 €/kWh per 20 anni. Inoltre questi impianti potranno scambiare sul posto l'energia, ovvero tutta l'energia prodotta andrà a ridurre i consumi dell'utenza: due contatori distinti misureranno l'energia prelevata dalla rete e quella ceduta. La tariffa viene ridotta del 30% nel caso il proprietario benefici della detrazione IRPEF del 36%.

- Impianti da 20 a 50 kWp: questi impianti beneficeranno di una tariffa incentivante pari a 0,46 €/kWh per 20 anni per tutta l'energia prodotta; potranno sommare inoltre, per le quote non autoconsumate, la tariffa riconosciuta per tutti gli impianti a fonte rinnovabile (Delibera 34/05, circa 0,09 €/kWh).
- Impianti da 50 a 1000 kWp: per questi impianti è stato previsto un sistema di gare a partire da 0,49 €/kWh, ovvero verranno ammessi al finanziamento solo gli impianti che richiederanno la tariffa incentivante più bassa.

Tale sistema di finanziamento è limitato al raggiungimento di quote prefissate di impianti installati: 60 MWp per gli impianti fino a 50 kWp, 40 MWp per gli altri.

A partire dal terzo anno le tariffe incentivanti saranno ridotte del 2% ma potranno essere riviste annualmente per tenere in considerazione l'andamento del tasso di inflazione annua.

#### 1.11.4. Tempi di ritorno – guadagni

Possiamo dunque riassumere i benefici economici derivanti dall'introduzione del conto energia. Faremo l'ipotesi che per ogni kWp sia possibile produrre 1.100 kWh (produzione tipica nel Nord Italia, è da tenere presente che al Sud si può stimare una produzione fino a 1.400 kWh); assumeremo anche di poter trascurare tassi di interesse e di attualizzazione oltre ai costi di manutenzione, tali semplificazioni tuttavia non pregiudicano la bontà dell'analisi di seguito illustrata che vuole fornire un'idea preliminare dei tempi di ritorno degli investimenti per le diverse tipologie di impianto.

##### **Esempio di impianto < 20 kWp<sup>5</sup>:**

Prenderemo ad esempio un impianto da 2 kWp installato da parte di un privato cittadino.

L'installazione di un impianto di questo tipo comporta una spesa iniziale di circa 14.000 Euro IVA inclusa.

Se il proprietario non intende avvalersi della facoltà di detrarre dall'IRPEF il 36% della spesa sostenuta potrà godere per 20 anni di una tariffa incentivante pari a 0,445 €/kWh.

Ai guadagni derivanti dalla tariffa incentivante potrà sommare i costi evitati derivanti dal fatto che, grazie allo scambio sul posto potrà detrarre dai suoi consumi elettrici (stimiamo 0,15 €/kWh) tutta la quota prodotta dall'impianto.

Dunque annualmente si avranno:  $0,445 \times 2.200 + 0,15 \times 2.200 = 1309$  €/anno di ricavi.

Questo significa che in circa 11 anni il proprietario dell'impianto rientrerà dell'investimento e per altri 9 godrà della tariffa incentivante e fino alla fine della vita utile dell'impianto godrà dello scambio sul posto dell'energia. Complessivamente il gua-

---

<sup>5</sup> L'analisi presentata non tiene in considerazione la possibile tassazione dell'energia prodotta. Tuttavia ai sensi della L. 133/99 l'energia prodotta da impianti a fonte rinnovabile < 20 kW non dovrebbe essere soggetta a tassazione.



Foto: BP Solar

guadagno totale alla fine della vita utile dell'impianto (30 anni) è stimabile in circa 15.000€. In caso si scegliesse di detrarre le spese dall'IRPEF la nuova tariffa incentivante verrebbe ridotta a 0,3115 €. Ripetendo la stessa procedura sopra illustrata è possibile vedere come si accorcerebbero i tempi di ritorno di circa 2 anni ma anche il guadagno complessivo verrebbe ridotto.

### **Esempio di impianto da 30 kWp.**

Per l'energia prodotta da impianti di taglia superiore ai 20 kWp è prevista la tassazione degli utili (che stimeremo pari al 40%).

Il costo iniziale dell'impianto questa volta ammonterà a 180.000 €.

Se supponiamo che a realizzare questo impianto sia un'azienda che pertanto può mettere in detrazione le spese per l'impianto (è considerato investimento in beni strumentali), considerando sempre un'aliquota del 40%, avremo come costo iniziale 108.000 €.

Questa volta avremo pertanto un guadagno annuo derivante dalla tariffa incentivante pari a  $1.100 \times 30 \times 0,46 = 15.180$  €, che dopo le tasse diventano 9.108.

Se tutta la produzione non viene ceduta alla rete, ma autoconsumata potremo sommare il vantaggio economico derivante dai mancati consumi:  $0,13 \text{ €} \times 1.100 \times 30 = 4.290$  €, avendo considerato un costo dell'energia pari a 0,13 €/kWh. Nel caso invece in cui parte della produzione venisse ceduta alla rete, avremmo un guadagno minore, dato che l'energia scambiata con la rete viene remunerata secondo quanto stabilito dalla delibera 34/05 (circa 0,09/kWh €).

Complessivamente avremo quindi un guadagno annuo pari a  $9.108 + 4.290 = 13.398$  € che determina un tempo di ritorno molto interessante pari a circa 8 anni.

Notevoli sono anche le cifre di guadagno sui venti anni, detratto il costo iniziale avremo circa 160.000 € di guadagni.

Questa analisi permette quindi di sottolineare come il fotovoltaico possa divenire un buon investimento, grazie al nuovo meccanismo del conto energia la cui convenienza si massimizza quando è possibile installare impianti di taglia media da parte di un soggetto privato che abbia consumi tali da assorbire l'intera produzione fotovoltaica.



Foto: L.Ceccherini Nelli



Foto: L.Ceccherini Nelli

### **1.11.5. Benefici ambientali**

Un'analisi che spesso risulta interessante e molto semplice da effettuare è quella che considera il beneficio ambientale dell'impianto fotovoltaico, ovvero quantifica i kg di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) che permetteremo di evitare (la CO<sub>2</sub> è un gas che seppur innocuo per l'uomo è considerato uno dei principali responsabili dell'effetto serra). Considerando che in Italia si bruciano soprattutto combustibili fossili per produrre energia elettrica mediamente si può valutare un'emissione di 650 gr di CO<sub>2</sub> per ogni kWh. Ciò significa che per quantificare la CO<sub>2</sub> "risparmiata" ogni anno grazie al nostro impianto basterà moltiplicare il valore della produzione annua per 650 gr. Gli impianti degli esempi precedenti permettono di evitare rispettivamente  $0.650 \times 2 \times 1100 = 1430$  kg di CO<sub>2</sub> e  $0.65 \times 30 \times 1100 = 21.450$  kg all'anno.



Foto: L.Ceccherini Nelli



## *Il fotovoltaico per l'architettura, produzione e caratteristiche*

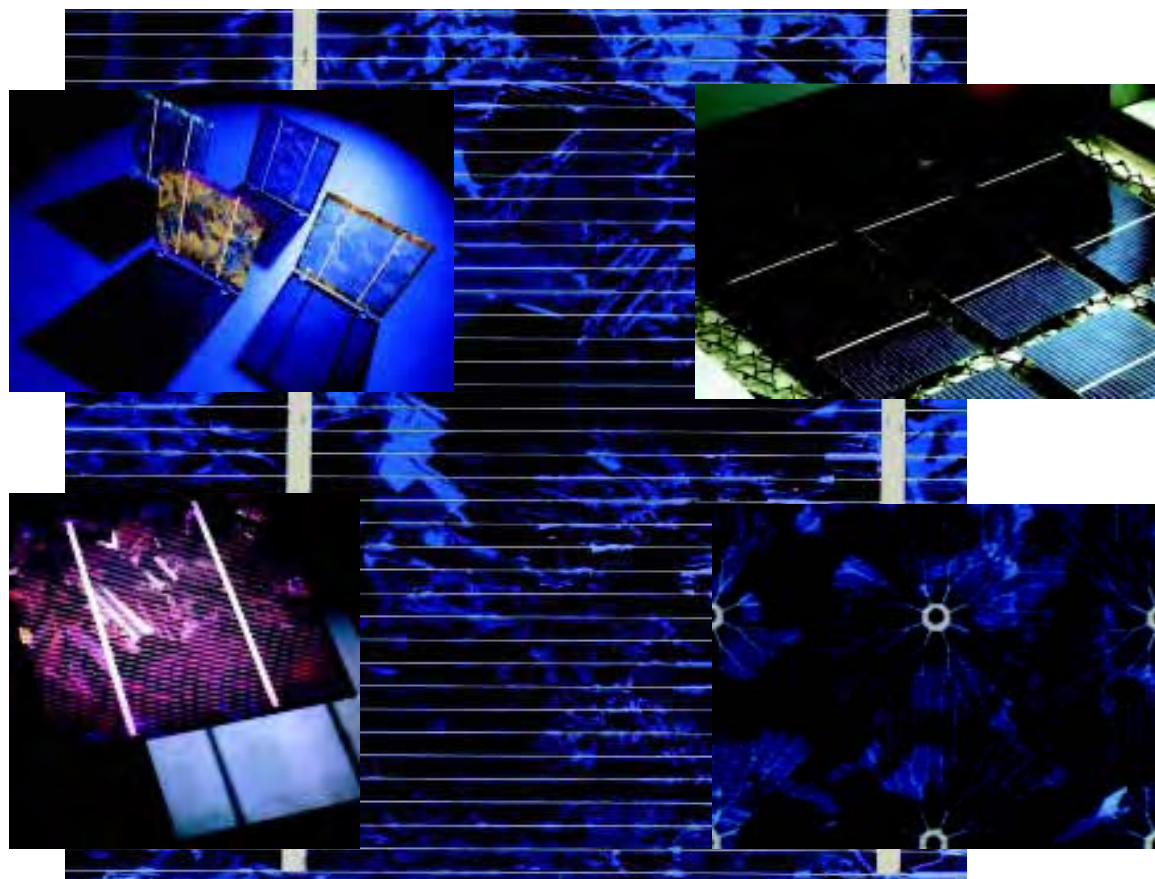
**Lucia Ceccherini Nelli**

*Il mercato del fotovoltaico registra, in media, un incremento annuo del 40%, al quale è associata una crescita della varietà dei prodotti e delle soluzioni progettuali idonee a soddisfare le più diverse esigenze per applicazioni urbane. Parte di tali applicazioni sono generatori di energia solare che immettono elettricità nella rete oppure sistemi isolati (stand alone) che consentono una alimentazione autonoma evitando i costi per la connessione in rete.*

*Nonostante la costante diminuzione dei costi, l'energia fotovoltaica presenta dei costi di produzione ancora abbastanza alti rispetto alle fonti energetiche tradizionali.*

*Il materiale maggiormente utilizzato per realizzare celle FV è il silicio cristallino mentre il silicio amorfo e film sottili coprono solamente il 30% della produzione di mercato. Un'altro tipo di celle in corso di sperimentazione sono le celle organiche DSC, e molti altri tipi sono in fase di sperimentazione per acquisire una buona colorazione ed un effetto architettonico qualificante nelle applicazioni edilizie.*

*I progressi delle tecnologie produttive consentono la realizzazione di moduli con dimensioni sempre più simili ai componenti edili standard. Anche i componenti strutturali dei moduli, realizzati in vetro, metallo o materiali plastici, acquisiscono caratteristiche estetiche e funzionali sempre migliori per l'impiego nelle costruzioni.*



*Cella in policristallino EUROSOLARE*



*Impiego del fotovoltaico per usi spaziali, satelliti, astronavi, ecc...*

## 2.1. Sviluppo storico dell'energia fotovoltaica

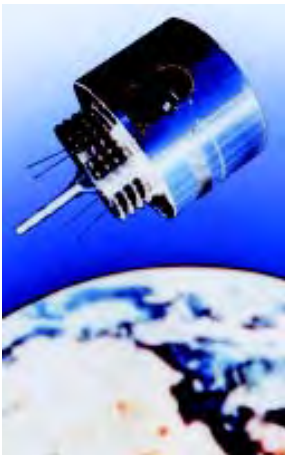
Il fenomeno fisico responsabile della conversione dell'energia solare in elettrica, definito come effetto fotovoltaico, fu scoperto nel 1839 da Edmond Becquerel (1820-1891), che all'età 19 anni presentò all'Accademia delle Scienze di Parigi una relazione sugli effetti elettrici derivanti dall'irraggiamento solare.

Nella documentazione aveva riportato i risultati di esperimenti svolti immergendo due elettrodi di platino in una soluzione elettrolitica ed osservando come l'intensità della corrente aumentava quando l'apparecchiatura veniva esposta ai raggi solari. Becquerel aveva inventato la prima cella fotovoltaica e aveva notato come l'effetto di conversione era strettamente collegato alla quantità di luce incidente. Effetti simili sono stati osservati nel 1876 Adams, Day e Smith pubblicarono dei rapporti relativi all'uso di selenio e le giunzioni tra questo elemento ed altri ossidi metallici.

Il rendimento delle prime celle al selenio era molto basso, circa il 2%, e non lasciava intravedere buone prospettive per l'impiego di questa tecnologia. Tra il 1940 e il 1950 venne messo a punto un processo per la produzione di silicio cristallino molto puro, chiamato metodo Czochralski dal nome del suo inventore. Questo ha permesso la realizzazione nel 1954, negli Stati Uniti presso i laboratori Bell, della prima cella fotovoltaica commerciale.

Negli anni sessanta l'industria fotovoltaica ebbe successo quale fonte primaria di energia per satelliti artificiali e astronavi, dato che allora non vi era la necessità di sostituire o integrare i combustibili di origine fossile presenti in grande quantità sul mercato.

Con la prima crisi energetica del 1973, in seguito ad ingenti investimento nella ricerca e nello sviluppo di fonti rinnovabili, l'industria fotovoltaica iniziò a elaborare dei prodotti da impiegare in applicazioni non solo spaziali.



## 2.2. La tecnologia fotovoltaica

La relativa economicità dell'energia tratta dalle fonti fossili e la mancanza di una reale sensibilità alla razionalizzazione dell'energia disponibile, hanno determinato la convinzione tra i progettisti, che sia possibile realizzare qualunque tipologia di edificio in ogni condizione climatica, anche la più estrema. Grazie all'utilizzo di notevoli quantità di energia è infatti possibile garantire elevati standard di comfort interno indipendentemente dalle condizioni esterne. Ciò ha caratterizzato per molti anni la progettazione delle costruzioni in molti paesi europei e americani consentendo lo sviluppo di tipologie edilizie molto inquinanti, con costi collettivi molto alti in termini di qualità della vita, impatto ambientale e risparmio energetico. Lo sviluppo tecnologico ha quindi generato un'architettura indipendente dal luogo e dalle condizioni esterne in cui è collocata, sensibile alla climatizzazione interna utilizzando sistemi di condizionamento e riscaldamento molto inquinanti.

Sarebbe ancora possibile continuare in questa direzione se la disponibilità delle risorse energetiche fosse inesauribile, a costi sempre molto contenuti e se l'uso indiscriminato di tali energie non costituisse seri pericoli per l'ambiente. Come sappiamo, per ciò che riguarda l'energia tratta dalle fonti fossili, risulta ormai certo che un giorno dovranno esaurirsi e la conseguente certezza che le continue e profonde disfunzioni apportate all'ambiente da consumi energetici indiscriminati ed un evidente riduzione della qualità ambientale. Nasce così la necessità di un ripensamento radicale della logica costruttiva degli edifici; una trasformazione che includa tra i criteri base del processo progettuale un'elevata sensibilità energetica. E' importante a tal fine una elevata conoscenza dei fenomeni energetici interni ed esterni all'edificio, appropriato uso di materiali e tecnologie che ottimizzino le risorse termiche già presenti nell'ambito della costruzione e, ed utilizzino risorse energetiche rinnovabili, tra le quali quella fotovoltaica, meglio se integrate nell'edificio. Il perseguimento del risparmio energetico, deve garantire una buona progettazione fatta da esperti che conoscano bene le tecnologie da impiegare per non giungere alla realizzazione di progetti mediocri, fatti da tecnici non competenti senza alcuna professione e conoscenza delle tematiche ambientali e architettura sostenibile. Progettare con criteri bioclimatici e sostenibili ed utilizzare fonti di energia rinnovabile integrata alle strutture edilizie significa adattare l'edificio al clima che lo circonda. Ciò consente di ridurre al minimo l'apporto energetico necessario a garantire buoni standard ambientali interni. Tali potenzialità possono essere raggiunte attraverso una conoscenza dei fenomeni fisici "globali" che interagiscono nell'ambito dell'edificio e di come tali fenomeni possono essere utilizzati per ottimizzare il comfort interno.

La progettazione dell'integrazione edilizia della tecnologia fotovoltaica o solare termico od altre tecnologie per il risparmio energetico, dovrà essere sviluppata alla base della concezione dell'edificio dotandolo di nuove potenzialità tecnologiche.

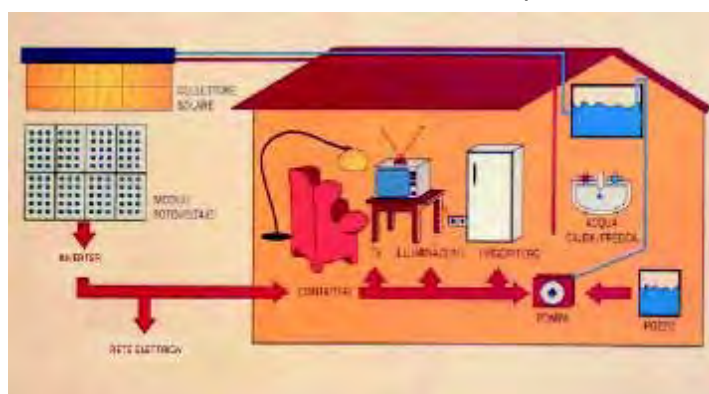
Il concetto di edificio "sostenibile" diventa strumento di produzione diretta di energia, utilizzabile per se stesso o per altri edifici vicini oppure



*Energia solare od elettrica convenzionale?*



*Aereo Nasa telecomandato a distanza 75 m di lunghezza dell'ala FV*



*Utenza connessa alla rete. Possibili utenze alimentate dall'impianto FV*

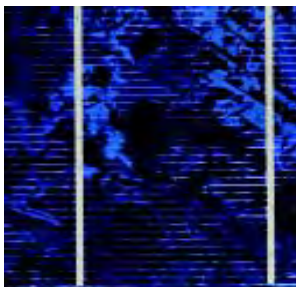




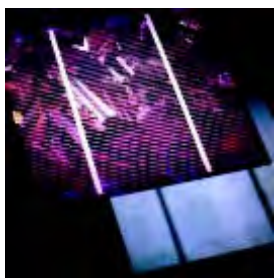
Impianto Fotovoltaico integrato in copertura per una farmacia in Germania



La cella, i moduli, le stringhe e il campo fotovoltaico



Cella in silicio policristallino



Celle in policristallino colorate

anche a livello di isolato e quartiere. I progressi delle tecnologie produttive consentono la realizzazione di moduli con dimensioni sempre più simili ai componenti edili standard. Anche i componenti strutturali dei moduli, realizzati in vetro, metallo o materiale plastici, acquisiscono caratteristiche estetiche e funzionali sempre migliori per l'inserimento nelle costruzioni.

### 2.3. Scelta dei materiali FV per l'integrazione architettonica

#### 2.3.1. La cella

Il dispositivo più elementare capace di operare la conversione fotovoltaica è la cella fotovoltaica. Prodotto base per la realizzazione di celle fotovoltaiche è il silicio estratto da sabbia di quarzo.

Il motivo per cui viene utilizzato il silicio come semiconduttore è che esso è presente sul nostro pianeta in quantità quasi illimitata ed è largamente utilizzato nell'industria elettronica. Inoltre, gli scarti della lavorazione dei componenti elettronici possono essere riciclati dall'industria fotovoltaica, che tollera maggiori concentrazioni di impurità.

Una cella tipo ha dimensione di 100x100mm o 125x125 mm e può produrre, con piena irradiazione solare, una potenza di circa 1,5W. I rendimenti sono proporzionali alla purezza del silicio impiegato.

#### 2.3.2. Silicio monocristallino, policristallino e amorfo

Secondo le tecniche più tradizionali, il **silicio** a cristallo singolo, o **monocristallino**, è ottenuto da un processo detto di *melting* a partire da cristalli di silicio di elevata purezza che, una volta fusi, vengono fatti solidificare: durante il raffreddamento, il silicio gradualmente si solidifica nella forma di un lingotto cilindrico di monocristallo del diametro di 13 — 20 cm, con una lunghezza che può raggiungere i 200 cm. Successivamente, il lingotto viene tagliato con speciali seghe a filo in fettine dette *wafers* con spessore di 250 ÷ 350 mm: il ridotto spessore dei wafer ottenuto consente un buon sfruttamento del lingotto che però è estremamente fragile.

In alternativa al silicio monocristallino, l'industria fotovoltaica utilizza anche il **silicio policristallino** che ha costi di produzione inferiori e nel quale i cristalli si presentano ancora aggregati tra loro ma con forme e orientamenti differenti. L'affinamento del processo produttivo delle celle di silicio policristallino consente oramai di realizzare celle con prestazioni elettriche solo di poco inferiori rispetto a quelle in silicio monocristallino.

Fino ad alcuni anni fa le celle fotovoltaiche avevano forma circolare, con diametro di 8 cm in conseguenza della forma cilindrica del lingotto d'origine. Attualmente, per ottenere un maggiore sfruttamento dell'area attiva una volta assemblate nei moduli fotovoltaici, le celle commerciali hanno forma quadrata (eventualmente con i quattro angoli smussati) con lato di 8 — 10 cm se di silicio monocristallino o 12 ÷ 15 cm se di silicio policristallino. Poiché comunque la tendenza attuale porta verso la realizzazione di celle con dimensioni sempre maggiori, non è difficile immaginare che anche questi valori verranno ben presto superati a tutto guadagno della densità di energia prodotta.

La connessione elettrica fra celle fotovoltaiche è ottenuta per mezzo di due

contatti metallici, uno sulla faccia esposta e l'altro su quella opposta, normalmente ottenuti per evaporazione sotto vuoto di metalli a bassissima resistenza elettrica ed effettuando successivi trattamenti termici al fine di assicurarne la necessaria aderenza alla superficie della cella. Mentre la metallizzazione posteriore copre tutta la faccia, quella frontale esposta alla luce deve avere una configurazione geometrica tale da consentire un buon compromesso fra trasparenza alla radiazione incidente e massima "raccolta" degli elettroni liberi nel processo di conversione. Infine la cella è rivestita di un sottilissimo strato antiriflettente di ossido di titanio evaporato sotto vuoto.

Le celle fotovoltaiche in **silicio amorfo** più recenti sono i film sottili, ottenuti con la materia attiva in forma di gas, depositata in strati spessi pochi micron su una grande varietà di superfici di appoggio. Tuttavia, poichè la realizzazione di moduli a film sottile richiede materiali con caratteristiche particolari (silicio amorfo con struttura come quella di un liquido sottoraffreddato, telloruro di cadmio, diseleno e rame) rimangono ancora aperti diversi aspetti tecnici, specialmente che riguardano la stabilità delle prestazioni elettriche nel corso degli anni. Attualmente, vengono industrialmente prodotte celle sia a *singola* che a *multi* giunzione. Queste ultime sono costituite da un certo numero di strati di silicio, drogati alternativamente, con diverse sensibilità solare e collegati in serie consentendo così di raggiungere rendimenti pari a quelli ottenibili con celle a giunzione singola. È opinione diffusa che i moduli a film sottile, principalmente a basso impiego di materiale e con prevedibile aumento di efficienza specifica, subiranno nell'immediato futuro significative riduzioni di costo.

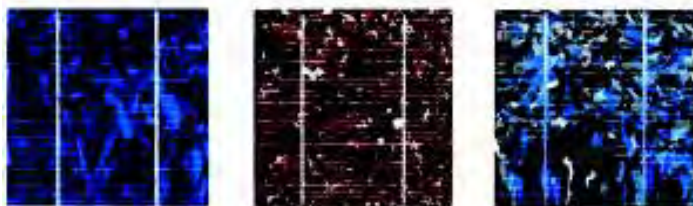
### 2.3.3. Il processo produttivo delle celle FV

I processi di trasformazione che prevedono l'avvio del taglio dei wafer dai lingotti sono di ordine chimico, termico e fisico e spesso richiedono procedimenti assai complessi:

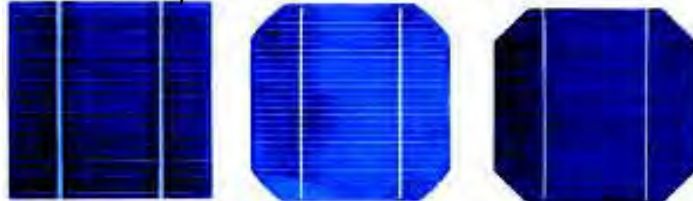
- A. Pulizia
- B. Processo di diffusione



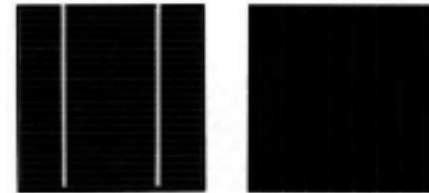
*Celle argentate in policristallino*



*Celle in silicio policristallino*



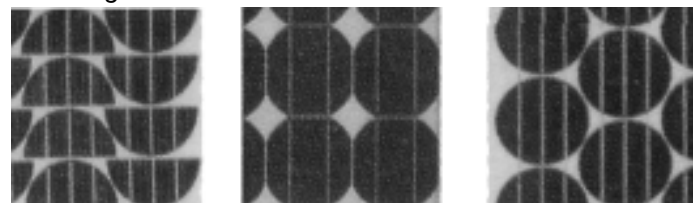
*Celle in silicio monocristallino*



*Celle in silicio amorfo*



*Alcune geometrie di celle*



*Alcune esempi di aggregazione di celle*

Sezione assonometrica



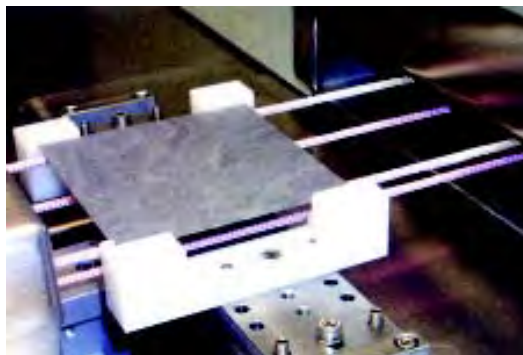
Processo produttivo della cella FV dal lingotto al modulo FV



Pulitura a base acida



Processo di drogaggio in forno



Sottilissime celle in policristallino 150 $\mu$ m

- C. Giunzione P-N
- D. Plasma - etching
- E. Il processo di metallizzazione
- F. Lo strato antiriflesso

**A. Pulizia.** Appena il wafer viene tagliato deve essere pulito con un accurato processo di pulizia, poiché sul wafer sono presenti numerose irregolarità dovute al taglio. La pulizia toglie uno strato piccolissimo di silicio e generalmente viene realizzata con sistemi di abrasione oppure chimici ad alta temperatura a base di idrossido di sodio. Il processo di pulizia porta la superficie del wafer a configurarsi costituita da una serie di piccole piramidi di base compresa fra i 3 e 15  $\mu$ m, disposte in modo casuale, che attribuiscono alla cella una maggiore capacità di assorbimento dei raggi luminosi. L'inclinazione delle facce delle piramidi viene determinato per consentire la massima efficienza delle celle.

**B. Processo di diffusione degli atomi di fosforo.** Questo è il secondo processo a cui viene sottoposto il wafer. Il silicio in lingotti viene prodotto già drogato p, ossia nella sua composizione sono presenti atomi di boro. Il processo di drogaggio con fosforo, permette di creare uno strato superficiale drogato n necessario per ottenere la giunzione p-n, nucleo fondamentale del funzionamento della cella fotovoltaica, il processo avviene per 15-20 minuti in forni speciali, a temperature che raggiungono gli 870° C. In questo modo si diffondono gli atomi di fosforo formando uno spessore massimo di 0,5  $\mu$ m sulla superficie del wafer. Il processo di diffusione sul wafer avviene nebulizzando un liquido drogante, il liquido è costituito da ossicloruro di fosforo che insieme all'ossigeno (immesso nel forno) reagiscono formando ossido di fosforo P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. L'ossido di fosforo, a contatto con la superficie del wafer, si trasforma in diossido di silicio liberando atomi di fosforo che si diffondono sul wafer.

La necessità di operare ad elevate temperature (al di sotto della temperatura di fusione del silicio), è imposta dall'obbligo di raggiungere una notevole mobilità atomica all'interno del



reticolo cristallino del semiconduttore, che consenta cioè una diffusione graduale e profonda degli atomi di fosforo nello strato superficiale dello stesso.

### C. La giunzione P-N

Il processo della fase di giunzione p-n avviene nella fase di diffusione. Nella fase di drogaggio si dà origine alla giunzione -n sul wafer. Per evitare che la parte posteriore della cella possa essere influenzata dal drogaggio a base di fosforo, le celle vengono unite in coppia prima dell'introduzione nel forno, proteggendo la parte posteriore che ospiterà i contatti posteriori. La giunzione può essere fatta anche con un acceleratore ionico. Si tratta di una macchina che accelera particelle proiettando ioni sul wafer.

### D. Plasma - etching

Per consentire il massimo della impermeabilità elettrica fra le due facce della cella è necessario un'altro processo di pulizia. Le celle vengono impilate, in modo stretto una sull'altra, lasciando a vista i bordi laterali, le facce alle due estremità e vengono inserite in una macchina a radiofrequenza che garantisce l'eliminazione di uno strato di 0,5 mm di silicio mediante il processo chiamato Plasma - etching.

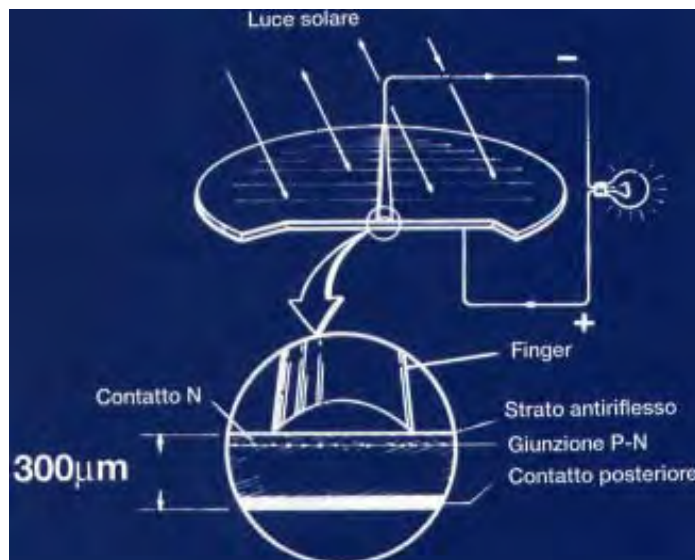
### E. Il processo di metallizzazione

Il processo di metallizzazione consiste nel formare i contatti che convogliano l'energia elettrica dalla cella verso l'esterno. In questa fase vengono depositi a distanza prestabilita i fili metallici sulle due superfici della cella. Il sistema più diffuso è quello della serigrafia. I contatti superiori vengono generalmente realizzati in argento o palladio, mentre quelli inferiori, più larghi poiché non ombreggiano la cella sono di solito costituiti con una lega in alluminio-argento e una piccola quantità di vetro (per garantire l'adesione alla cella). Esiste anche un'altro procedimento più costoso che è il *Laser Grooved Buried Grid* creazione del reticolo di contatti mediante incisione laser. I solchi realizzati dal laser hanno larghezza compresa tra 30 e 50  $\mu\text{m}$ . Poi i solchi vengono diffusi con fosforo e

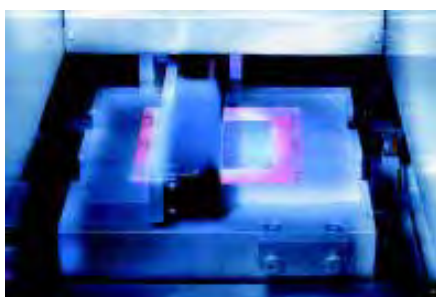
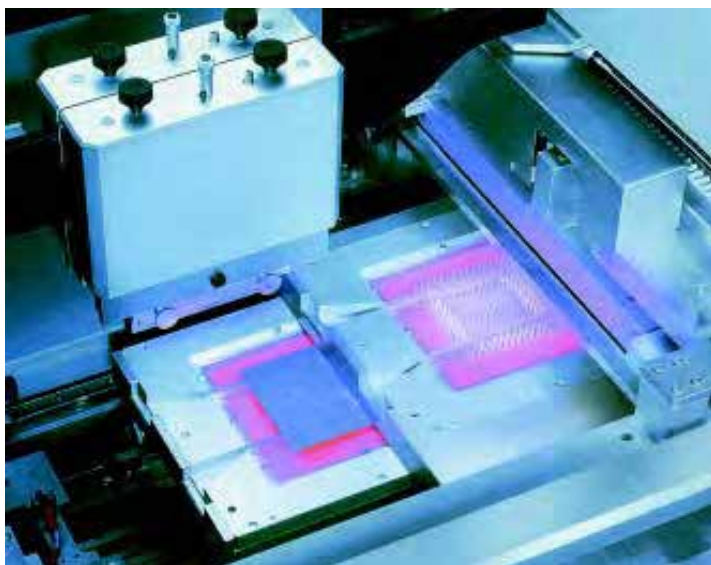


Immagine tratta da FV n. 2/2012, articolo R. Fusetto

Sistema APCVD



Schema di una sezione di una cella tradizionale



*Metallizzazione delle  
celle  
sistema EKRA M8*

*Trattamento antiriflesso*



riempiti con una lega di rame, argento e nickel. Un processo che consente di raggiungere una efficienza elevata della cella tra lo 0,7 e 1% rispetto alle celle ottenute con metodi tradizionali.

**F. Lo strato antiriflesso.** L'applicazione dello strato antiriflettente può avvenire prima o dopo la deposizione dei contatti metallici. Il silicio è un materiale altamente riflettente pertanto è necessario depositare uno strato di 0,1  $\mu\text{m}$  di ossido di titanio oppure pentossido di tantalio, solfito di zinco o nitruro di silicio. I processi di posa sono diversi, dal sistema di evaporazione sotto vuoto o a pressione atmosferica (APCVD, Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition), a quello di polverizzazione ionica (sputtering). Dopo l'applicazione di uno strato antiriflesso il potere riflettente del silicio si riduce fino al 9%. Per usi spaziali le celle subiscono trattamenti antiriflesso per cui si riesce ad eliminare quasi totalmente il potere riflettente della superficie della cella.

#### **2.3.4. Celle ad elevato rendimento**

La produzione delle celle fotovoltaiche è in continuo sviluppo, BP Solar, Sanyo e SunPower hanno realizzato celle ad elevata efficienza in modo da rendere competitivi i propri prodotti cercando di ottenere la massima potenza energetica occupando una superficie minore.

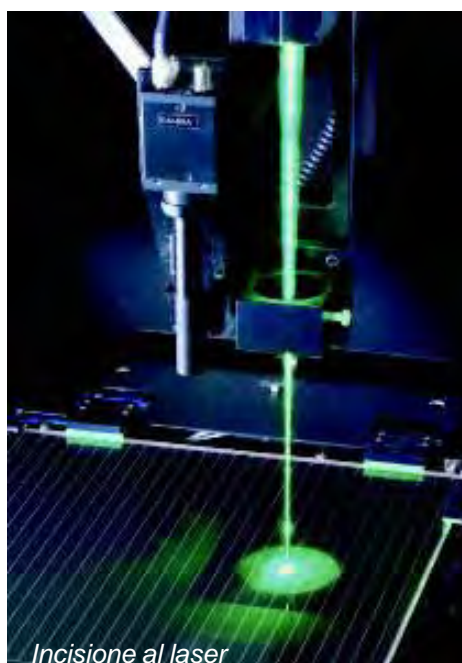
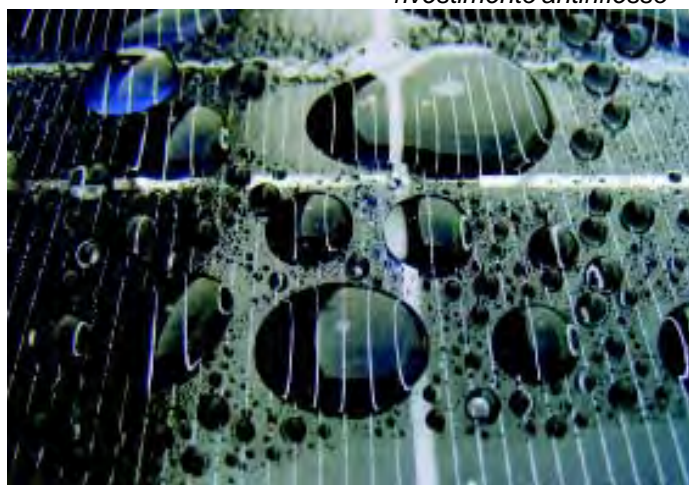
Richard Swanson, professore della Stanford University, nel 1988 entrò a far parte dei tecnici della SunPower e mise in produzione le nuove celle fotovoltaiche. La superficie esterna è una lastra con una superficie piramidale, i contatti sono al di sotto di essa e non vengono mai interrotti. Le superfici piramidali sono ottenute chimicamente. Lo strato n (wafer) viene drogato con boro sul lato posteriore, così il wafer assume una configurazione zebra, le strisce p negative sono drogate con fosforo. Poi entrambe le strisce n- e p- sono drogate alternativamente. Il secondo passo è quello della pulizia chimica della cella, sul retro della cella viene creato uno strato di silicio  $\text{SiO}_2$  che non con-



duce che ha due funzioni: ridurre la ricombinazione di elettroni e di buchi sul retro della cella nella parte superiore ed inoltre riflettere i fotoni nella cella. Lo strato è prodotto in un forno in cui l'ossigeno reagisce sulla parte posteriore del wafer di  $\text{SiO}_2$ . A questo punto vengono creati i contatti utilizzando una seconda maschera stampata con circa 100.000 fori minuscoli incisi nello strato di biossido di silicio al fine di creare una connessione con gli strati p- e n- drogati. I fori sono dapprima ricoperti da uno strato protettivo e poi con rame e connessi lungo le strisce drogate. Utilizzando una terza maschera stampata, dovrà essere assicurato che i contatti negativi e positivi in rame non vengano a contatto uno con l'altro. In un secondo bagno, un sottile strato di stagno viene applicato in modo tale che le celle possano saldarsi una con l'altra. Infine, le strisce con i contatti positivi sono connesse insieme su un lato e le strisce negative dall'altro.

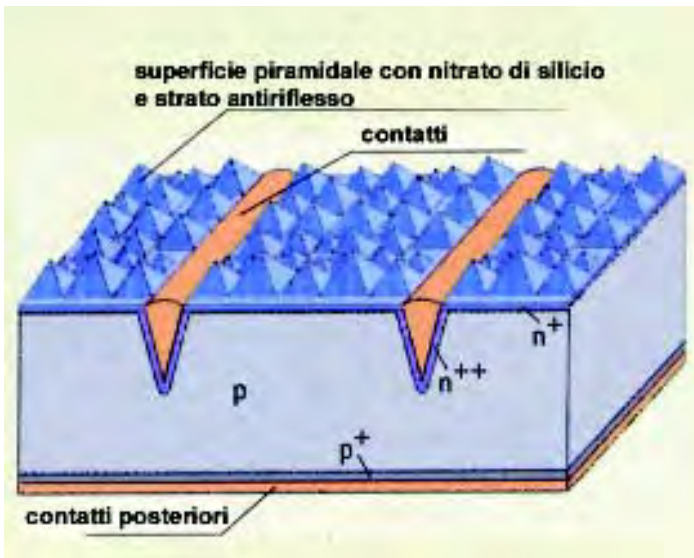
La tecnologia Saturn della BP Solar, nasce nel 1994 utilizzando silicio monocristallino. La produzione di questo tipo di celle è stata sviluppata da Martin Green all'Università New South Weles a Sydney in Australia alla fine degli anni 1980'. La peculiare caratteristica di questo tipo di celle sono le sottili linee di contatto, che non vengono stampate sulle celle, come nel caso delle celle convenzionali. Invece le linee di contatto sono otto volte più piccole ed incise sulla cella con il laser "Laser Grooved Buried Contact". In un primo momento le scanalature venivano scavate e drogate fortemente negative, in una fornace diffusiva, poi rifinite in un bagno chimico con nickel e infine con rame. Il sottile strato di nichel serve come finitura protettiva, poiché il rame è relativamente poco costoso ed è un buon conduttore di elettricità, e può penetrare facilmente nel silicio. Viene utilizzata questo tipo di scanalatura da 20  $\mu\text{m}$  di profondità poiché provoca meno ombreggiamento dei contatti elettrici tradizionali. Le celle Saturn riescono ad assorbire almeno il 5% in più di radiazione solare.

La superficie esterna delle celle Saturn è strutturata come tante piramidi in modo da aumentare l'assorbimento della luce. Insieme ad uno strato antiriflesso di nitrato di silicio, la

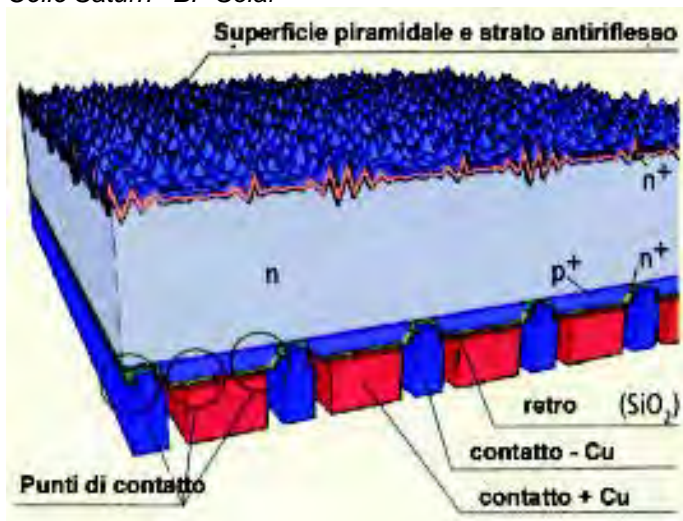


*Il layer antiriflesso consente di rendere la superficie delle celle impermeabile*

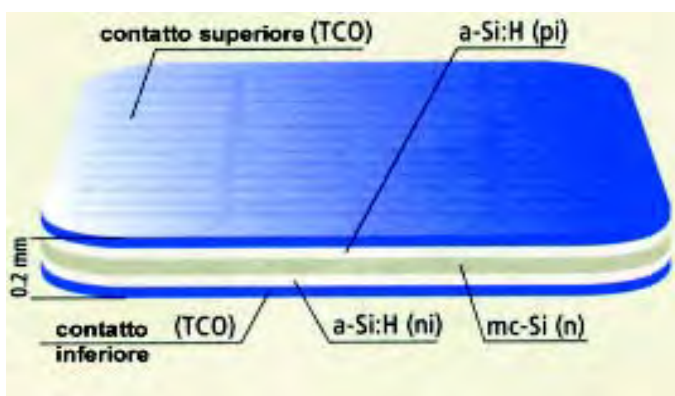




*Celle Saturn - BP Solar*



*Celle SunPower*



*Celle HIT Sanyo*

superficie piramidale decresce la quantità di luce riflessa del 3%. La parte retrostante delle celle è positiva e drogata utilizzando alluminio, ed è coperta da una combinazione di nickel e rame. Lo strato posteriore agisce come specchio per i fotoni che passando attraverso la cella assorbono più energia dallo spettro luminoso. Le celle hanno dimensione di 125 x125 mm con una efficienza del 18.3%.

Nel 1997, le industrie Giapponesi Sanyo realizzano le celle FV HIT solar.

HIT significa "Hetero junction with Intrinsic Thin-Layer". Queste celle sono formate da due strati sottili di a-Si e monocristallino all'interno, gli strati sono sottili formano uno spessore di 200µm, mentre le celle tradizionali hanno uno spessore di 300 µm. Il wafer n- è drogato, mentre gli altri strati a -Si non lo sono. Uno strato TCO, che conduce, provvede alla creazione di una griglia argentea di contatto su entrambe le superfici. Sulla superficie del silicio cristallino, è altamente probabile, che gli elettroni, eccitati dai fotoni, cadano nei fori, perché la tessitura dei cristalli è fortemente disturbata dalla assenza di atomi periferici. Per prevenire questa ricombinazione di carica, la superficie di silicio è ricoperta di nitrato. L'efficienza delle celle consente di ottenere moduli che raggiungono i 200 W con una efficienza del 19.5%, in laboratori questi moduli hanno raggiunto il 21% di efficienza.

### **2.3.5. Le celle fotovoltaiche semitrasparenti**

Esistono delle celle Fotovoltaiche semitrasparenti (da 0 a 30% di trasmissione luminosa) che raggiungono un'efficienza del 8% le caratteristiche elettriche sono fondamentalmente equivalenti a quelle delle tradizionali celle solari al silicio cristallino il materiale di base è il silicio multicristallino le dimensioni della cella solare sono 10 cm x 10 cm, la forma è quadrata di colore standard, blu scuro. La produzione della cella solare è basata su un processo di produzione modificato per le celle solari di silicio. Attraverso l'aggiunta di un ulteriore livello di processo meccanico, si creano dei pic-

coli buchi (il diametro dei buchi è di 0,1 mm) nel materiale di silicio, che rendono le celle parzialmente trasparenti. Questa trasparenza permette nuovi campi di applicazione per il fotovoltaico, per esempio nel settore delle facciate.



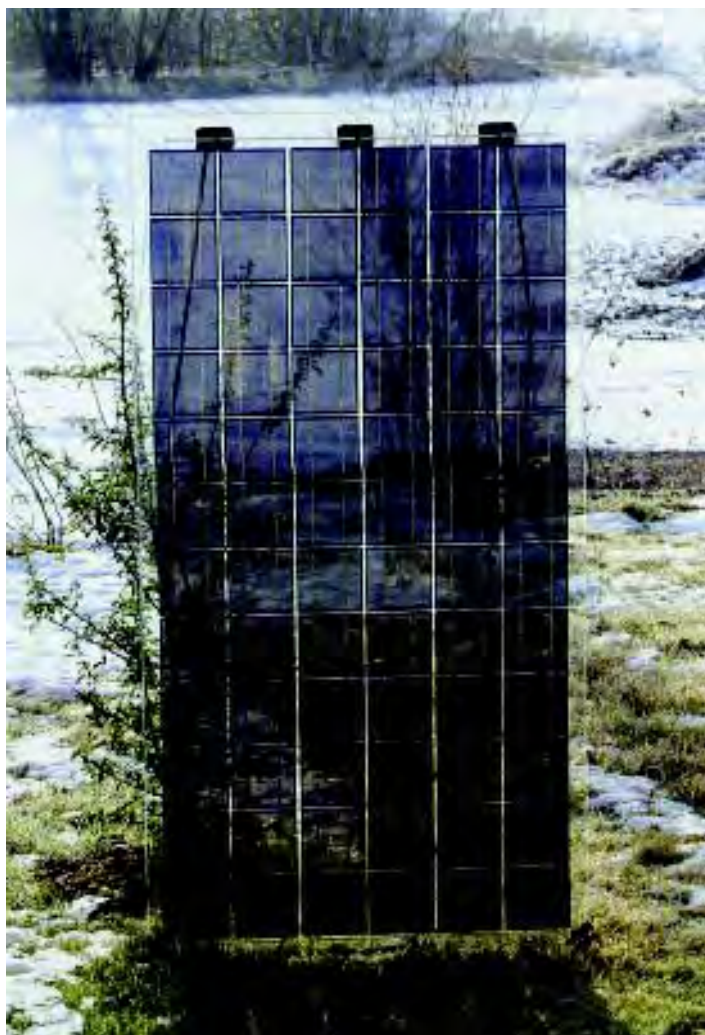
Immagine tratta da FV n.2/2002 articolo R.Busetto

Andamento piramidale della superficie delle celle FV

### 2.3.6.Celle colorate

La UFLEX distribuisce in Italia i moduli fotovoltaici monocristallini che utilizzano le celle colorate prodotte dalla SOLARTEC. L'efficienza dei moduli realizzati con celle monocristalline colorate, benchè più bassa rispetto a celle non colorate, può raggiungere valori compresi tra il 12.2% nel caso di celle rosse ed il 14.3% nel caso di celle blu chiaro.

I colori disponibili sono: blu marina, rosso mattone, rosso magenta, verde, bronzo chiaro, grigio ed argento. Le celle colorate sono disponibili anche in silicio multicristallino con un effetto cromatico particolare e possono essere applicate dalla SOLARTEC anche su tegole tipo marsigliese. I nuovi moduli fotovoltaici colorati in silicio monocristallino di prima scelta permettono ai progettisti nuove interessanti integrazioni architettoniche del fotovoltaico come, ad esempio, la realizzazione di scritte o



Modulo vetro/vetro realizzato con celle semitrasparenti

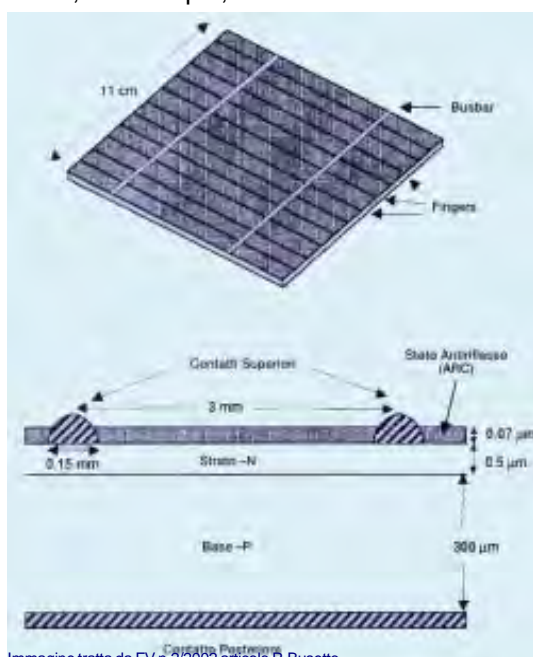
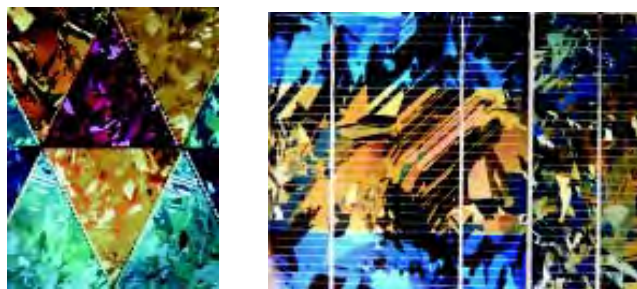
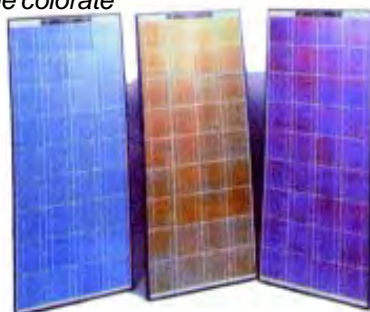


Immagine tratta da FV n.2/2002 articolo R.Busetto

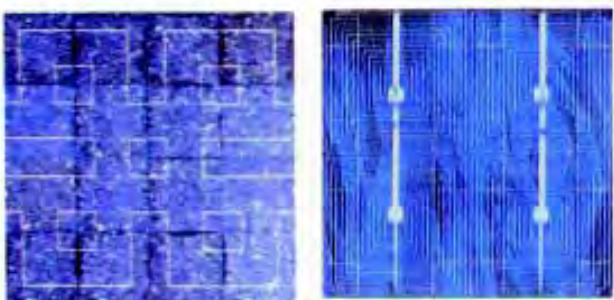
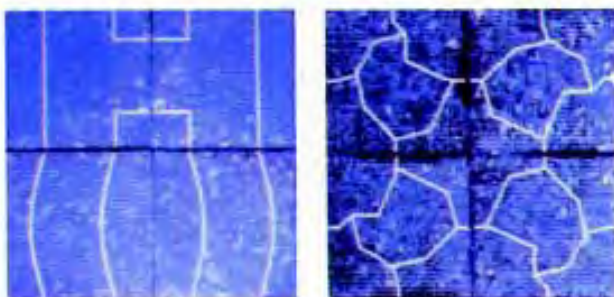




Celle colorate



Differenti soluzioni di connessioni elettriche



mosaici sulle facciate o sui tetti fotovoltaici dando così un'inedita immagine all'edificio.

Le applicazioni negli impianti di connessione in rete comportano l'installazione di alcuni kWp mentre le applicazioni dove non è disponibile la rete elettrica possono comprendere generatori fotovoltaici di pochi watt di picco: in entrambi i casi l'utilizzo di celle colorate costituiscono un elemento nuovo e moderno che valorizza ulteriormente il sistema fotovoltaico. Sono disponibili inoltre i moduli Radix/Econ 72 celle, prodotti dalla SOLARTEC, con efficienza che può arrivare al 15.6%, con potenze di picco di 108 Wp, 112 Wp e 116 Wp, realizzati con celle monocristalline nel colore standard blu scuro e certificati TUV.

### 2.3.7. Film sottili

Un altro tipo di cella fotovoltaica è quella a film sottile.

Una cella fotovoltaica a film sottile usa uno strato molto sottile di materiale semiconduttore (massimo qualche micron). L'efficienza è più bassa ma la quantità di materiale semiconduttore utilizzata è 100 volte inferiore. La tecnologia a film sottile consente di realizzare, nella maggior parte dei casi, moduli fotovoltaici di grande area monolitici, con minori costi di allestimento, e maggiore affidabilità (solo due giunzioni saldate contro le decine di un modulo cristallino). I costi energetici di produzione sono nettamente inferiori.

A differenza della tecnologia cristallina, le celle fotovoltaiche a film sottile sono composte da strati di materiale semiconduttore (non sempre è presente il silicio) depositati generalmente come miscela di gas su supporti a basso costo come vetro, polimero o alluminio che danno consistenza fisica alla miscela.

La deposizione di un gas consente l'immediato beneficio nell'utilizzo di minore materiale attivo. Lo spessore si riduce dai 300 micron della cella cristallina, a 4-5 micron di quella a film sottile. Inoltre, il processo produttivo dei film sottili consente una riduzione delle fasi di lavorazione che, oltretutto a differenza del cristallino, possono essere automatizzate.

Per capire il grado di sviluppo, i vantaggi e le



peculiarità dei film sottili è importante esaminarli individualmente. Ogni film sottile possiede un potenziale per raggiungere prestazioni sull'affidabilità e raggiungere obiettivi di costo/prezzo che il mercato richiede. Fra le varie tipologie di celle fotovoltaiche a film sottile, qui di seguito saranno presi in esame alcuni tipi a vari stadi di sviluppo industriale, ma che risultano in prospettiva molto promettenti.

✓ Film sottile con silicio amorfo

Il silicio amorfo è stato il primo e l'unico film antagonista del cristallino, la tecnologia amorfa è quella che ha realizzato ad oggi i maggiori progressi.

A differenza della tecnologia cristallina nella quale il materiale semiconduttore si presenta solido in forma di wafer con spessore di qualche centinaio di micron, in questo caso la materia attiva può essere ottenuta in forma di gas con il vantaggio di poter essere depositata in strati spessi pochi micron e su di una grande varietà di superfici di appoggio: l'utilizzo contenuto rispetto al cristallino è quindi in linea con la limitata disponibilità di materiale attivo ottenuto come scarto dell'industria elettronica. Si possono così ottenere film di spessore totale pari a 1-2 millimetri, anche flessibili (per esempio, silicio depositato su una lastra di 0,5 millimetri di alluminio e leggerissimi).

**2.3.8. I moduli**

La selezione dei moduli, le sue caratteristiche estetiche in termini di geometria, dimensione, colore, sistema di montaggio (con telaio o senza), influirà sull'intero aspetto dell'edificio e sul carattere architettonico dell'intervento. I moduli sono l'elemento più caratteristico e riconoscibile di un sistema FV. Sono generalmente molto visibili dall'esterno dell'edificio e dovranno essere generalmente posizionati in un luogo prominente in modo da evitare qualsiasi tipo di ombra che possa ridurre la loro efficienza.

La forma, il colore e la struttura delle celle e del vetro costituiscono i più importanti parametri estetici di un modulo FV. Il bilancio tra la quantità e la qualità del vetro e la quantità e tipo di celle utilizzate in un modulo fa parte del processo progettuale ed è rilevante sia per il modulo stesso sia per l'intero edificio. Queste



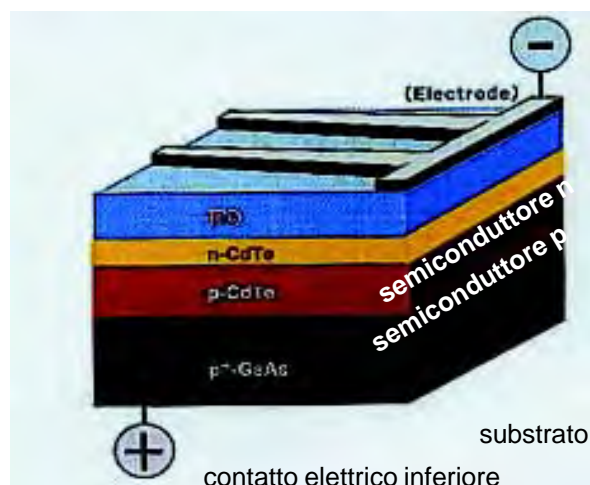
*Copertura in metallo laminato realizzata da Rannila, Uni-solar*



*Lamine flessibili Uni-Solar*



*Celle flessibili in amaro flessibile*



caratteristiche possono essere adoperate come elementi decorativi ma anche funzionali. Infatti, tra una cella e l'altra possono essere lasciati spazi liberi, che permettendo il passaggio della luce naturale e possono contribuire significativamente ad arricchire la qualità architettonica dello spazio interno.

Molto differenti sono quei casi in cui il modulo è un vero e proprio elemento costruttivo. In questo caso acquisisce una validità funzionale ed estetica considerevole, in particolare se si analizza l'interessante dialettica che si instaura tra il FV e i materiali da costruzione tradizionali.

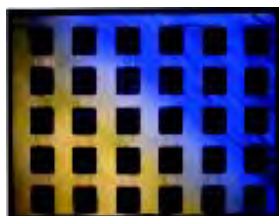
Le celle FV presentano il loro aspetto estetico più interessante sul lato esterno esposto alla radiazione solare. Infatti, variando la posizione delle celle si possono ottenere un'ampia gamma di colori ed effetti di brillantezza, riflessione e trasparenza. La qualità architettonica degli spazi interni ed esterni può essere notevole: come ad esempio nella biblioteca di Matarò in Spagna oppure nel Solar Office a Doxford in Inghilterra. I cavi, la scatola di giunzione e le batterie devono essere facilmente accessibili, dipendendo dal tipo di installazione e dal tipo di modulo. Questo dovrebbe essere tenuto in considerazione sin dalle prime fasi del progetto in modo di controllare l'intera configurazione spaziale.

A seconda dei loro processi di produzione, si distinguono i seguenti tipi di celle fotovoltaiche:

- **Celle monocristalline:** vengono prodotte tagliando una barra monocristallina. Il vantaggio principale è un elevato rendimento (fino al 16%). Questo tipo di celle è



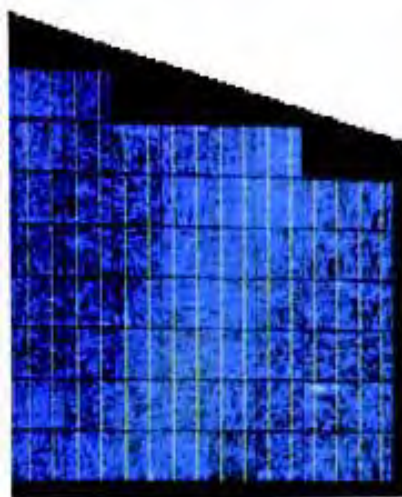
*modulo vetro/vetro triangolare con celle triangolari*



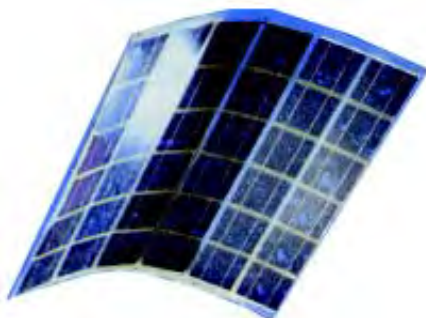
*moduli vetro/vetro su supporto colorato*



*moduli vetro/vetro a rombo con celle ottagonali*



*Alcuni esempi di moduli FV realizzati su supporti plastici trasparenti flessibili*



però molto costoso a causa del complicato processo di produzione. Le celle di tipo monocristallino sono caratterizzate usualmente da un'omogenea colorazione blu.

- **Celle poli(multi)-cristalline:** vengono colate in blocchi e poi tagliate a dischetti. Il rendimento è minore (10-12%), ma anche il prezzo. Questo tipo di celle è riconoscibile dal disegno ben distinguibile a causa dei vari cristalli contenuti.

- **Celle amorphe:** vengono prodotte mediante spruzzamento catodico di atomi di silicio su una piastra di vetro. Questo tipo di cella ha il rendimento minore (ca. 4-8%), ma si adatta anche al caso di irradiazione diffusa (cielo coperto, ecc.). Le celle così prodotte sono riconoscibili da un caratteristico colore scuro omogeneo, inoltre sono realizzabili in qualsiasi forma geometrica; forme circolari, ottagonali, irregolari, e persino convesse.

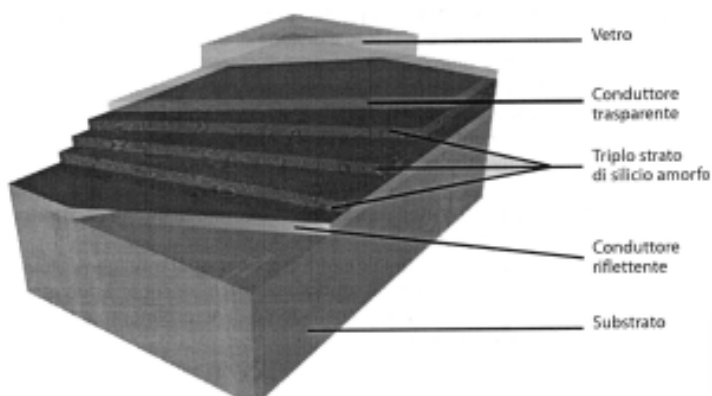
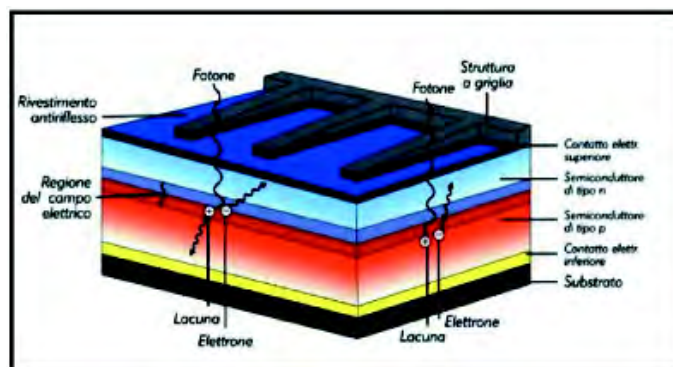
La connessione elettrica di 36 celle assemblate fra uno strato superiore di vetro ed uno strato inferiore di materiale plastico (Tedlar), normalmente disposte su quattro file parallele costituisce il modulo fotovoltaico.

Il modulo fotovoltaico ha una dimensione di circa un metro quadro e produce circa 120 Watt di potenza.

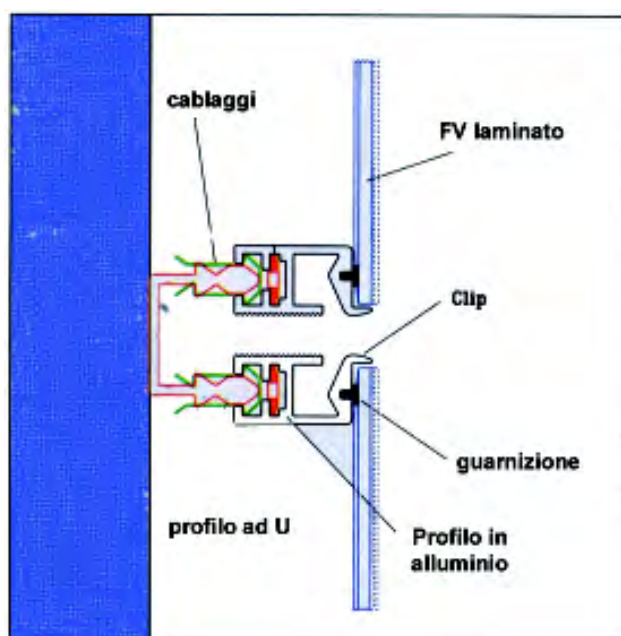
Un metro quadrato di moduli, in una tipica zona dell'Italia Meridionale, produce una energia media giornaliera pari a 0,2 - 0,3 kW/h nel periodo invernale e a 0,5 - 0,6 kW/h in quello estivo. Il modulo fotovoltaico è una struttura robusta in grado di garantire molti anni di funzionamento. (25 anni)

Tutti i laminati per essere installati nelle finestre o vetrate o in strutture frangisole devono essere conformi ai principali regolamenti locali relativi alla installazione.

Il laminato vetro-vetro *heat strengthened or toughened panes* deve essere progettato e installato in condizioni di sicurezza. Effetti di speciali verniciatura e finitura, laminazione degli strati e delle celle FV, resine o films devono essere testati con accortezza per dimostrarne le prestazioni prima della messa in opera. Nel caso dell'uso di resine o films, le condizioni climatiche (e geografiche) sono molto impor-

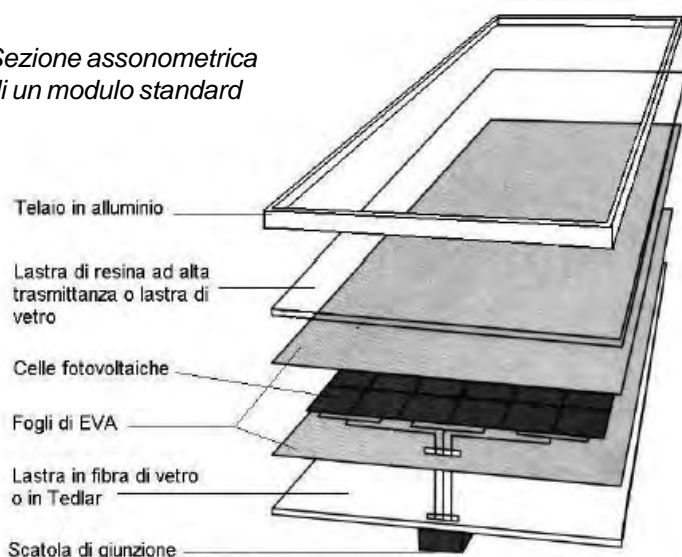


Esempio di una soluzione in vetro/vetro FV





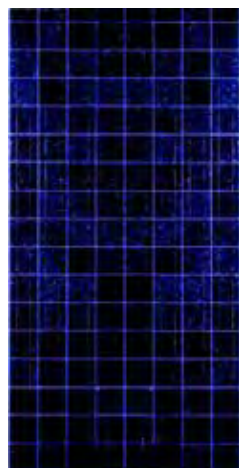
*Sezione assometrica di un modulo standard*



tanti e nella valutazione devono essere prese in considerazione. Allo stesso modo si deve tener conto delle escursioni termiche che si verificano in un intervallo di tempo (generalmente corrispondente alla durata della garanzia del vetro).

Il laminato generalmente è costituito da un sistema vetro-vetro (6+6 mm) con elementi di vetro stratificato e temperato rispondenti alle verifiche tecniche e prestazionali condotte in base alle principali condizioni del sito: caratteristiche atmosferiche, termiche, meccaniche. Il tipo di vetro utilizzato deve risultare conforme alle caratteristiche richieste dell'impianto fotovoltaico, in termini di coefficiente di trasmissione della radiazione solare e di riflessione. Tutti gli elementi vetrati usati nella parte esterna del laminato, più esposta alla radiazione solare diretta, è preferibile scegliere il tipo basso contenuto di ferro.

Il layout delle celle (numero di celle orizzontali e verticali) varia a seconda del produttore delle celle fotovoltaiche. La spaziatura orizzontale e verticale tra le celle deve essere uniforme. Lungo i quattro lati del laminato, deve essere lasciato un bordo senza celle, per uno spessore almeno di 21 mm, in modo tale da permettere il montaggio nel sistema intelaiato. Questa area è riferita a quella dell'area di aggancio.



*modulo con celle in policristallino*



*Facciata continua integrata con FV (Schüco)*

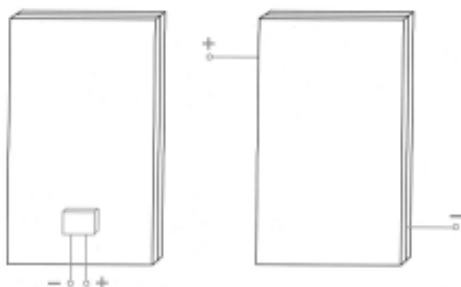
### **2.3.9. Celle organiche**

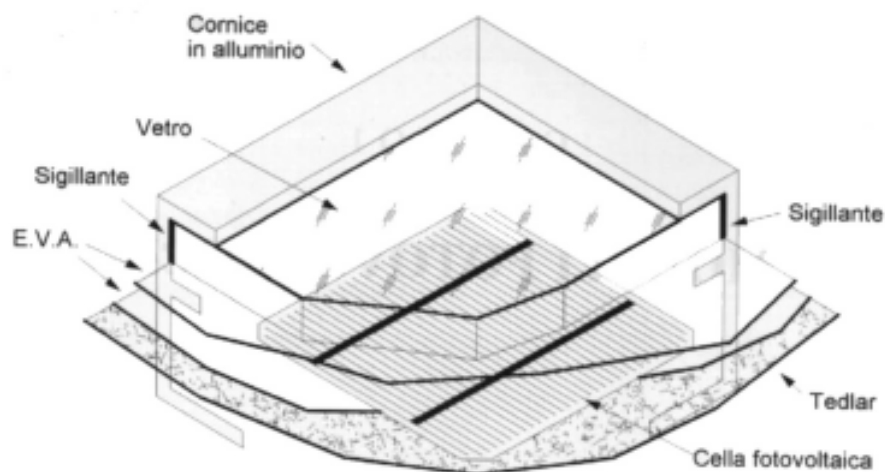
R&S: Dye Solar Cell

Il principio di questa tecnica è stato individuato nel 1990 dal chimico svizzero Michael Graetzel, che, ispirandosi alla fotosintesi per convertire la luce in corrente elettrica, ha pensato di porre sulla superficie di un semiconduttore uno strato di molecole organiche trattate in modo da metterle in grado di assorbire la luce.

Conosciuta come Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), riproduce il sistema usato dalle piante per convertire la luce del sole in energia. La cella DSSC usa un pigmento organico (un fotosensibilizzatore) per assorbire la luce e creare una coppia elettrone-lacuna, uno strato di ossido metallico nanoporoso ad elevata area superficiale come conduttore di elettroni ed un elettrolita liquido come conduttore delle lacune.

*collegamenti elettrici*

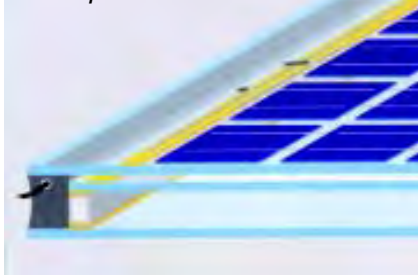




Particolare modulo vetro/vetro



Modulo in doppio vetro con intercapedine d'aria



#### R&S Celle organiche, polimeriche

Attualmente buona parte delle ricerche di nuove soluzioni per la produzione di pannelli fotovoltaici è rivolta alle Celle FV organiche, polimeriche, plastiche, ottenute con le tecnologie dei nanocomposti e nanomateriali, l'obiettivo è quello di ottenere un prodotto economico, resistente, affidabile e producibile in scala industriale, caratteristica comune tra le diverse soluzioni prospettate è la qualità delle celle di essere flessibili e adatte ad essere conformate nelle forme e nelle applicazioni più diverse, dalle grandi aree all'alimentazione dei cellulari.

Il progetto della Konarka Technologies, prevede l'utilizzo di un sigillante per contenere il materiale elettrolitico liquido in un film sottile, per la produzione si utilizza un processo simile a quello industriale per la pellicola fotografica, ottenendo anche in questo caso dei rotoli di materiale fotovoltaico, in questo progetto collabora Arno Penzias, Premio Nobel per la fisica e vi partecipa anche la Siemens. Attualmente l'efficienza delle loro celle è bassa, circa 5% ma il prezzo di vendita dovrà essere compreso tra 1 e 0,5 €/Wp. [www.konarka.com](http://www.konarka.com)

La Nanosolar sta sviluppando una cella composta da un substrato flessibile e a basso costo, su questo substrato viene applicata una vernice semiconduttrice organica (in questo caso senza la necessità dell'elettrolita liquido) con un processo simile al processo di stampa, le celle FV si presentano sottoforma di rotoli di mate-



Celle organiche

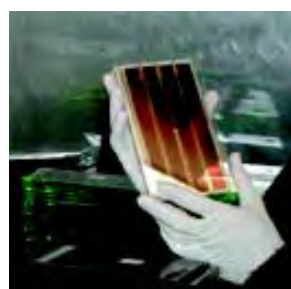


Cella della Nanosolar

riale laminato. L'efficienza è del 10% e il tempo di rimborso energetico di 3 mesi, obiettivo dichiarato è un prezzo inferiore a 1€/Wp. [www.nanosolar.com](http://www.nanosolar.com)

La società Global Photonic sta sviluppando un modulo basato sulle nanostrutture di carbonio, anche in questo caso il prodotto sarebbe flessibile e leggero, con costi particolarmente bassi, colorazioni variabili all'esigenza e anche soluzioni semitrasparenti per vetrate. Un'altra linea simile è sviluppata anche dalla Società Nanosys, specializzata nella ricerca dei nanomateriali [www.nanosysinc.com](http://www.nanosysinc.com)

Il progetto più avanzato sembra essere quello della società australiana Dyesol, ha già avviato contratti per la realizzazione di unità produttive dei moduli in Grecia e Turchia, in questo progetto il materiale organico è integrato con biossido di titanio. [www.dyesol.com](http://www.dyesol.com)



Cella della Dyesol

La STMicroelectronics, società italo-francese, leader nella produzione di semiconduttori, ritiene sia possibile produrre sistemi fotovoltaici con semiconduttori organico-polimerici ad un costo di 200 € al kWp: 20 volte meno dei sistemi attuali al silicio, l'efficienza dovrebbe essere del 5-10% e quindi per avere 1 kWp di picco servono dai 20 ai 10 mq di superficie fotovoltaica.

Il progetto più recente è sviluppato al MIT, in collaborazione con altri centri di ricerca, prevede l'utilizzo di cloroplasti e proteine fotosintetiche per la produzione di una cella FV ad alta efficienza (teorica 70%, prove attuali 12%) e a basso costo (kWh inferiore a 0,1€). Il primo esperimento è del maggio 2004, la messa a punto di una cella commerciale è prevista a medio termine (10-20 anni). [www.web.mit.edu](http://www.web.mit.edu), [www.sciencenews.org](http://www.sciencenews.org), [www.newscientist.com](http://www.newscientist.com)



Mirtilli

In Italia la ricerca sulle Dye solar cell è sviluppata dall'Università di Tor Vergata, utilizzando un pigmento, le antocianine, simile a quello che caratterizza il colore dei frutti di bosco. L'iniziativa è supportata da un fondo della Regione Lazio. [www.freenergy.uniroma2.it](http://www.freenergy.uniroma2.it)

Informazioni raccolte sulle celle organiche dal sito web:  
[http://www.energoclub.it/doceboCms/page/76/Celle\\_FV\\_organiche.html](http://www.energoclub.it/doceboCms/page/76/Celle_FV_organiche.html)



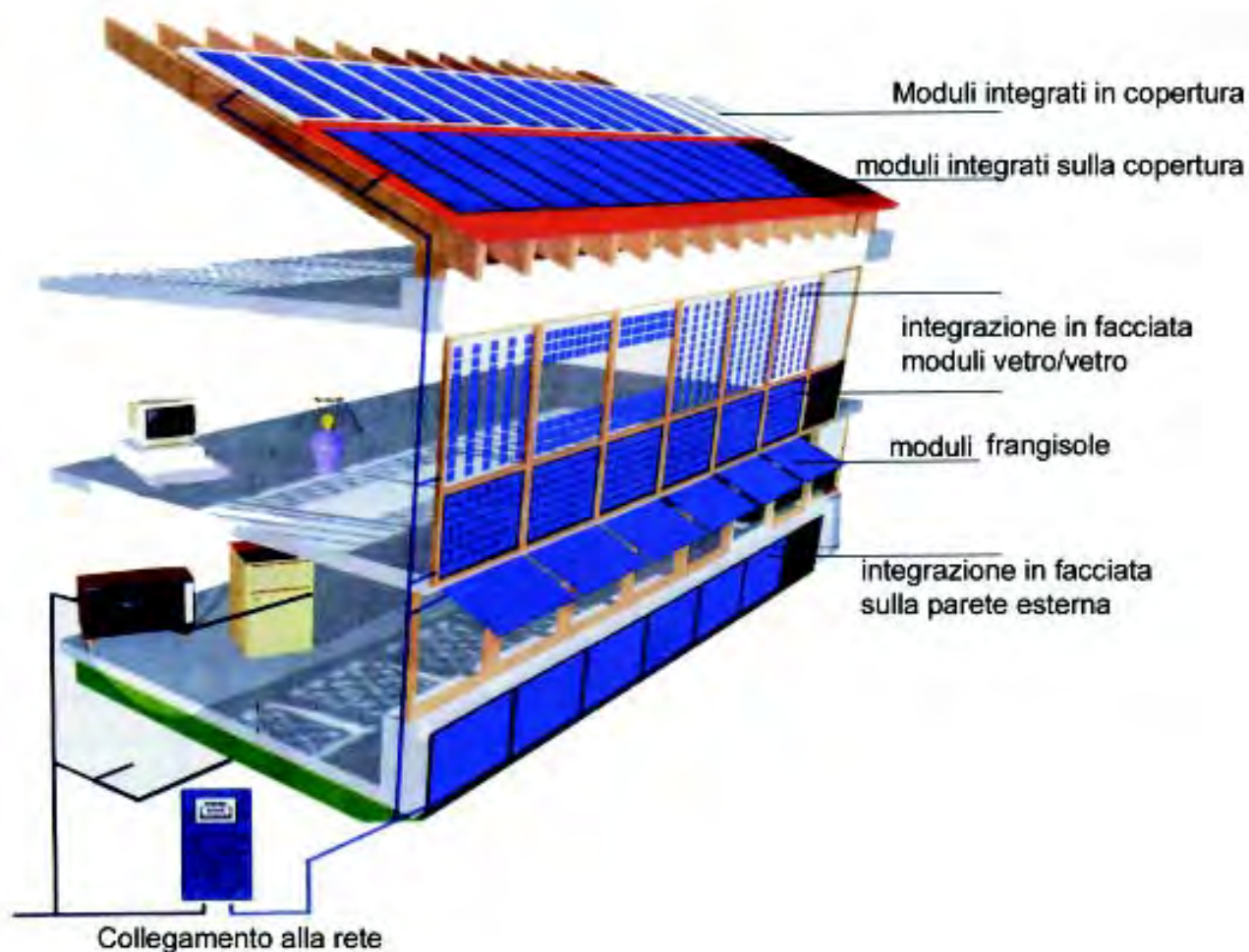
Modulo con celle organiche



## Tipologie di integrazione

**Lucia Ceccherini Nelli**

*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 offrono notevoli soluzioni con un'alta valenza architettonica, grazie anche alla loro versatilità e modularità.*



Grafica: Flabeg Solar International, Germania

### 3.1. Integrazione architettonica del fotovoltaico per la valorizzazione energetica delle aree urbane



Amersfoort, Olanda.  
1,3 MW



Tetti solari in un villaggio in Israele

L'integrazione fotovoltaica negli edifici permette di produrre energia elettrica 'pulita' nei centri urbani senza destinare parte del territorio alle centrali elettriche. La capacità degli impianti può essere accresciuta in futuro, con il miglioramento dell'efficienza delle celle fotovoltaiche.

In tutta Europa si stima un rilevante potenziale per l'integrazione del fotovoltaico negli edifici, se nei paesi meridionali il potenziale è rappresentato dalla forte presenza di radiazione solare, nei paesi del Nord la maggiore superficie edificata disponibile da esporre al sole compensa il minor livello di radiazione solare.

La valutazione del potenziale del fattore solare diventa lo strumento di pianificazione che può essere usato in accordo con le strategie per uno sviluppo e pianificazione sostenibile. Tre, sono gli aspetti fondamentali da valutare: la disponibilità di radiazione solare, l'efficienza degli impianti e la superficie degli edifici a disposizione per una efficiente integrazione fotovoltaica.

La tecnologia fotovoltaica offre un enorme potenziale compositivo per i progettisti, tuttavia, per arrivare ad ottenere ottimi risultati, è necessario che l'integrazione dei sistemi FV avvenga sin dalle prime fasi del processo progettuale e non a progettazione conclusa, dal momento che utilizzare il fotovoltaico influirà non solo sull'orientamento, sulla forma e sul layout dell'edificio, ma anche sul suo bilancio energetico.

Quindi si rende necessario un approccio progettuale "integrato", dove tutti i tecnici del gruppo di progettazione (architetti, ingegneri, designer, ecc.) devono dialogare in modo congiunto, non meno importanza va data agli aspetti sociali, economici, ambientali, energetici ed ecologici.

Per esempio, un edificio non solo deve offrire spazi protetti dalla pioggia, regolare i flussi di calore e di luce, proteggere dai rumori, deve essere dotato di sistemi che rendano la manutenzione facile da effettuarsi ed esteticamente e architettonicamente soddisfacenti, oltre ad offrire spazi confortevoli, minimizzare i consumi energetici e limitare il più possibile l'impatto ambientale.

Nella progettazione di un edificio dotato di un generatore fotovoltaico integrato si utilizza generalmente un sistema di facciata o di copertura che dovrà rispondere a specifiche esigenze;

- di tipo estetico, uso cromatico dei colori, integrazione dimensionale e di forma
- di tipo luminoso, sistemi di schermatura e controllo del passaggio della luce naturale.

E' necessaria una ottima conoscenza della tecnologia per essere un buon progettista di sistemi fotovoltaici, qualità progettuale nella scelta e disposizione dei moduli FV, della relativa struttura di supporto, montaggio e ottimizzazione dell'impianto.

Le prime valutazioni da effettuarsi per poter realizzare una corretta progettazione di un progetto FV integrato in un edificio, sono relative alla presenza o meno di ostruzioni fisiche che possano ostacolare la radiazione solare, il fattore di irraggiamento solare e il tipo di superficie utilizzabile e il suo possibile orientamento. I moduli fotovoltaici saranno impiegati come materiale da costruzione e dovranno

rispondere sia alle esigenze estetiche, funzionali e di qualità.

Il fotovoltaico offre i seguenti vantaggi

- ♦ possibilità di fornire in situ tutta o parte dell'energia elettrica necessaria all'edificio;
  - ♦ ridurre l'impatto sull'ambiente;
  - ♦ costruire un edificio innovativo dal punto di vista architettonico e ingegneristico;
  - ♦ utilizzare l'impianto dell'edificio come esempio dimostrativo e progetto per la formazione;
  - ♦ la sostituzione del materiale da costruzione con un prodotto fotovoltaico consente di dedurre il valore del primo dal costo totale dell'impianto FV;
  - ♦ negli uffici e negli edifici commerciali, il consumo della maggior parte dell'energia richiesta avviene durante il giorno, quando questa è più costosa, pertanto il Fv consente di abbattere i costi di picco;
  - ♦ nel caso di tipologie di integrazione legate anche a soluzioni bioclimatiche, come gli elementi di ombreggiamento e le facciate ventilate, un componente costruttivo FV può anche incidere direttamente sulla riduzione dei costi di gestione di riscaldamento e sul raffrescamento artificiale;
- ed è conveniente se:
- ♦ l'edificio ha una buona esposizione al sole e la quantità di radiazione solare incidente è elevata;
  - ♦ se la maggior parte o tutta l'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico è consumata dallo stesso edificio;
  - ♦ il risultato estetico risulterà di notevole valenza architettonica.

Il componente fotovoltaico può apportare interessanti valenze architettoniche da aggiungere a quelle energetiche, creando un nuovo linguaggio architettonico di riferimento per l'integrazione della tecnologia fotovoltaica negli elementi che appartengono alle nostre città, come gli edifici, le infrastrutture e l'arredo urbano.

### 3.2. Integrazione architettonica fotovoltaica – Criteri di progettazione

#### 3.2.1. Ubicazione dell'impianto fotovoltaico

Durante l'intero percorso progettuale si dovrà tener conto di tutti gli aspetti tecnici ed estetici del sistema FV per poter arrivare ad ottenere un soddisfacente risultato nell'integrazione.

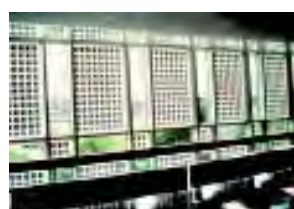
##### *Caratteristiche del sito*

Le caratteristiche del sito sono determinate dal:

- clima (radiazione, nuvolosità media, precipitazioni, umidità, velocità e frequenza dei venti)
- microclima (presenza o meno di polvere, vegetazione, ostruzioni artificiali, ecc.),
- latitudine
- condizioni sismiche

Come è già stato indicato, per ottenere la massima efficienza dei moduli FV, essi devono orientarsi a sud, non ricevere delle ombre ed essere inclinati con un angolo equivalente alla latitudine locale meno circa 10°.

Le facciate degli edifici, invece, sono generalmente verticali, quelle orientate ad est ed ovest funzionano hanno un rendimento buono per angoli sui 90°, con una efficien-



Soluzioni di integrazione architettonica



za pari a 60% rispetto a quella ottimale a sud.

**Localizzazione**

Le caratteristiche del sito influiranno sul progetto e determineranno dove e come integrare un sistema FV nell'edificio.

La superficie abitabile di un edificio è spesso un parametro che non può essere in alcun modo variato. In alcuni casi, avere una facciata inclinata può ridurre la superficie abitabile di non poco. Nei centri urbani è molto importante che l'impianto FV non sia mai ombreggiato da altri edifici, poiché ciò determinerebbe una notevole diminuzione dell'efficienza del sistema.

Negli edifici multipiano è molto frequente che gli impianti fotovoltaici siano posizionati ai piani più alti, per evitare fenomeni di ombreggiamento. Una soluzione progettuale possibile per non fare notare la differenza cromatica della facciata, è quella di creare una facciata fotovoltaica formata da moduli attivi e non attivi in modo da non diversificare l'uso dei materiali utilizzati ed ottenere una omogeneità dei materiali impiegati.

**3.2.2. Tecnologie solari passive integrate con sistemi fotovoltaici**

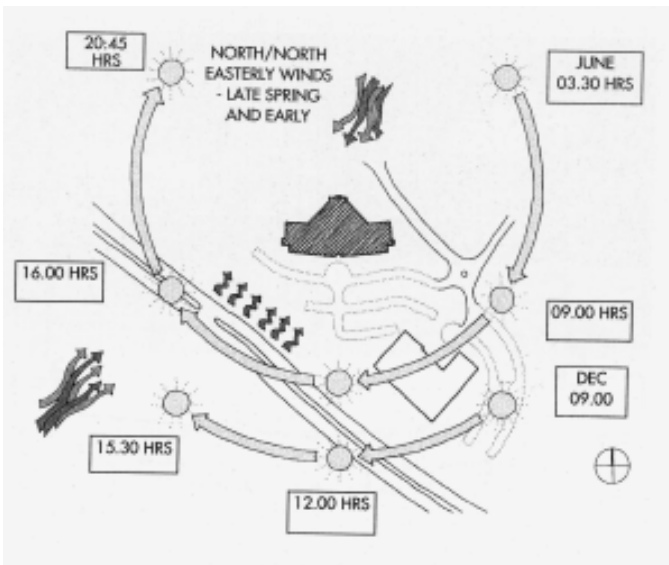
La tecnologia fotovoltaica è in continuo sviluppo in quanto è possibile produrre energia elettrica direttamente dalla radiazione solare, ed i vantaggi di tale tecnologia stanno diventando sempre più evidenti al ridurre dei costi di realizzazione degli impianti.

Le celle fotovoltaiche sono un materiale avanzato, col quale è possibile realizzare una varietà di forme considerevole, porzioni di coperture, facciate di edifici, schermature ecc..

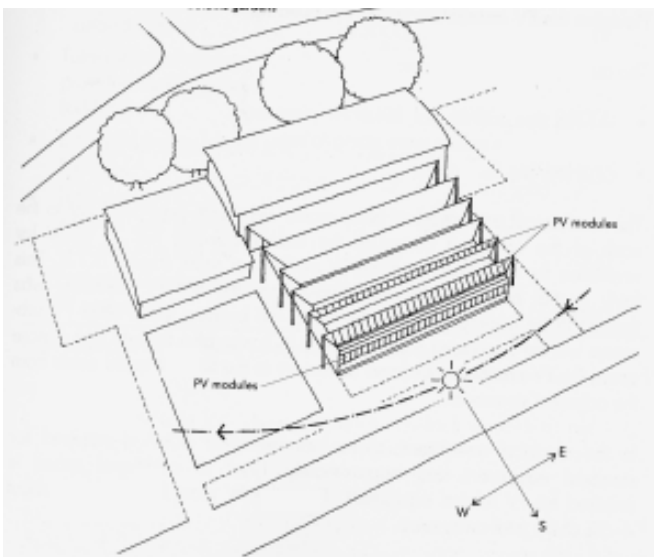
Nei sistemi connessi alla rete, i sistemi fotovoltaici operano in parallelo con la rete di distribuzione elettrica, cosicché una eventuale maggiore domanda di energia, se non assorbita dall'impianto fotovoltaico è immessa nella rete di distribuzione elettrica.

I sistemi fotovoltaici connessi alla rete hanno i seguenti vantaggi:

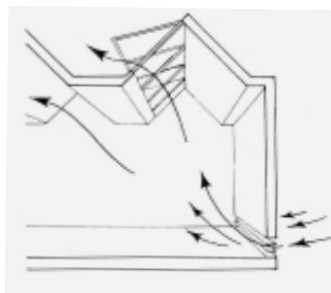
- il costo dell'impianto fotovoltaico integrato alle pareti verticali o nella copertura può sostituire il costo di un eventuale muratura o



Studio per l'orientamento ottimale del Solar Office a Doxford



Studio per l'orientamento ottimale del Botanic Garden a Cambridge



Sistemi solari passivi e ventilazione naturale

copertura tradizionale

- l'energia viene generata sul posto dove viene consumata
- i sistemi fotovoltaici connessi alla rete non hanno bisogno di supportati da batterie
- non sono necessarie aree aggiuntive per il posizionamento dell'impianto

La tecnologia fotovoltaica deve essere considerata come parte integrante dell'edificio e come tale è migliore il suo funzionamento se associata ad una corretta progettazione passiva dell'edificio.

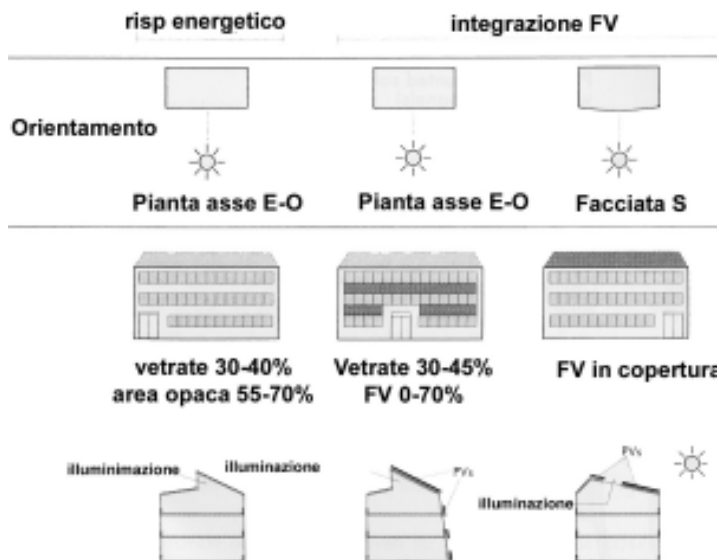
### 3.2.3. Le tipologie architettoniche fotovoltaiche principali

Attualmente in Italia, l'energia prodotta da un sistema fotovoltaico risulta essere costosa, l'intervento di integrazione fotovoltaica acquisisce valore se si calcola la differenza del costo risparmiato sulle superfici coperte con materiali integrati con sistemi fotovoltaici ed il costo dei materiali edilizi che comunque avremmo utilizzato per realizzare l'edificio.

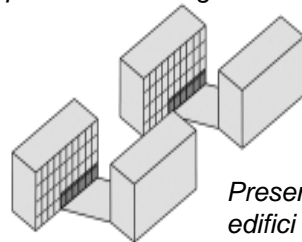
Un cospicuo numero di edifici, dagli uffici agli alberghi agli edifici industriali, possono utilizzare i sistemi FV integrati. La tipologia per uffici, a causa della significativa domanda di energia che copre l'orario dalle 9 alle 18, è sicuramente la tipologia che maggiormente sfruttrebbe la produzione di elettricità fornita dall'impianto fotovoltaico.

Significative sono anche le applicazioni fotovoltaiche applicate agli edifici industriali, commerciali e scolastici.

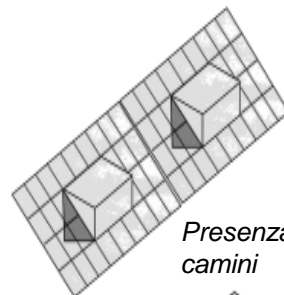
*Adeguata distanza tra i frangisole in modo da evitare l'ombra tra i moduli FV*



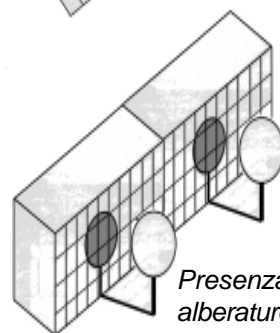
*Rendimenti energetici ottenibili secondo le diverse possibilità di integrazione*



*Presenza di edifici vicini*



*Presenza di abbaini e camini*



*Presenza di alberature*

*Possibili cause di ombreggiamento dei moduli FV*





Prima di iniziare la progettazione di un sistema fotovoltaico da integrare in un edificio, è molto importante analizzare ogni possibile soluzione di applicazione determinare l'impatto sull'intero bilancio energetico e l'efficienza energetica dell'intero sistema. E' possibile ottenere ottimi risultati di integrazione sia in edifici di nuova costruzione che nelle ristrutturazioni.

Si possono avere diversi tipi di soluzioni di integrazione:

- .. sulle facciate;
- .. sui tetti piani e inclinati;
- .. come elementi di protezione e controllo solare.

Le tecnologie che consentono una buona integrazione dei sistemi fotovoltaici devono consentire i seguenti requisiti:

- Estetica
- Tenuta agli agenti atmosferici
- Tenuta al vento
- Durata dei materiali utilizzati
- Sicurezza (costruttiva, al fuoco, elettrica, ecc...)
- Costi e valutazione del tempo di ritorno dell'investimento.

L'estetica è uno dei motivi principali per il quale sarebbe opportuno integrare gli impianti fotovoltaici, numerosi sono gli esempi di integrazione in cui la cromaticità dei moduli e l'effetto di schermatura delle celle alternate a vetro trasparente, consente di ottenere suggestivi ambienti di notevole valenza architettonica.

La qualità dei moduli dovrà garantire la tenuta all'acqua ed agli agenti atmosferici ed una notevole durata nel tempo, per garantire il funzionamento dell'impianto e diminuire il tempo di ritorno dell'investimento e creare un edificio economicamente vantaggioso.

Oltre a ciò per ottimizzare l'efficienza di un impianto è necessario verificare i seguenti aspetti:

- l'ombreggiamento dei pannelli fotovoltaici;
- produzione di calore e ventilazione dei moduli;
- accedere facilmente al cablaggio dell'impianto;
- prevedere una adeguata manutenzione.

In particolare per quanto concerne il surriscaldamento dei moduli e la ventilazione sono da considerare anche i seguenti tre aspetti:

1. L'effetto potenziale di raggiungere elevate temperature
2. La necessità di ventilare le stringhe dei moduli in modo da migliorare l'efficienza
3. Possibilità di recuperare il calore prodotto dai moduli fotovoltaici.

La durata dei materiali, i movimenti termici, il ciclo della temperatura, la sostenibilità dei cablaggi ad elevate temperature sono aspetti progettuali che devono essere studiati accuratamente quando si progetta un impianto fotovoltaico integrato architettonicamente.

Il calore prodotto dai moduli fotovoltaici dovrà essere recuperato con una buona progettazione passiva, poichè la riduzione del calore prodotto dalle celle potrà consentire una ottimizzazione nel rendimento dell'impianto. Alcune sperimentazioni sui sistemi ibridi ad aria, stanno mettendo a punto tecnologie per lo sfruttamento



*Integrazioni FV in coperture a falda inclinata*

fotovoltaico e termico, oppure sistemi ad acqua, consentono di riscaldare serpentine d'acqua poste nei moduli e poi essere utilizzati come pannelli solari per la produzione di acqua calda.

Normalmente il calore prodotto dalle celle FV viene dissipato attraverso la ventilazione naturale, in condizioni di elevato irraggiamento dei moduli, in cui le celle da  $700-750 \text{ W/m}^2$  raggiungono la temperatura da  $40^\circ$  a  $70^\circ$ , dovrà essere effettuata una ventilazione maggiore dei moduli fotovoltaici, creando dispositivi adatti a questa necessità e inserendoli nel contesto architettonico. La temperatura dei moduli dovrebbe essere tenuta sempre bassa in modo da ottimizzare l'efficienza del sistema fotovoltaico, ciò è possibile regolando la ventilazione attraverso bocchette di areazione oppure con altri sistemi di ventilazione integrati nell'edificio.

Il calore dei moduli fotovoltaici può essere utilizzato nelle stagioni fredde per riscaldare l'edificio, mentre nei periodi caldi dell'anno è necessario dissipare all'esterno il calore e ventilare i moduli.

Per riutilizzare il calore prodotto dai moduli fotovoltaici per riscaldare l'edificio, possono essere impiegati diversi sistemi, condotti di areazione oppure per trasmissione diretta sull'involucro edilizio e reimmesso nel sistema di riscaldamento sia di tipo passivo che attivo.

### **3.3. Tecnologie di integrazione**

#### ***Sistemi integrati con le coperture***

L'integrazione in copertura potrà essere economicamente vantaggiosa se si tratta di nuova edificazione, in caso di ristrutturazioni l'integrazione sarà più onerosa a meno che non vengano sostituite parti dell'edificio con altre integrate in modo che possano essere compensati i costi manutentivi con i costi delle nuove strutture integrate.

Le coperture sono caratterizzate dai seguenti elementi:

- generalmente sono prive di sistemi di schermatura;
- la pendenza della copertura spesso non condiziona l'installazione di impianti fotovoltaici;
- esteticamente e funzionalmente semplice da integrare.

Questo sistema può essere alternato con parti trasparenti e parti opache e semitrasparenti fotovoltaiche.

Possibili svantaggi:

- problemi di ombreggiamento (dovuti a falde di tetto con diverse pendenze, presenza di comignoli o alberature non facilmente rimovibili);
- difficoltà nella scelta dei moduli da utilizzare per incoerenze cromatiche;

#### ***Coperture ventilate***

Le coperture sono assai più facili da ventilare rispetto alle facciate ed il surriscaldamento delle celle provoca una minore trasmissione di calore interna sulla copertura rispetto ai sistemi di facciata, in particolare se è dotata di un sottotetto non praticabile. Per le coperture inclinate, sovrattutto, è necessario un sistema di appoggio per montare i moduli fotovoltaici sul tetto, generalmente vengono montati

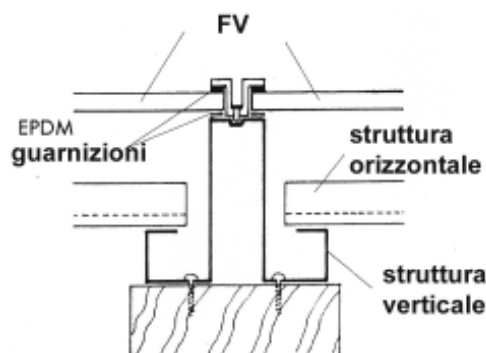
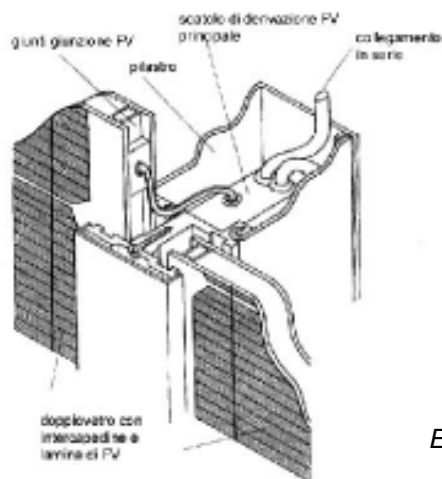
dei binari sulla copertura esistente alla quale vengono avvitati i moduli fotovoltaici. In questa soluzione si crea una camera d'aria di circa 10 cm tra i moduli e la struttura di copertura. Nelle soluzioni complanari alla copertura, si tende generalmente a creare una soluzione di microventilazione dal colmo e dalla gronda. La ventilazione dei moduli è necessaria, come già detto in precedenza al fine di poter ottimizzare il rendimento di quest'ultimi.

### **Sistemi di Facciata vetrate continue**

Le facciate si prestano notevolmente per l'uso di moduli fotovoltaici vetro-vetro. Le superfici trasparenti sono generalmente con doppio vetro e camera d'aria e le parti opache sono realizzate con vetri opachi o pannelli isolanti. I moduli fotovoltaici sono preassemblati in fabbrica nelle unità con doppio vetro. Il vetro esterno con fotovoltaico è di tipo temperato, intercapedine d'aria e vetro interno; lo spessore generale è di circa di 300 mm. Nei montanti dei moduli vengono fatti passare i cablaggi dell'impianto fotovoltaico. Questo tipo di sistema è previsto sia per facciate vetrate verticali che inclinate ed inclinate di tipo seghettato.

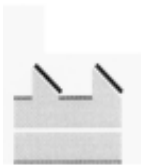
### **Schermature fisse FV**

Le schermature fotovoltaiche potranno essere di tipo trasparente od opaco, normalmente consistono di un pannello in alluminio, oppure vetro/vetro, aggettante in facciata e posizionato su supporti metallici per consentire il passaggio dell'acqua e la ventilazione dei moduli fotovoltaici. La distanza, tra i moduli deve consentire un buon ombreggiamento della facciata o della copertura e al contempo dovrà essere calcolata l'inclinazione dei moduli in funzione di un buon rendimento dell'impianto senza trascurare il calcolo della distanza tra gli elementi per evitare fenomeni di ombreggiamento tra le celle. Nei montanti saranno posizionali i cablaggi dell'impianto fotovoltaico. Come elementi di schermatura possono essere utilizzati moduli opachi oppure vetro-vetro con celle distanziate, per consentire il graduale passaggio di luce.

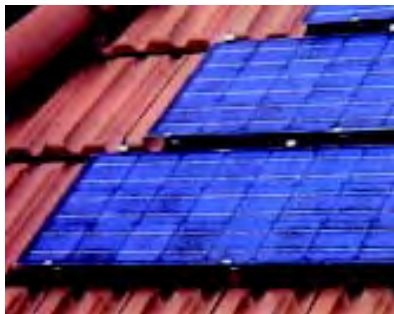


*Esempi di facciata vetrata FV ventilata*





Residenza a Gello, Pisa



Integrazione con moduli standard



### 3.4. Coperture inclinate e piane sovratetto

Nelle applicazioni di sistemi fotovoltaici posti sulle coperture piane, gli impianti devono essere progettati considerando i carichi accidentali come quello della neve, dell'acqua o del vento. In particolare in climi freddi con frequente presenza di neve, le coperture integrate con fotovoltaico dovranno avere una pendenza tale da evitare l'accumulo della neve e minimizzare le perdite di rendimento degli impianti, i moduli fotovoltaici in commercio sono di tipo autopulente, ciò favorirà lo scivolamento della neve dall'impianto.

Nelle applicazioni di coperture trasparenti oppure lucernari o shed, rivolti a sud, l'uso di moduli fotovoltaici, vetro-vetro, semitrasparenti, consentirà di migliorare l'ingresso dell'illuminazione naturale, ottenendo una graduale schermatura e il passaggio della radiazione solare migliorando il comfort interno degli ambienti.

Le soluzioni che adottano shed fotovoltaici con aperture a nord, consentono di avere una buona ventilazione naturale ed in particolare il raffrescamento dei moduli, ottimizzandone il rendimento.

Nelle ristrutturazioni, capita spesso di poter inserire impianti fotovoltaici su coperture piane, in questi casi l'integrazione architettonica dei moduli è più difficile, si tratterà semplicemente di inclinare e orientare nel miglior modo possibile il sistema fotovoltaico appoggiandolo su strutture di sostegno studiate in base al tipo di applicazione utilizzata.

Il mercato del fotovoltaico, sta introducendo ogni anno, molti prodotti nuovi, come tegole fotovoltaiche che si adattano a qualsiasi tipo di copertura inclinata. La tegola fotovoltaica consente al progettista di effettuare, una ottima integrazione e semplice dal punto di vista tecnico.

E' una delle soluzioni più utilizzate quando l'impianto viene installato su una copertura esistente, questa tipologia è caratterizzata da una struttura di supporto dei moduli visibile. Ci sono attualmente molte ditte che stanno producendo sistemi nuovi per l'ancorag-

gio dei moduli fotovoltaici su tutti i tipi di coperture. Il telaio è ancorato direttamente, tramite staffature, alle strutture portanti del tetto, senza forare il manto di copertura per evitare possibili infiltrazioni di acqua e perdite di isolamento termico, gli appoggi sono di tipo longitudinale in modo da distribuire il peso dei moduli sulla copertura.

Le soluzioni su coperture piane sono anch'esse diffuse per la facilità di montaggio dell'impianto, la libertà di inclinazione e orientamento dei moduli dalla struttura dell'edificio. Generalmente vengono utilizzati telai metallici di sostegno con contrappesi posti alla base; in questo caso il valore estetico dell'intervento è abbastanza scarso. Molto diffusi sono anche i sostegni prefabbricati per sistemi fotovoltaici formati da blocchi in calcestruzzo alleggerito sui quali vengono posizionati direttamente i moduli. Tali sistemi possono essere liberamente posizionati e orientati sulle coperture piane senza alcun fissaggio e senza danni al manto di copertura. E' possibile utilizzare anche ancoraggi meccanici alle strutture dell'edificio o di fisher chimici. Per questo tipo di soluzione, il costo dell'intervento non può essere detratto dai costi costruttivi totali, pertanto non sempre risulterà il sistema di integrazione più economico da utilizzare. Per le installazioni in edifici esistenti dovrà essere effettuata una attenta analisi delle ostruzioni, presenza di parapetti,



Esempi di impianti FV sovratetto



Sistema sovratetto con giunti BP solar



Foto: L. Ceccherini Nelli





Alcune soluzioni di coperture integrate



antenne o altre installazioni in grado di ombreggiare il campo fotovoltaico.

Sulle coperture piane possono essere anche utilizzati moduli in film sottile su supporto in gomma o metallo, facilmente posizionabili con comodi rotoli o lastre, anche il sistema di connessione è molto semplice da realizzare anche in tempi assai brevi.

### *Impianto fotovoltaico complanare alla copertura*

La soluzione della copertura fotovoltaica complanare è quella che maggiormente integra l'impianto fotovoltaico alla copertura, essa sarà realizzata con moduli fotovoltaici che andranno a formare il tetto vero e proprio, i moduli per coperture sono a forma rettangolare oppure hanno la forma di vere e proprie tegole. In questo caso i moduli avranno le stesse caratteristiche e requisiti di qualità di una copertura tradizionale.

Questa soluzione, può raggiungere un alto livello di integrazione architettonica ed è consigliabile anche dal punto di vista economico, poichè in questo caso il costo dell'impianto sarà determinato dal cablaggio, inverter e dal fotovoltaico e non dalla struttura che lo sostiene; al costo generale dell'opera ed alla valutazione del tempo di ritorno dell'investimento, dovrà essere comunque sottratto quello della fornitura e messa in opera delle tegole o altra copertura corrispondente alla superficie occupata dall'impianto fotovoltaico, pertanto in questo caso per l'impianto fotovoltaico complanare potrà essere considerato un costo inferiore rispetto a quello sovratetto. Questa soluzione, ha come limitazione, che non consente di sce-





gliere liberamente l'inclinazione e orientamento dei moduli, essendo questi direttamente dipendenti dalla configurazione delle coperture dell'edificio.

Per le coperture piane lucernario, l'inserimento complanare dei moduli è costituito dalla sostituzione totale della copertura piana con un telaio sul quale vengono posizionati direttamente i moduli fotovoltaici. Questa tipologia di integrazione prevede l'utilizzo di moduli "doppio vetro" semitrasparenti, a volte alternati a lastre trasparenti; ciò permette alla luce naturale di penetrare parzialmente negli ambienti interni con conseguenti benefici legati al comfort ambientale.

Ci sono poi altri tipi di soluzioni che utilizzano moduli flessibili lineari in film sottile ed anch'essi vengono realizzati con struttura propria sostituendo il manto di copertura oppure su supporto in metallo.

L'integrazione è possibile anche in tutte quelle soluzioni di elementi per areazione piani o inclinati che consentono l'areazione, poste in copertura di garage, supermercati ecc., realizzati per i ricambi d'aria e la ventilazione interna. E' importante calcolare la giusta altezza delle aperture, progettare la forma e l'eventuale movimentazione per evitare che creino ombra sui moduli fotovoltaici. I materiali con cui sono realizzati sono diversi: ad esempio metacrilati, policarbonati, vetroresina, sandwich di alluminio, poliuretano e vetro di tipo opaco o semitrasparente.



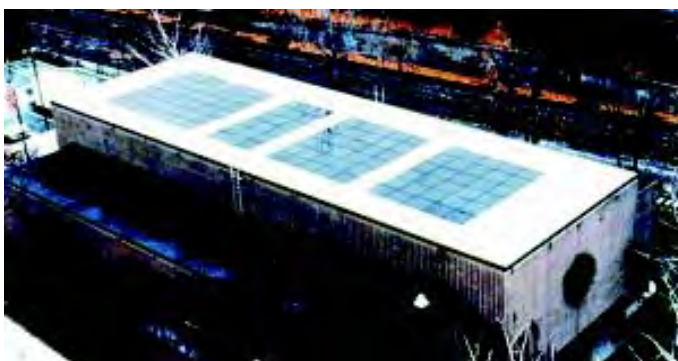
*Film sottile di tipo flessibile*

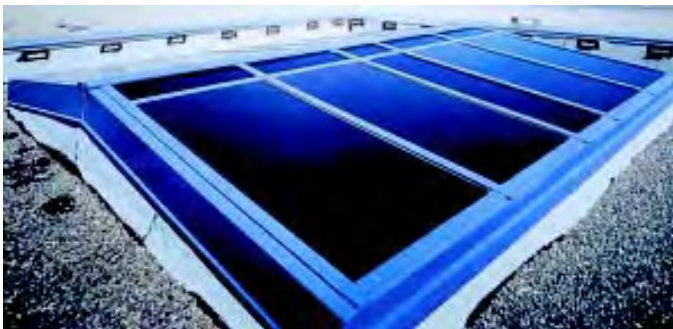


*Integrazioni in copertura con moduli vetro/vetro*



*Fabbrica Toyota in California, Powerlight System*





Moduli vetro/vetro traslucidi con celle distanziate



Moduli FV in policristallino doppio vetro

### Padiglioni

I padiglioni sono generalmente grandi coperture trasparenti od opache destinate a proteggere atri, zone esterne di collegamento tra più edifici, aree pedonali, gallerie e giardini d'inverno. Tali elementi sono spesso realizzati con strutture in vetro e alluminio, appositamente progettate per avere interessanti valenze estetico-architettoniche.

### 3.4.1. Lucernari

Per lucernari si intendono quelle strutture trasparenti o semi-trasparenti che permettono l'illuminazione naturale dall'alto. Essi generalmente si trovano sulle coperture piane e sono sporgenti dal volume del fabbricato, ma possono essere previsti anche su falde di tetto o su coperture curve. Possono inoltre essere isolati o disposti a filari paralleli, nei grandi edifici con destinazioni ad uso pubblico.

L'aspetto interessante di questa tipologia è che il lucernario è un componente architettonico le cui caratteristiche possono essere standardizzabili ed è quindi compatibile con procedimenti di produzione seriale. Ciò consente di realizzare prodotti fotovoltaici che nascono per essere impiegati nelle costruzioni edili, e pertanto raggiungono ottimi livelli di qualità integrativa.

Esistono lucernari dalle forme e dimensioni più diverse, ma i più adatti per essere integrati al FV sono quelli con sezione a doppia falda. In questo caso la falda del lucernario esposta in prossimità del sud può essere realizzata con moduli FV a doppio vetro in modo da fornire, oltre alla produzione energetica, una protezione dai raggi solari. La falda a nord sarà invece costituita da lastre trasparenti e dotata, possibilmente, di un sistema per l'aspirazione dell'aria calda interna. Le tipologie per i lucernari sono generalmente integrate con soluzioni che fanno filtrare la luce, celle distanziate in vetro-vetro o vetro e tedlar trasparente oppure in film sottile semitrasparente. I moduli sono caratterizzati dall'essere completamente trasparenti nelle zone non occupate dalle celle di silicio.



Tale potenzialità trasforma i moduli in veri e propri elementi architettonici, cioè in componenti assolutamente integrati all'edificio. La struttura portante dei moduli fotovoltaici di questo tipo può essere formata da; travetti in acciaio, alluminio, legno o cemento armato, sostenendo i moduli FV direttamente o tramite una sottostruttura. I moduli si alternano alle lastre in vetro-camera oppure, se le condizioni climatiche lo richiedono, le sostituiscono completamente costituendo un'adeguata protezione termica, questa soluzione implementa le caratteristiche termiche dell'ambiente interno, i moduli vetro-vetro consentono una buona ombreggiatura interna. Per il miglioramento delle condizioni di comfort interno e il rendimento delle celle dovrà essere anche previsto un buon sistema di ventilazione sia naturale oppure di areazione forzata.

Infine il lucernario se è inclinato risulta raggiungere una buona produttività dei moduli fotovoltaici.



*Alcuni esempi di lucernari semitrasparenti in film sottile*

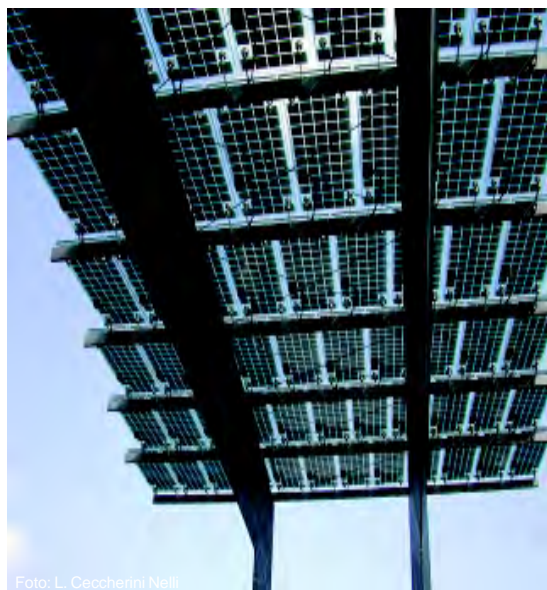
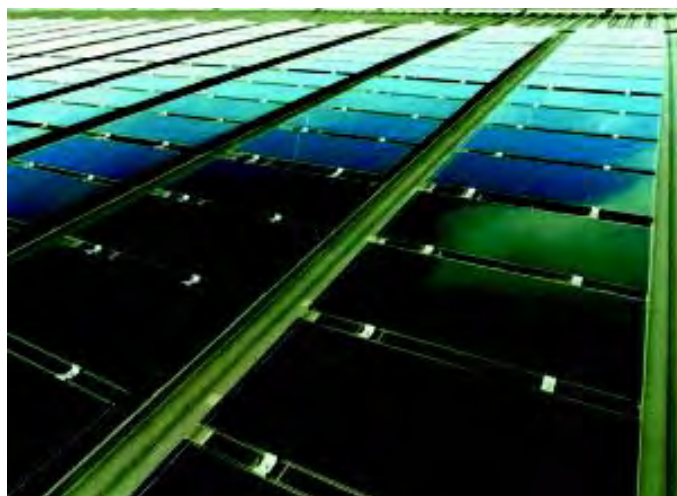


Foto: L. Ceccherini Nelli





### **3.5. Coperture a shed e curve**

#### **3.5.1. Shed e altre soluzioni di illuminazione dalla copertura**

Questa soluzione viene prevalentemente adottata per edifici industriali e edifici commerciali. Questo tipo di copertura è finalizzata a fornire un'illuminazione naturale dall'alto ed un buon livello di areazione. Gli shed sono generalmente realizzati con materiali e forme differenti, talvolta hanno un lato trasparente, mentre l'altro è realizzato con materiali opachi. In altri casi entrambi i lati sono trasparenti. Le aperture vengono utilizzate per controllare l'areazione dei locali e l'espulsione dell'aria calda che si accumula nelle parti più alte. Le coperture con seghettature e a shed è un tipo di supporto ideale per l'installazione di moduli FV, in particolare con un orientamento nord-sud degli shed sarà massimizzata l'acquisizione di irraggiamento solare e consentita una buona ventilazione con aperture poste a nord.

In questi casi le aperture sono generalmente dotate di dispositivi di apertura a distanza o controllate da dispositivi automatici per soddisfare alle esigenze di ventilazione naturale degli ambienti interni.

#### **3.5.2. Coperture curve**

Le coperture curve, ben si prestano ad essere integrata con la tecnologia FV anche con tipologie di moduli standard. La principale diffi-



*Copertura semitrasparente in vetro/vetro con celle tonde*



Foto: Cembri - IN

*Moduli standard in policristallino*

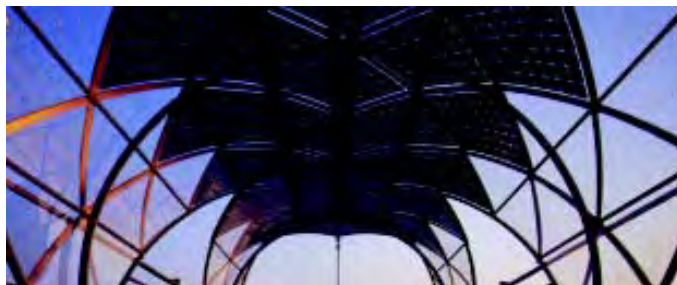


*Copertura curva con moduli standard in silicio amorfo*



coltà in questo tipo di integrazione è la differente inclinazione delle diverse zone dell'impianto. La curvatura determinerà la formazione di zone con differente posizionamento per cui le caratteristiche elettriche dovranno essere valutate in modo differente secondo l'inclinazione dei moduli. Tale particolarità consente di ottenere un'interessante flessibilità produttiva del generatore FV al variare dell'altezza del sole nelle diverse stagioni. Inoltre la copertura curva è solitamente rivestita da elementi di grandi dimensioni o da lastre metalliche che si prestano a suggerire soluzioni di elevata qualità integrativa ed estetica del FV. Nel caso in cui la struttura edilizia consenta l'utilizzo di una copertura semitrasparente, è necessario utilizzare moduli FV integrati a strutture a vetro-camera. Questi moduli sono gli stessi che potranno essere utilizzati per le facciate continue o per i lucernari e potranno essere di tipo trasparente oppure semitrasparente. Utilizzando moduli trasparenti o semitrasparenti gli ambienti interni saranno molto ben illuminati, insieme ad un'adeguata protezione termica dovuta al vetro-camera e all'effetto frangiluce delle celle di silicio.

La disposizione dei moduli deve seguire un'andamento orizzontale in modo da garantire un'irraggiamento uniforme su moduli di uguale orientamento e inclinazione.



*Copertura realizzata con moduli flessibili in fibre plastiche trasparenti*



*Copertura in monocristallino realizzata con moduli standard*



*Copertura curva realizzata con moduli vetro-vetro*





*Soluzioni FV per facciata di tipo opaco*

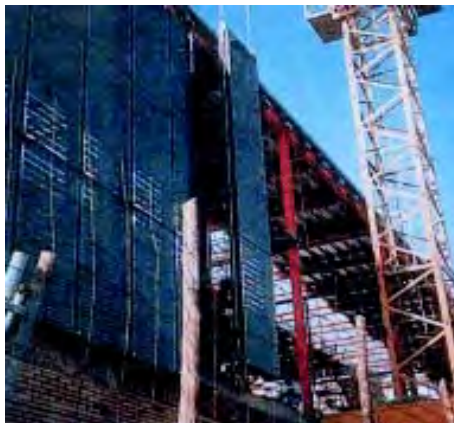


Foto: Lucia Ceccherini Nelli



Foto: Lucia Ceccherini Nelli

*Fase di montaggio dei moduli nella biblioteca di Matarò in Spagna*



**3.6. Sistemi integrati nelle facciate**

L'impiego della tecnologia FV nelle facciate degli edifici è attualmente una valida alternativa ai tradizionali sistemi di integrazione. Da un punto di vista tecnico ed economico la facciata offre una superficie adatta ad ospitare moduli FV, facilmente integrabili. La grande diffusione delle facciate continue nelle recenti tipologie edilizie costituisce un notevole potenziale per l'inserimento del FV, anche attraverso interventi di ristrutturazione. Per una eventuale sostituzione di moduli FV danneggiati o malfunzionanti si ricorre alle stesse procedure manutentive che si adottano generalmente per le altre superfici in vetro. Tecnicamente gli elementi FV hanno le stesse caratteristiche dimensionali e strutturali delle altre parti in vetro della facciata. Oltre a produrre energia elettrica, la facciata FV svolge la funzione di rivestimento dell'edificio. Gli elementi in vetro integrati con FV offrono protezione contro gli agenti atmosferici, isolamento termico, acustico e schermatura solare. Sono stati realizzati diversi progetti in cui il componente fotovoltaico è stato integrato come componente prefabbricato, formando un intero elemento di facciata. In particolare questo sistema è stato realizzato per la biblioteca di Matarò in Spagna, in cui la facciata è stata assemblata con elementi prefabbricati, ogni elemento è costituito da moduli fotovoltaici ibridi, solare e termico, infatti la facciata tramite una serie di bocchette consente di recuperare l'aria calda accumulata nel vetrocamera e recuperata per il riscaldamento nei mesi invernali, questo tipo di soluzione prefabbricata offre molti vantaggi, tra i quali: la notevole facilità e velocità di montaggio della facciata, ottimale collocazione del cablaggio, dei diodi di blocco ed inverter e notevole valenza di integrazione architettonica, poichè i moduli sono perfettamente inseriti nella struttura del componente vetrato.

Nel caso di interventi di retrofit è consigliabile integrare la facciata FV costruendo una doppia facciata, dove i moduli funzionano da facciata esterna non sigillata, mentre la superficie interna rappresenta la vera e propria superficie



di chiusura, in modo da evitare problemi di infiltrazioni di acqua.

E' possibile integrare i moduli FV su facciate che presentano parti inclinate, in questo modo si ottimizza l'orientamento dei moduli e al tempo stesso si ottengono superfici verticali ombreggiate.

La seghezzatura esterna, se ventilata, ottimizza l'efficienza dei moduli, le doppie facciate permettono di ottenere una buona ventilazione e al contempo si consente la dispersione del calore prodotto dal surriscaldamento dei moduli fotovoltaici.

Per motivi strutturali, funzionali o estetici, non è sempre possibile inserire in modo continuo moduli fotovoltaici su di una facciata. In questi casi il progetto di integrazione deve mirare a identificare le parti della facciata compatibili, per motivi architettonici ed elettrici, per l'inserimento del fotovoltaico. A tale scopo risultano particolarmente adatte le zone dei parapetti, quelle poste al di sopra di finestrate e tutte le altre superfici nelle quali è possibile installare elementi fotovoltaici opachi.

#### *Curtain wall FV inclinato o scalato*

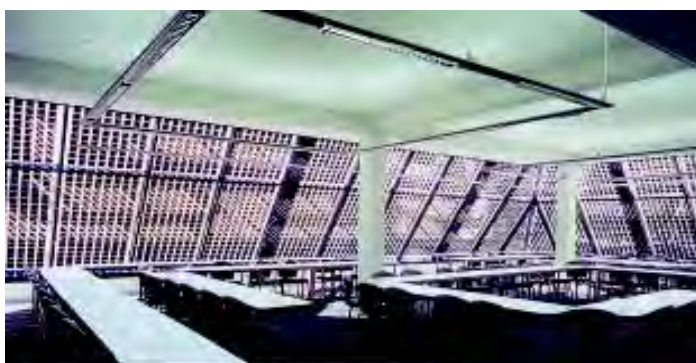
L'integrazione dei moduli FV sulle facciate inclinate è una delle soluzioni esteticamente più valide, in particolare se vengono utilizzati moduli vetro-vetro trasparenti o semitrasparenti. L'integrazione FV può occupare tutta la superficie della facciata oppure solo alcune parti ritenute idonee. La scelta di inte-





Foto: Schuco International

*Facciate FV continue, semitrasparente con celle distanziate*



grare moduli fotovoltaici nell'involucro inclinato consente un'ottimale produzione energetica e una conseguente maggiore produttività energetica. Le zone della facciata solitamente più compatibili all'integrazione sono, generalmente, le fasce poste al di sopra e al di sotto delle finestrate. Interessanti soluzioni di integrazione architettonica hanno utilizzato due tipi di moduli FV: trasparenti ed opachi.

Le facciate continue inclinate costituiscono una scelta progettuale sempre più diffusa specialmente negli edifici con destinazioni terziarie.

### 3.7. Sistemi di schermatura

I moduli fotovoltaici possono essere utilizzati come protezione solare oppure come frangisole per ombreggiare e diffondere la luce naturale negli ambienti interni. Nel caso dei frangisole è possibile utilizzare moduli standard

*Soluzioni con moduli FV doppio vetro*





oppure ci sono sul mercato elementi frangisole fotovoltaici, già assemblati di tipo mobile o fisso. Interessanti sono le soluzioni che adottano frangisole con inseriti moduli a film sottile semitrasparenti, progettati in modo da consentire il passaggio di una certa quantità di luce e al contempo una buona visione verso l'esterno. Altre soluzioni utilizzano moduli in vetro - vetro con celle distanziate in modo da graduare la luce e scegliere il tipo di schermatura ideale per l'ambiente che deve essere ombreggiato.

#### *Frangisole fissi fotovoltaici*

In alcuni casi i moduli fotovoltaici possono essere utilizzati direttamente come protezione solare. E' infatti sempre più diffusa la loro integrazione nei sistemi frangisole la cui struttura risulta indipendente dal fabbricato e generalmente può essere inserita senza problemi in nuove costruzioni o in edifici già esistenti. Oltre a produrre energia elettrica, questa tipologia offre un valore aggiunto, un beneficio direttamente legato ai criteri bioclimatici: l'ombreggiamento. Ciò consente un innalzamento del comfort interno ed una notevole riduzione dei costi di condizionamento dell'edificio. In questo tipo di intervento l'integrazione con il fotovoltaico è legata alle caratteristiche della struttura frangisole e difficilmente può essere trattata in termini tipologici. In genere il modulo fotovoltaico può essere integrato alla struttura con assemblaggi meccanici. Nel caso del frangisole fisso, la struttura mantiene un'inclinazione costante con conseguente limitazione nelle prestazioni di ombreggiatura e nella flessibilità di utilizzo. Risulta, rispetto alle soluzioni a inclinazione variabile, estremamente più economica, di semplice realizzazione e non necessita di una particolare manutenzione.

#### *Frangisole mobili fotovoltaici*

I moduli fotovoltaici utilizzati come elemento frangisole possono aumentare le loro prestazioni bioclimatiche ed elettriche se muniti di un sistema che ne regoli l'inclinazione. Tale soluzione, rispetto a quella dei frangisole fissi, offre

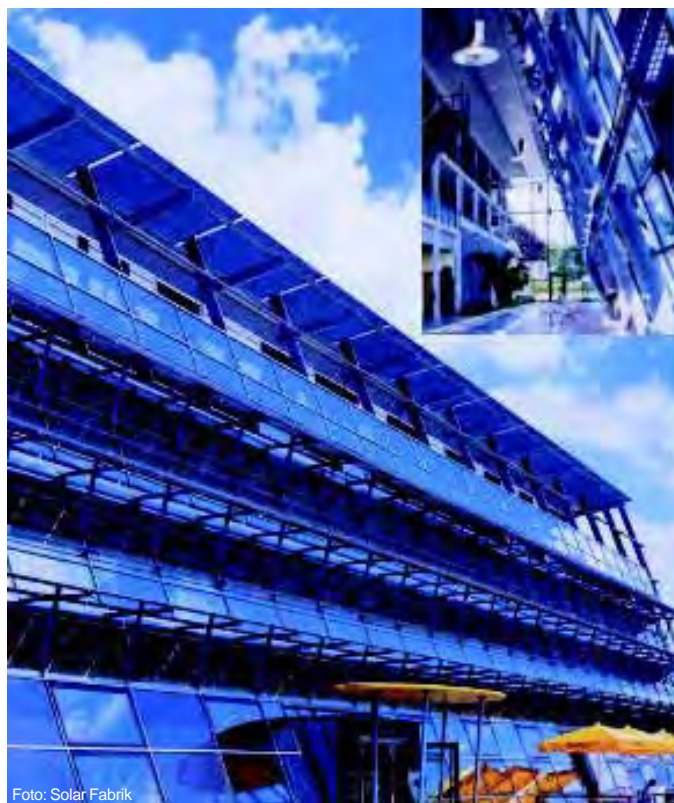


Foto: Solar Fabrik

*Integrazioni FV con frangisole FV*



*Prototipo di facciata solare con frangisole mobili e facciata FV*





Foto: Lucia Ceccherini Nelli

*Frangisole FV vetro/vetro*



Foto: Lucia Ceccherini Nelli

*Frangisole FV realizzati con moduli standard*



Foto: Mario Faraoni

*Frangisole FV realizzati con celle FV su membrana plastica*

la possibilità di un posizionamento accurato del modulo in funzione dell'altezza del sole, delle condizioni metereologiche e delle specifiche esigenze di luminosità interna. In presenza, ad esempio, di condizioni metereologiche particolarmente perturbate, con un conseguente abbassamento del livello di luminosità ambientale, i moduli possono essere posizionati in modo da far penetrare la massima luce possibile, riducendo il costo dell'illuminazione artificiale rispetto a soluzioni di frangisole fissi. Nel caso al contrario di condizioni di luminosità eccessiva per le necessità interne, l'impianto può essere regolato in modo da ottimizzare le sue prestazioni di schermo, con una conseguente riduzione dell'apporto termico interno ed un risparmio sull'eventuale energia impiegata per il condizionamento. Anche le prestazioni del fotovoltaico possono essere migliorate grazie alla possibilità di orientare accuratamente i moduli in funzione dell'altezza del sole. I sistemi utilizzati per effettuare la regolazione sono meccanici, a trazione elettrica o oleodinamici. A sua volta la regolazione può essere azionata manualmente o regolata automaticamente grazie ad un sensore di rilevamento della posizione solare che fornisce direttamente all'impianto di regolazione le informazioni sull'altezza del sole. I limiti più rilevanti dei sistemi frangisole mobili, rispetto a quelli fissi, sono il sostanziale incremento dei costi dovuti al meccanismo (che può essere più o meno sofisticato), le maggiori difficoltà di installazione e, specialmente, i maggiori oneri manutentivi.



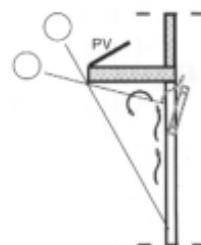
Esempi di frangisole FV



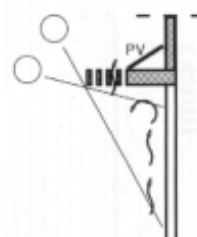
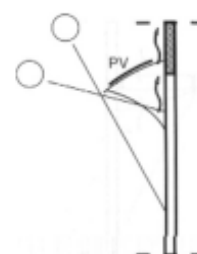
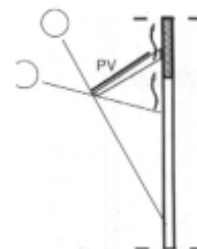
Foto: Lucia Ceccherini Nelli



Foto: Lucia Ceccherini Nelli



Alcuni schemi di soluzioni di frangisole FV





### 3.8. Elementi di rivestimento

Uno dei sistemi molto semplici per integrare i moduli fotovoltaici in edilizia, e poco utilizzato, è quello di installare i moduli come elementi di rivestimento dell'edificio. Il modulo può essere utilizzato, in sostituzione di lastre di rivestimento in pietra naturale, al posto di pannelli metallici (moduli sandwich), o di qualsiasi altro materiale venga utilizzato per il rivestimento esterno di un edificio. I moduli sono avvitati alla sottostruttura realizzata per il sostegno del rivestimento, possibilmente avere le stesse dimensioni e le stesse caratteristiche di resistenza meccanica e agli agenti atmosferici. Questo tipo di intervento prevede di utilizzare un'ampia superficie sulla facciata sud.

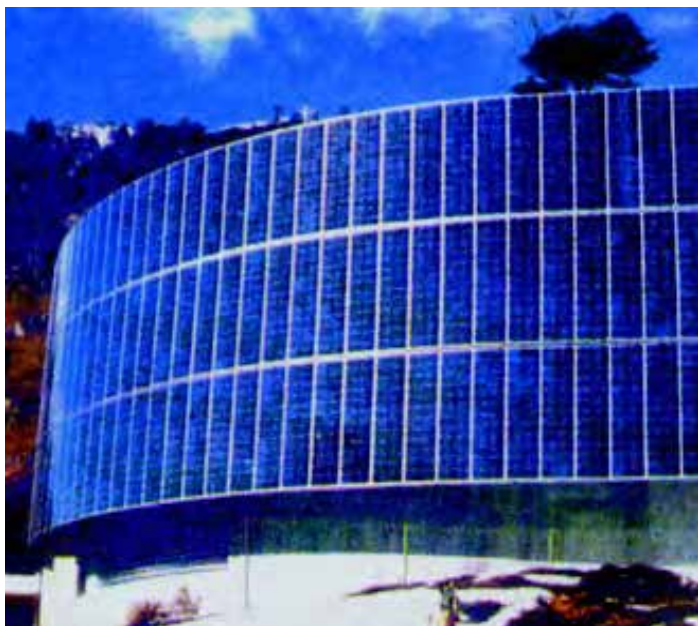
Tale soluzione presuppone la presenza di una parete esterna libera da aperture e ornamenti architettonici che potrebbero costituire un potenziale elemento ombreggiante all'installazione dei moduli fotovoltaici. La possibilità di rivestire completamente una parete con moduli fotovoltaici consente un'ottima integrazione. Questo tipo di soluzione è molto versatile perché può essere impiegata, sia in caso di nuove realizzazioni che in ristrutturazioni.

E' possibile prevedere l'integrazione di moduli FV complanari al rivestimento esistente oppure in presenza di finestre, i moduli sono considerati dei veri e propri componenti edili e devono rispondere a tutti i requisiti tecnici dei corrispettivi elementi di rivestimento che sostituiscono. In questo caso i moduli devono essere sostenuti dalla stessa sottostruttura concepita per il rivestimento.

Sarà necessario pertanto:

- lasciare un'intercapedine per areare i moduli ad evitare eccessivi accumuli termici nocivi al suo rendimento ottimale;
- prevedere il cablaggio dell'impianto elettrico e l'alloggiamento delle scatole di derivazione;
- prevedere una completa complanarità esterna dei rivestimenti.

Ove necessario, per migliorare le prestazioni dell'impianto fotovoltaico potranno essere previsti rivestimenti posti inclinati rispetto alla facciata. Negli edifici con destinazioni terziarie a



Soluzioni di rivestimento con moduli FV opachi

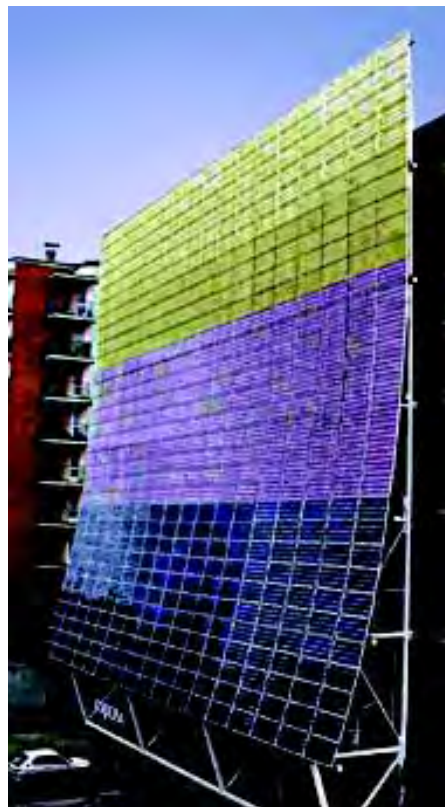




volte sono utilizzate pareti esterne inclinate e senza aperture. Se le pareti sono ben orientate queste sono le condizioni ideali per l'installazione di un generatore fotovoltaico. La soluzione senza dubbio più interessante dal punto di vista della qualità integrativa è quella della sostituzione degli elementi di rivestimento con i moduli fotovoltaici. In assenza di aperture o altri elementi architettonici in rilievo, gli elementi fotovoltaici possono essere ancorati alla sottostruttura concepita per sostenere il rivestimento edile. I moduli adatti per queste utilizzazioni devono rispondere a caratteristiche tecniche e dimensionali che appartengono agli standard edili e possono essere facilmente impiegati prodotti fotovoltaici standard. Nell'integrazione di moduli fotovoltaici con i materiali di rivestimento, notevole attenzione deve essere data alla scelta cromatica delle celle di silicio, considerando che sono già disponibili sul mercato diverse celle colorate.



*Esempi di soluzioni con moduli FV da rivestimento che formano motivi decorativi sulle facciate*



*Facciata FV di tre colori*



*Fascia FV decorativa ad un Autogrill*



*Parete FV distanziata realizzata come elemento decorativo e frangisole*





### 3.9. Parapetti e fioriere

Tra le superfici esterne di un edificio, potenzialmente utilizzabili per l'integrazione del fotovoltaico, dobbiamo sicuramente tener presenti i parapetti dei balconi. L'inserimento di moduli fotovoltaici nella struttura della balaustra può essere attuato con varie soluzioni; tra le tante le due principali sono:

- modulo fotovoltaico semitrasparente laminato con doppio vetro. La caratteristica di semitrasparenza del modulo consente il raggiungimento di elevati requisiti estetici;
- modulo fotovoltaico opaco – L'elemento fotovoltaico viene incassato direttamente nella struttura della balaustra.

Sempre più frequentemente vengono utilizzate fioriere allo scopo di proteggere o delimitare terrazzamenti e balconature. Tali elementi sono di solito prodotti in conglomerato cementizio e realizzati con tecniche di prefabbricazione leggera. Una delle soluzioni integrative più semplici è l'incasso del modulo fotovoltaico realizzato in fioriere prefabbricate. E' inoltre possibile predisporre l'alloggiamento per la scatola di derivazione ed il passaggio dei cavi elettrici all'interno della struttura, prestando attenzione a renderla facilmente ispezionabile e protetta dall'umidità. E' importante prevedere un sistema di ventilazione posteriore del modulo fotovoltaico per garantirne una maggiore efficienza.

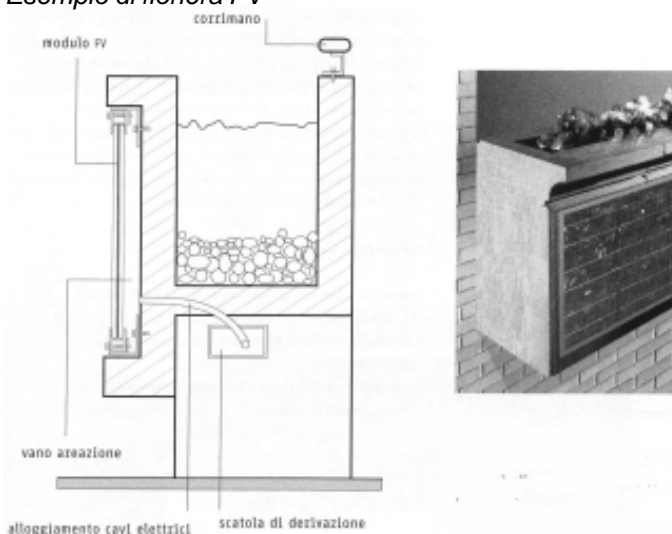
Questo tipo di soluzione deve però alloggiare il modulo fotovoltaico in modo che le piante non vadano ad oscurare il modulo fotovoltaico.

#### Pensilina e rivestimento FV



Balconi rivestiti di moduli FV in due alberghi

#### Esempio di fioriera FV





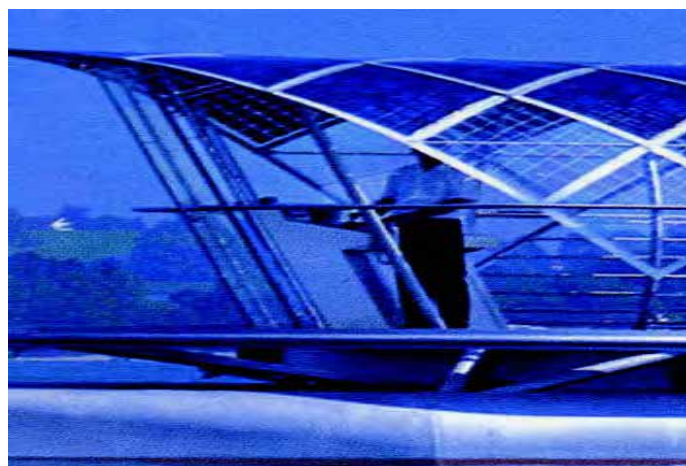
### 3.10. Pensiline

A protezione di percorsi pedonali e nelle zone limitrofe agli accessi degli edifici sono a volte presenti elementi di copertura. Essi sono sostenuti da strutture esterne al fabbricato e solitamente dotate di fondazioni indipendenti. Questa tipologia rappresenta un importante potenziale per l'integrazione del fotovoltaico anche all'esterno dell'involucro dell'edificio.

In funzione dei requisiti abitativi dei corrispondenti ambienti interni e delle caratteristiche climatiche, è opportuno progettare l'integrazione fotovoltaica delle pensiline scegliendo preliminarmente l'uso di moduli opachi o semitrasparenti.

Nel caso della scelta di moduli fotovoltaici semitrasparenti è possibile adottare soluzioni "a giorno", dove l'elemento fotovoltaico viene utilizzato senza cornice e direttamente ancorato alla struttura di supporto. Tale opportunità può consentire il raggiungimento di elevati standard estetici.

Oltre al requisito di ombreggiamento, alla struttura pensilina è richiesta la protezione dalle precipitazioni. Questo obiettivo induce il progettista a porre particolare attenzione allo studio della tenuta dei giunti. Non deve essere trascurata, inoltre, la predisposizione dell'alloggiamento dell'impianto elettrico specie nel caso in cui alcune sue parti siano poste ad altezza d'uomo.



*Pensilina FV*



*Alcuni esempi di pensiline FV che utilizzano diversi tipi di supporti*



### **3.11. Il fotovoltaico integrato nell'arredo urbano**

Le integrazioni del fotovoltaico nelle infrastrutture urbane costituiscono un settore applicativo in via di particolare sviluppo poiché la domanda di servizi urbani è in crescita, impianti di rilevamento e di trasmissione dati, impianti per la segnalazione, la comunicazione e tanti altri. Questo tipo di impianti sono di tipo isolato e non collegati alla rete elettrica. E' quindi necessario prevedere adeguati accumulatori per consentire il funzionamento delle utenze anche in mancanza di insolazione. In altri casi in cui il generatore fotovoltaico è collegato alla rete l'energia in eccedenza viene ceduta alla rete attraverso l'utilizzazione di invertitori di tensione.

I principali ambiti di servizi urbani integrabili con fotovoltaico sono: pensiline parcheggio, pensiline attesa, impianti di rilevamento e trasmissione dati, impianti per la segnalazione e per la comunicazione pubblicitaria, impianti per l'illuminazione, barriere antirumore ed altro.

Una interessante applicazione del fotovoltaico in ambiente urbano è costituita dalla integrazione nelle pensiline per parcheggio auto. I moduli fotovoltaici risultano rispondere ai requisiti di protezione dalle precipitazioni e dai raggi solari. Per le pensiline possono essere utilizzati moduli semitrasparenti, o a doppio vetro, che consentono una buona ombreggiatura oltre al passaggio della luce. Nel caso si utilizzino direttamente i moduli fotovoltaici come unica protezione, bisognerà curare in modo particolare la progettazione del sistema di connessione tra modulo e modulo e la relativa impermeabilizzazione. Le pensiline per auto sono elementi per definizione modulare ciò può risultare utile nell'ambito della progettazione, la modularità strutturale con quella elettrica. Anche le pensiline per la sosta degli autobus, tram e stazioni in genere, sono diventate un servizio insostituibile nella pianificazione delle infrastrutture dell'arredo nell'ambito delle nostre città. In funzione delle caratteristiche del contesto urbano, della viabilità e del servizio pubblico, le pensiline di attesa assumono forme e funzioni particolarmente varie. I moduli FV de-



*Illuminazione realizzata con tettoie FV*



vono essere necessariamente integrati alla copertura della pensilina. Sarà importante studiare un sistema flessibile per l'orientamento dei moduli non potendo conoscere a priori il posizionamento della pensilina. Può risultare sufficiente prevedere un doppio orientamento dei moduli con la possibilità di una rotazione di 180°. La potenzialità di cambiare l'orientamento del generatore può comportare dei problemi alle caratteristiche estetiche del manufatto. A volte è necessario installare all'interno della pensilina sistemi di illuminazione interna, impianto luminoso per segnalazioni di servizio, impianto pubblicitario luminoso, macchine per emissione biglietti o obliterate.



*Pensiline per auto FV*



*Illuminazione FV*



#### Sistemi per coperture

Posizione del sistema FV	Sistema	Caratteristiche
1. coperture inclinate	a. Pannelli FV b. Tegole FV	Combinati con il sistema strutturale Tegole FV: flessibili e facili da applicare sia su una copertura esistente che integrata nel manico di copertura
2. coperture a shed	a. Pannelli FV	Consentono il passaggio della luce
3. Coperture curve	a. celle opache con struttura flessibile b. pannelli FV rigidi applicati su supporto curvo	Facilità di montaggio e performanti dal punto di vista architettonico Sistema più rigido con diverso rendimento a seconda della diversa inclinazione dei moduli
4. Altri	a. pannelli FV per coperture	Questo sistema può essere ottenuto con parti trasparenti e parti opache FV e semitrasparenti FV

#### Sistemi FV di facciata

Posizione del FV	Sistema	Caratteristiche
Pareti verticali	Facciate continue	Standard ed economica installazione, i pannelli opachi FV possono essere miscelati a quelli trasparenti o semitrasparenti
Pareti verticali	Pareti protettive ventilate	Con camera d'aria per la ventilazione e per il passaggio del cavi per l'impianto FV
Pareti verticali con pannelli FV inclinati	Facciate vetrate ventilate	Con questo sistema si incrementa l'efficienza FV, conseguendo un potenziale ombreggiamento dalle finestre (se desiderato) ma conseguente solo ombreggiamento dei moduli
Pareti inclinate	Vetrate	Notevoli interessi architettonici, incremento della resa dei moduli FV, minor utilizzo dell'area costruita dell'edificio
Schermature fisse	Vetrate	Ridotti perdite di luce diurna
Frammentate mobili	Vetrate	Incremento di resa del sistema FV comparato al sistema per frangisole fissi

Tabelle riassuntive delle tipologie di integrazione fotovoltaica e caratteristiche.

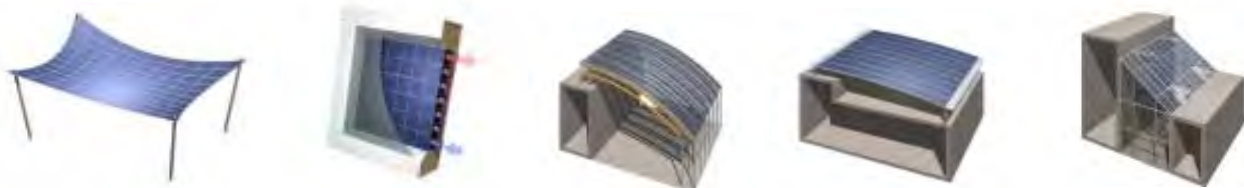
#### Considerazioni conclusive

Un edificio orientato a sud, libero da ombreggiature è un edificio favorevole all'installazione di un impianto fotovoltaico.

Anche le integrazioni fotovoltaiche in facciata si prestano per soluzioni architettoniche molto interessanti, è importante tenere presente che per una corretta ed elevata efficienza energetica ed illuminotecnica delle parti finestrate è necessario lasciare libero il 30-45% della superficie vetrata esposta a sud, pertanto sarà possibile coprire il 55-70% con superfici opache di fotovoltaico affinché l'edificio non risenta di un deficit di illuminazione diurna.

Per ottenere una corretta installazione di un impianto fotovoltaico integrato è necessario osservare che:

- l'orientamento e inclinazione dei moduli deve essere ottimale;
- l'impianto deve rendere il massimo, pertanto devono essere ridotte al minimo le perdite di produttività;
- i moduli fotovoltaici devono essere ventilati;
- evitare fenomeni di ombreggiamento;
- prevedere la sostituzione dei moduli;
- utilizzare materiali anticorrosivi per evitare fenomeni di corrosione dei giunti (in particolare nelle facciate).



Schemi di differenti tipologie di integrazione - Grafica IEA



## Mercato e produzione

Lucia Ceccherini Nelli

*Il settore dell'energia solare è in forte crescita e si sta evolvendo molto rapidamente. Per il mercato fotovoltaico è previsto il raddoppio della produzione nell'arco di tre anni. In Italia, per i sistemi connessi alla rete è prevista una crescita del 50% entro il 2010.*

*Gli aspetti legislativi sono fondamentali per una corretta pianificazione e progettazione dell'intervento.*





*Fase di produzione delle celle fotovoltaiche*



*Premio per la migliore integrazione FV dell'anno in Svizzera*

## **4. Il mercato Fotovoltaico**

### **4.1. Il mercato fotovoltaico mondiale**

Il mercato fotovoltaico mondiale ha conosciuto negli ultimi anni notevoli sviluppi, passando dai 45MWp/anno del 1990 ai 720 MWp nel 2004. Il mercato del fotovoltaico si è sviluppato quasi del 35% annuo e si pensa che la tecnologia solare fotovoltaica, darà un contributo sempre più rilevante al fabbisogno elettrico mondiale. La crescita del mercato verificatosi negli ultimi 30 anni ha consentito al settore FV di decuplicare la produzione mondiale ogni 10 anni. I paesi oggi maggiormente impegnati nel settore sono: Giappone, Germania, USA, Olanda, Svizzera, Spagna, Austria e Regno Unito, paesi che hanno deciso di investire in questa tecnologia con programmi di sostegno e di incentivazione. In Italia, dopo una prima fase di grandi investimenti negli anni '80 e nei primi anni '90, momento in cui sono state realizzate diverse centrali fotovoltaiche (in particolare quella di *Serre* da 3,3 MWp), il mercato ha vissuto una forte contrazione con conseguente difficoltà alle imprese nazionali. Con i bandi di finanziamento lanciati a partire dal 2001 e la recente introduzione dell'incentivo in conto energia si spera che il nostro paese possa raggiungere i trend di crescita degli altri paesi europei.

### **4.2. L'industria Internazionale per l'integrazione architettonica del FV**

Il mercato mondiale si basa oggi sulle principali industrie petrolifere (Shell, BP, Total Fina, etc.), industrie che producono semiconduttori e prodotti elettronici di largo consumo (Sharp, Kyocera) ed industrie fotovoltaiche (Photowatt, Isofoton, Astropower).

Diverse multinazionali petrolifere dimostrano di prendere molto sul serio gli impegni di Kyoto, sul fronte della riduzione delle emissioni dei gas nocivi. Ricordiamo la posizione della BP che autonomamente ha fissato e raggiunto con 8 anni di anticipo un proprio obiettivo di riduzione della CO<sub>2</sub> del 10 % rispetto al livello del 1990. Così la Shell ha creato la "Shell Renewables" e la "Shell Hydrogen", mentre la BP con la controllata BP Solar è diventata l'industria leader mondiale nella produzione di celle solari fotovoltaiche. Anche sul fronte statunitense si è deciso di investire molto sul fronte dell'idrogeno e del solare.

Visto il crescente interesse per l'impiego del FV in edilizia, sia da parte dei costruttori che degli architetti, le industrie stanno realizzando una serie di prodotti innovativi per poter offrire una maggiore varietà di impianti FV integrati per applicazioni edilizie.

Materiali standard da utilizzare nelle coperture comprendono tegole in ceramica, cemento e ardesia, tegole bituminose e coperture metalliche per tetti inclinati. Per i tetti piani esistono impermeabilizzanti bituminosi o sintetici, pannelli corrugati o in fibra di cemento.

La Bekaert ECD Solar System LCC, azienda leader nello sviluppo e nella produzione di elementi FV per le costruzioni edilizie, offre prodotti che si adattano agli standard dell'industria delle costruzioni e ai requisiti architettonici richiesti. Tali prodotti sono maggiormente conosciuti col nome di UNI SOLAR, vanno dalle tegole canadesi FV alle coperture metalliche FV, fino ai laminati FV per le combinazioni con lamiere metalliche, pannelli multistrato e membrana sintetica per impermeabilizzazione.

Un altro tipo di installazioni FV per i sistemi di facciata sono i moduli OPTISOL della Flachglas Solartechnik GmbH montati su sistemi di facciata Pilkington sviluppati sin dal 1997. Essi sono in vetro/vetro laminati, disegnati per incapsulare ogni tipo di celle fotovoltaiche e possono essere installati su qualsiasi elemento vetrato o copertura in vetro.

In Svizzera un interessante sistema che soddisfa i requisiti di variazione di soleggiamento, frangisole e produzione di energia è stato realizzato da Atlantis, sono moduli utilizzati anche per i rivestimenti e simulano l'aspetto del granito.

I moduli fotovoltaici laminati senza telaio possono essere trasparenti nelle parti delle finestre e opachi nelle altre parti. I moduli sono altamente isolanti ed assemblati in fabbrica. Le connessioni elettriche sono predisposte nei moduli preassemblati e vengono collegati dopo il montaggio delle pareti vetrate.

La Phototronics Solartechnik GmbH ha sperimentato un sistema a film sottile, ASI Glas, con spessore e trasparenza variabili, i moduli FV sono laminati in due strati di vetro e montati su una vetrata convenzionale, questa ditta basa la propria produzione non solo su moduli standard ma è anche in grado di soddisfare richieste particolari dei clienti.

La COLT e SOLUTION hanno combinato la loro esperienza nella produzione di generatori FV utilizzando vetro/ vetro con celle incapsulate opache, sia per facciate che frangisole, variando la densità di celle in funzione dell'illuminazione naturale richiesta. Un sistema ad elevato rendimento per frangisole fotovoltaici è stato studiato dalla COLT International, Atlantis Energie, Solution AG è il Zentrum fur Sonnenenergie di Stoccarda. Il sistema include un inseguitore solare che consente la movimentazione delle lamelle fotovoltaiche verso il maggiore soleggiamento in modo da ottimizzare il rendimento del sistema.

Un innovativo sistema per atri in vetro è stato realizzato da Mosko & Niephaus nel 1995, sono dei moduli di forma triangolari utilizzabili per particolari superfici e sistemi di integrazione.



Moduli Unisolair

### 4.3. Il mercato italiano

Attualmente, il settore FV in Italia vede la presenza di 8 società produttrici di componenti e apparecchiature (moduli FV, inverter, regolatori di tensione, quadri elettrici, ecc.); 15 distributori di apparecchiature e componenti prodotti all'estero; una ventina di società dedicate alla sistemistica (progettazione e installazione di impianti complessi). Circa mille installatori sono stati formati dalle aziende e tramite i corsi tenuti da Enea e Ises Italia (International Solar Energy Society). Il fatturato globale del settore ammonta a circa 30-35 milioni di euro, di cui il 60 % va in esportazioni verso i paesi del Nord Europa (Germania in particolare). In previsione del programma nazionale Tetti FV le aziende hanno potenziato l'organico e le proprie capacità produttive ma, non avendo il programma raggiunto i livelli previsti, le imprese sono al momento costrette ad operare ed utilizzare il proprio personale in settori affini.

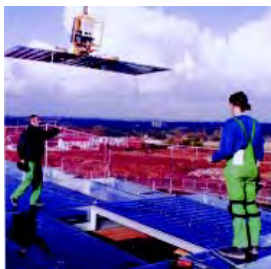
#### 4.3.1. La normativa vigente per le applicazioni fotovoltaiche

Gli aspetti legislativi sono fondamentali per una corretta pianificazione e progettazione dell'intervento. Le Amministrazioni locali possono svolgere un ruolo fondamentale nella definizione di un'adeguata struttura legislativa di supporto allo



Tegola fotovoltaica della Solar Industrie GmbH





Alcune fasi di installazione di una copertura FV



sviluppo, promozione e diffusione del fotovoltaico.

Alcuni regolamenti edilizi locali stabiliscono l'uso di certi colori e di forme dell'edificio, che possono influire sulla scelta del tipo di materiale FV da applicare. La decisione, quindi, dovrà essere presa considerando la dimensione dell'edificio, la sua configurazione, gli aspetti economici e il fabbisogno energetico.

Un impianto fotovoltaico, oltre al progetto tecnico, economico e architettonico, deve anche rispondere a diverse normative di legge.

Principali ambiti normativi:

- ⇒ Leggi sulla sicurezza degli impianti elettrici
- ⇒ Regole economico-fiscali riguardanti la vendita dell'energia elettrica
- ⇒ Requisiti assicurativi
- ⇒ Normative tecniche sull'edilizia locale (caratteristiche termiche, strutturali ed elettriche)
- ⇒ Normative urbanistiche e progettuali
- ⇒ Normativa riguardante la connessione alla rete elettrica
- ⇒ Normativa sull'uso del suolo

Le Normative sulla sicurezza dell'impianto elettrico e sulla connessione alla rete elettrica sono reperibili a parecchi livelli: internazionale, nazionale e locale, esempi nazionali e normative per le aziende elettriche locali.

A livello internazionale, la Commissione Internazionale Elettrotecnica (*International Electrotechnical Commission, IEC*), ed il *Global Approval Programme for Photovoltaics (PV GAP)* operano per definire norme internazionali e per stabilire regole di conformità riguardanti la parte elettrotecnica dell'impianto fotovoltaico. La missione del PV GAP è quella di promuovere e incoraggiare l'utilizzo di procedure standard applicabili a livello internazionale, programmi per la gestione della qualità, la formazione per le fasi di progettazione, realizzazione, installazione, vendita e manutenzione di sistemi fotovoltaici.

A livello nazionale, differenti organismi prescrivono e definiscono regolamenti nell'ambito della sicurezza degli impianti elettrici e della connessione alla rete di distribuzione. A livello locale, talvolta le aziende elettriche hanno le proprie normative riguardanti la connessione alla rete di distribuzione.

### 4.3.2. Regolamenti economico-fiscali riguardanti la vendita di energia elettrica

Nel caso venga venduta l'energia elettrica prodotta da un sistema fotovoltaico, possono sorgere problemi riguardanti la fatturazione, la contabilizzazione e la tassazione. La complessità di questi problemi varia da paese a paese e dipende anche dalla dimensione dell'impianto e del tipo di contratto di vendita. E' fondamentale conciliare ogni aspetto tecnico ed economico. In Spagna per esempio, dal 1998 sono disponibili tariffe economiche interessanti, ma all'inizio questo è servito solamente a mettere in risalto carenze legislative riguardanti i collegamenti alla rete e lo stato giuridico richiesto per fatturare la vendita di energia elettrica prodotta da piccoli impianti integrati negli edifici. Molti di questi problemi ora sono stati risolti sia tramite provvedimenti legislativi più avanzati, sia grazie all'esperienza tratta dai precedenti progetti.

#### *Requisiti assicurativi*

Poiché rientrano nell'ambito di norme elettrotecniche, in Svizzera i sistemi fotovoltaici sono automaticamente coperti da una polizza assicurativa. Il premio da pagare dipende dal valore dell'impianto fotovoltaico e dal tipo di edificio; in genere non sono contemplati premi per ulteriori rischi. Si è già sviluppato in Germania un considerevole mercato assicurativo, dove molte compagnie private cercano di coinvolgere nuovi clienti "fotovoltaici".

#### *Normative Tecniche Urbanistiche*

Ci sono diverse normative che favoriscono (direttamente o indirettamente) i sistemi fotovoltaici, per i suoi benefici ambientali, per esempio:

- ⇒ Una legge italiana prevede che in edifici di proprietà o di uso pubblico sia obbligatorio soddisfare una parte del fabbisogno energetico (riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, ecc.) con fonti di energia rinnovabili (Legge 10/91).
- ⇒ In Olanda viene formalmente richiesta una concessione edilizia per la nuova costruzione, l'ampliamento o la ristrutturazione di edifici; tale richiesta implica anche una valutazione di impatto visivo, denominata "*Welstand*". Per ottenere una concessione edilizia bisogna seguire una procedura molto lunga. Per incentivare la realizzazione di edifici sostenibili, il nuovo regolamento edilizio olandese (Dutch Housing Law) esenta i cittadini, che vogliono installare sistemi solari domestici per la produzione di acqua calda e sistemi fotovoltaici su edifici esistenti, dal fare richiesta di concessione edilizia.
- ⇒ Una analoga procedura legislativa viene applicata a Zurigo da molti anni nessun permesso edilizio deve essere richiesto per installare impianti solari se sono valide le seguenti circostanze:
  - se è installato su un tetto
  - se l'edificio si trova in una zona urbana non appartenente al centro storico
  - se l'edificio non è vincolato
  - se la superficie dell'impianto è minore di 35 m<sup>2</sup>
  - se la superficie dell'impianto è continua (non suddivisa in varie parti separate).

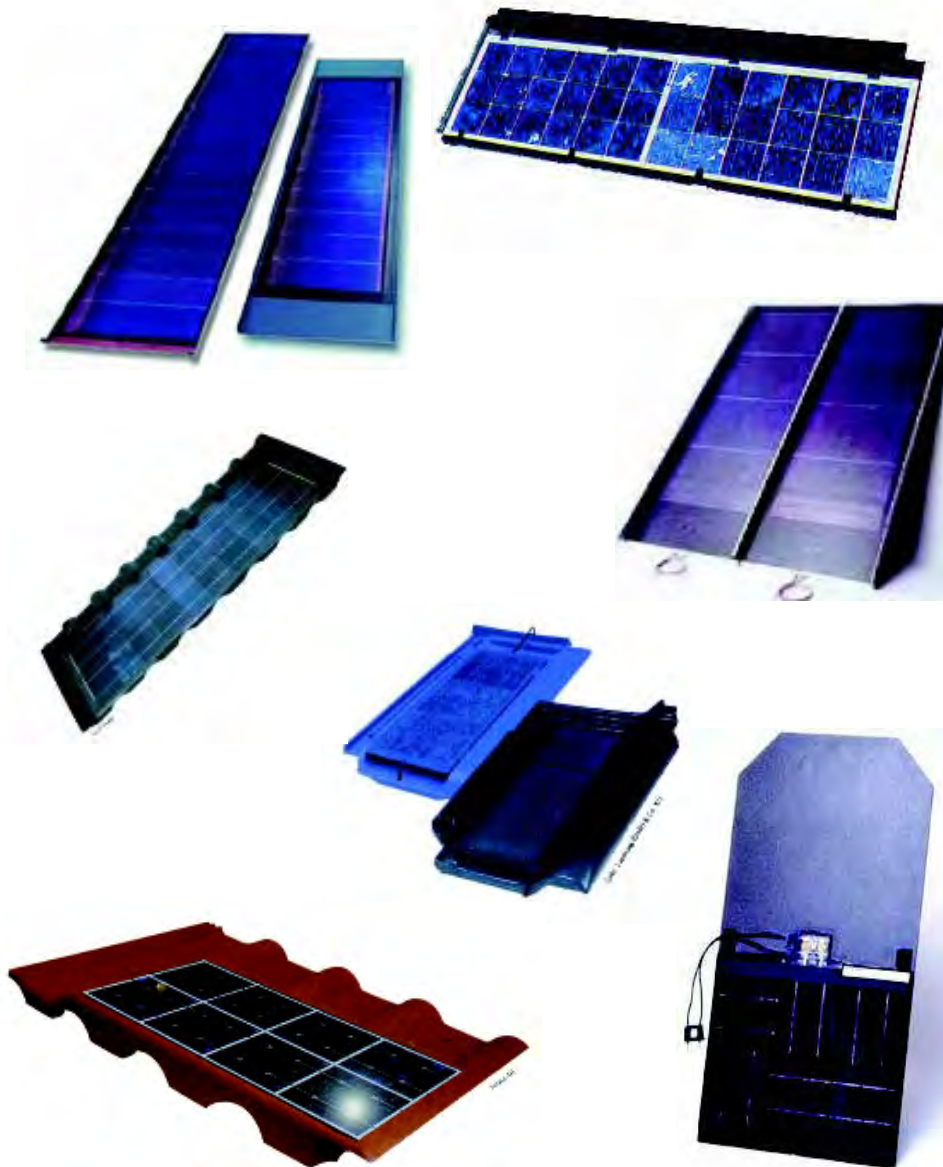
#### **4.4. Designer fotovoltaici**

Gli architetti fotovoltaici sono una categoria, che ancora è poco diffusa in Italia ma in forte crescita in altre Nazioni come il Giappone, la Germania e gli USA, quei paesi in cui lo sfruttamento dell'energia solare negli edifici è divenuta una pratica diffusa. Per migliorare l'integrazione architettonica del fotovoltaico in edilizia è necessaria una ottima conoscenza dei sistemi integrati, pertanto si stanno sviluppando studi tecnici specializzati nel progetto dell'integrazione dei sistemi solari attivi nell'involucro edilizio e nell'arredo urbano. L'approccio multidisciplinare, le conoscenze dell'impiantistica, della scienza delle costruzioni, della tecnologia e la fisica degli edifici caratterizzeranno questa nuova figura professionale dell'Architetto fotovoltaico, la quale avrà la possibilità di svilupparsi se in Italia se le strategie pubbliche di incentivazione cresceranno, in modo tale che la committenza pubblica e privata potrà affidarsi a dei veri e propri esperti.





## La produzione - schedatura dei prodotti



## La produzione - Coperture Fotovoltaiche



- P.c1. ALWITRA: Evalon Solar
- P.c2. ATLANTIS Energy Systems: tegole solari
- P.c3. Bekaert ECD Solar Systems: SHR 17
- P.c4. Granit: Freestyle
- P.c5. Imerys Toiture: Sunsat
- P.c6. Intersolar: Electra Slate II
- P.c7. Lafarge: SRT 35
- P.c8. Laumans: Rheinland, Tiefa - XL
- P.c9. MSK: Photovol roof RHH 125-72
- 9.c10. MSK: Re Roof RK-18, RK-14
- P.c11. Pfleiderer: Terra Piatta®- Solar
- P.c12. Phonix SonnenStrom AG: Newtec Solar Roof Tile SDZ 36
- P.c13. Rannila: Solar Electro 64, Solar Electro 128
- P.c14. Rathscheck Schiefer: SolarSklent
- P.c15. Rheinzink: Quick Step Solar PV
- P.c16. Rheinzink: Solar PV, Stehfalz
- P.c17. SED ProduktionsgesmbH: Solar Roof Tile
- P.c18. SES Societ  d'Energie Solaire: SES Sunslates TM
- P.c19. Sesol: Quick D4
- P.c20. Solara: SM 120DZ
- P.c21. Solarwatt: P35-16 GEG K
- P.c22. Star Unity: Sunny Tile 1m
- P.c23. 3S: MegaSlate
- P.c24. UNISOLAR - ThyssenKrupp: Solartec Type style(H), design(L), trend(T), classic(S), Thermo
- P.c25. Helios Technology srl
- P.c26. Maximpianti srl
- P.c27. Fornace Fonti srl
- P.c28. POWERPICA
- P.c29. D.E.A srl
- P.c30. Energia Solare srl
- P.c31. GAMBALE
- P.c32. Gechelin Group

## P.c1. ALWITRA: Evalon Solar

Alwitra GmbH & Co. Moduli fotovoltaici in film sottile in silicio amorfo laminati dalla ditta Bekaer ECD.

Distributore:  
Bekaert ECD Solar Systems LLC

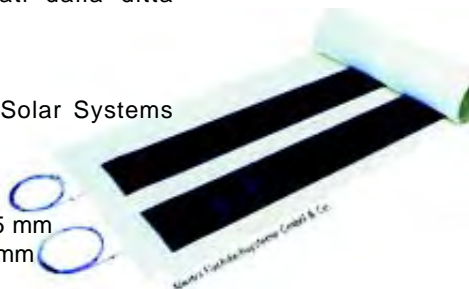
Dimensione:  
6.000x1.050 x 5 mm  
3360x 1.050x5mm

Potenza  
256W, 128 W/a-Si

Efficienza dei moduli  
4,5%, 4,1%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n. 4,8 , 22,3 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato  
1999



Distribuzione  
in tutto il mondo  
6 settimane per la consegna

Certificazione  
CEI/IEC 61646 (Ispra), CEC 701, SKL II

Prodotto/ garanzia potenza  
10 anni/  
20 anni per l'80% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW  
4 ore



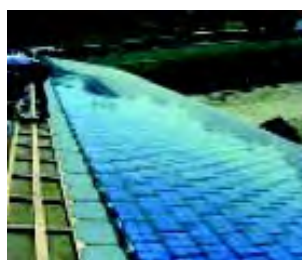
## P.c2. ATLANTIS Energy Systems: tegole solari

Atlantis Energy Systems Inc. realizza tegole fotovoltaiche con celle in silicio monocristallino

Distributore:  
Atlantis Energy Systems Inc.

Dimensione (lu x la x h) :  
720x400 x 5 mm

Potenza e efficienza dei moduli  
>12 W , variabile



Numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n. 94, 10 m<sup>2</sup>

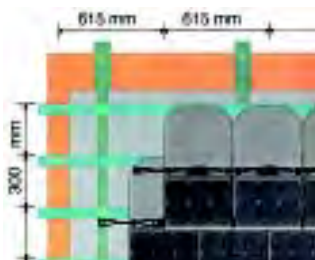
Introdotta nel mercato, 1997

Distribuzione  
US, Canada  
8-9 settimane per la consegna

Certificazione  
UL 1703, UL 790, Ispra

Prodotto/ garanzia potenza  
20 anni

**Atlantis Solar Systeme AG**  
Lindenrain 4, CH 3012 Berna, Svizzera





**P.c3. Bekaert ECD Solar Systems: SHR 17**

Bekaert ECD utilizza tegole fotovoltaiche con un substrato di bitume per supportare le celle in film sottile laminato. L'inclinazione ottimale per questo tipo di copertura è da 15° a 45°

Distributore:  
Bekaert ECD Solar Systems LLC

Dimensione (lu x la x h):  
2,195x304 x 1,5 mm

Potenza: 17W/a-Si

Efficienza dei moduli: 6,0%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n. 59, 16,8 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 1997

Distribuzione in tutto il mondo  
2-6 settimane per la consegna



Certificazione: IEC 61646

Prodotto/ garanzia potenza  
2 anni/  
20 anni per l'80% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW: 6-7 ore



**P.c4. Granit: Freestyle**

Granit Systems SA

Distributore:  
Bekaert ECD Solar Systems LLC

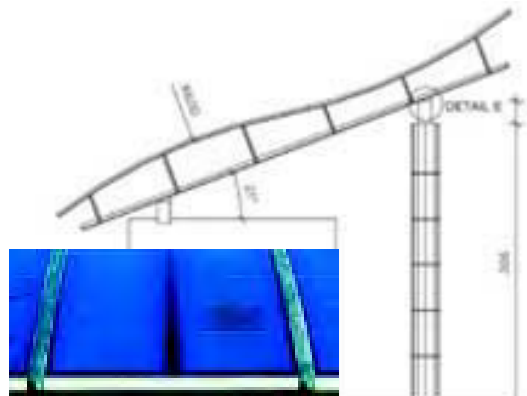
dimensione (lu x la x h) :  
2,850 x400 x 3mm  
5,500 x 800 vx 3 mm

Potenza e efficienza dei moduli  
64 256W /a-Si, variabile

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area da 4 a16 secondo la potenza, 17,3 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato  
2001

Distribuzione  
in tutto il mondo  
3 settimane per la consegna



Certificazione  
Ispra

Prodotto/ garanzia potenza  
5 anni/ 20 anni per l'80% della potenza nominale

### P.c5. Imerys Toiture: Sunsat

Tegole fotovoltaiche ventilate, l'aria naturale può circolare tra le tegole e il supporto

Distributore:  
Photowatt SA

Dimensione (lu x la x h):  
1.380x455x40 mm

Potenza  
50W/ celle in policristallino

Efficienza dei moduli  
12%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.20, 9,2 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato  
2002

Distribuzione in Europa  
3 settimane per la consegna



Prodotto/ garanzia potenza  
10 anni/  
25 anni per il 95% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW  
5 ore

### P.c6. Intersolar: Electra Slate II

Intersolar Group Ltd.  
Distributore:  
Intersolar Group Ltd.

Dimensione (lu x la x h) :  
600 x300 mm, 500 x 300 mm

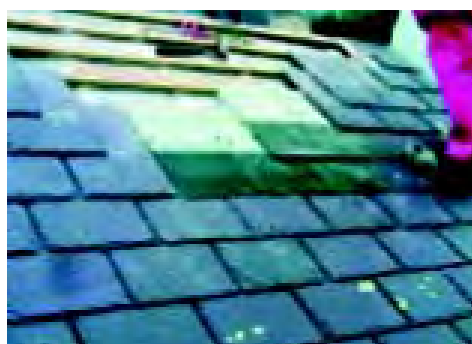
Potenza e efficienza dei moduli  
>4W/celle in silicio amorfo

Efficienza dei moduli: 4.5%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.250, 12-17 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 2003

Distribuzione  
UK e Europa  
2-3 settimane per la consegna



Certificazione: IEC 61646

Prodotto/ garanzia potenza  
25 anni meccanici, 10 anni elettrico / 10 anni per il 90% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW: 4 ore

**P.c7. Lafarge: SRT 35**

**Il sistema PV-700** consiste di moduli FV vetro/vetro, posizionati su un supporto in plastica, sostenuto da montanti in acciaio inossidabile, il modulo è composto da 4 tegole integrate in componenti di copertura tradizionali, sono disponibili 'Tegalit Novo', 'Frankfurter Tile', 'Double-S', 'Taunus Tile' e 'Tegalit'. 20 elementi FV producono 35Wp. Per prevenire il surriscaldamento dei moduli, Lafarge ha creato questo elemento di copertura



Numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.30, 12 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 1996

Distribuzione in Europa, USA e Giappone  
2 settimane per la consegna

Certificazione: IEC 61215, SKL II

ra FV con un supporto in grado di ventilare le celle.

Distributore: Lafarge  
Produttore del FV laminato  
BP Solar



Dimensione (lu x la x h):  
1.194x380 x 5 mm

Potenza  
35W/policristallino

Efficienza dei moduli: 10,1%



Prodotto/ garanzia potenza  
5anni/ 20 anni per l'80% della  
potenza nominale

Tempo necessario per installare  
1 kW: 1,5 ore



**P.c8. Laumans: Rheinland, Tiefs - XL**

Le tegole FV sono distanziate tra di loro in modo da consentire la ventilazione

Distributore:  
Gebr. Laumans GmbH & Co. KG  
Produttore FV laminato  
Solarwatt Solar Systeme GmbH

dimensione (lu x la x h) :  
415 x245- 415x280mm

Potenza e efficienza dei moduli  
5W /silicio monocristallino, 7%,  
6,3%

numero di moduli necessari per  
un sistema da 1 kW e area  
n.200, 224; 14,3m<sup>2</sup>, 16 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 1996

Distribuzione  
Germania, 3 settimane per la



consegna

Certificazione: IEC 61215

Prodotto/ garanzia potenza  
10 anni/ 10 anni per l'80% della  
potenza nominale

Tempo necessario per installare  
1 kW: 9,6 ore



### P.c9. MSK: Photovol roof RHH 125-72

Il sistema è formato da moduli FV che sono sostenuti da una struttura in alluminio che sorregge per circa 10 cm ai lati, rendendo la copertura impermeabile all'acqua. Il supporto è distanziato dalla copertura consentendo la ventilazione dei moduli.

Distributore: MSK Corporation

Dimensione (lu x la x h):  
1.990x290,9x34 mm

Potenza  
72W/monocristallino

Efficienza dei moduli: 13,1%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.14, 7,7 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 1998

Distribuzione in Giappone

8 settimane per la consegna

Certificazione  
JIS, Japan Building Codes

Prodotto/ garanzia potenza  
1 anno/10 anni per il 90% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW: 2,5 ore

MSK Corporation Sumitomo Bldg 19F  
6-1 Nishi Shinjuku, 2-Chome Shinjuku-ku, Tokyo 163-02, Giappone



### P.c10. MSK: Re Roof RK-18, RK-14

Distributore:  
MSK Corporation

dimensione (lu x la x h) :  
1.262 x369,9x49 mm  
957 x 369,9 x 49 mm

Potenza e efficienza dei moduli  
43.3W, 33,7 W / monocristallino  
13.0%, 13.5%

Numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.23,30, 7,6 m<sup>2</sup>, 7,5 m<sup>2</sup>

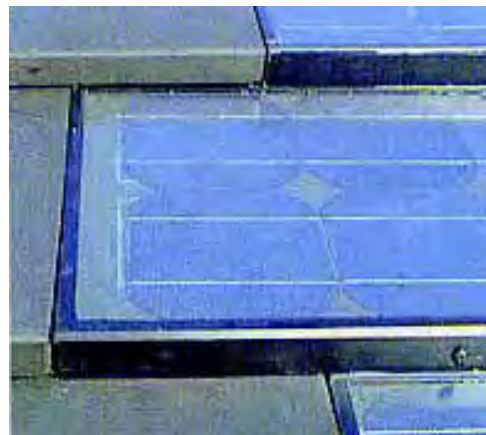
Introdotta nel mercato: 2001

Distribuzione: Giappone  
3 settimane per la consegna

Certificazione  
JIS, Japan Building Codes

Prodotto/ garanzia potenza  
1 anni/ 10 anni per l'90% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW:  
2,5 ore



### P.c11. Pfleiderer: Terra Piatta®- Solar

Il sistema di copertura FV è dotato di camera d'aria da 6 a 10 cm per la ventilazione dell'impianto

Distributore:  
Dachziegelwerke Pfleiderer GmbH  
Distributore FV laminato  
Solarwatt Solar -Systeme GmbH

Dimensione (lu x la x h):  
1.420x450 x 50 mm

Potenza  
51W/policristallino; 56W/  
monocristallino

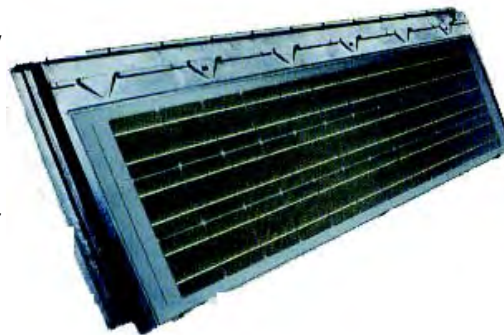
Efficienza dei moduli  
10,3%, 11,3%

numero di moduli necessari per  
un sistema da 1 kW e area  
n.20,18; 9,8 m<sup>2</sup>



Introdotta nel mercato: 1999

Distribuzione in tutto il mondo  
4-8 settimane per la consegna

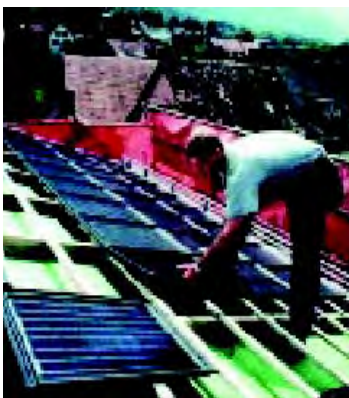


Distributore FV laminato  
Solarwatt Solar -Systeme GmbH  
Distributore FV laminato  
Solarwatt Solar -Systeme GmbH

### P.c12. Phonix SonnenStrom AG: Newtec Solar Roof Tile SDZ 36

Il sistema a moduli fotovoltaici viene montato in modo da creare l'effetto camino e pertanto una adeguata ventilazione dei moduli.

Dimensione (lu x la x h) :  
761 x505 x 51mm



Potenza e efficienza dei moduli  
36W /monocristallino; 10.2%

Numero di moduli necessari  
per un sistema da 1 kW e area  
n.28, 10,2 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 2002

Distribuzione  
in tutto il mondo ad eccezione  
dell'Australia  
4-8 settimane per la consegna

Certificazione  
IEC 61215, SKL II

Prodotto/ garanzia potenza  
10 anni/ 25 anni per l'80%  
della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW  
4 ore (tre operai)

### P.c13. Rannila: Solar Electro 64, Solar Electro 128

Una copertura metallica con integrato moduli FV in film sottile. Nella fotografia è visibile la protezione contro i fulmini.

Distributore copertura e distributore FV laminato:  
Rannila Steel Oy; Bekaert ECD Solar Systems LLC

Dimensione (lu x la x h):  
2.848 (5.486)x394 mm

Potenza  
64, 128WW/Silicio amorfo

Efficienza dei moduli  
5,1 - 5,4 %

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area  
16,8; 18,5 m<sup>2</sup>, 19,5 m<sup>2</sup> ;

Introdotta nel mercato: 2001

Distribuzione in Scandinavia, Paesi Baltici, Russia, Europa Centrale  
2 settimane per la consegna

Certificazione  
-

Prodotto/ garanzia potenza  
15 anni/  
20 anni per l'80% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW  
1 ora (copertura in metallo)



### P.c14. Rathscheck Schiefer: SolarSklent

Distributore copertura e PV laminati  
Rathscheck Schiefer e Dach-Systeme KG

dimensione (lu x la x h) :  
921 x920 x 11,5mm

Potenza e efficienza dei moduli: 55W /silicio policristallino

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area:  
n.18, 14 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 1999

Distribuzione  
in tutto il mondo  
6 settimane per la consegna

Certificazione: IEC 61215

Prodotto/ garanzia potenza  
5 anni/ 10 anni per l'90% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW: 4 ore





### P.c15. Rheinzink: Quick Step Solar PV

Distributore:

Distributore copertura e PV laminati

Rheinzink GmbH & Co. KG; vari

Tempo necessario per installare 1 kW: 4 ore

Dimensione (lu x la x h):

2000x365 x 11 mm

Potenza

63W/silicio policristallino

Efficienza dei moduli: 8,6%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.16, 12 m<sup>2</sup>

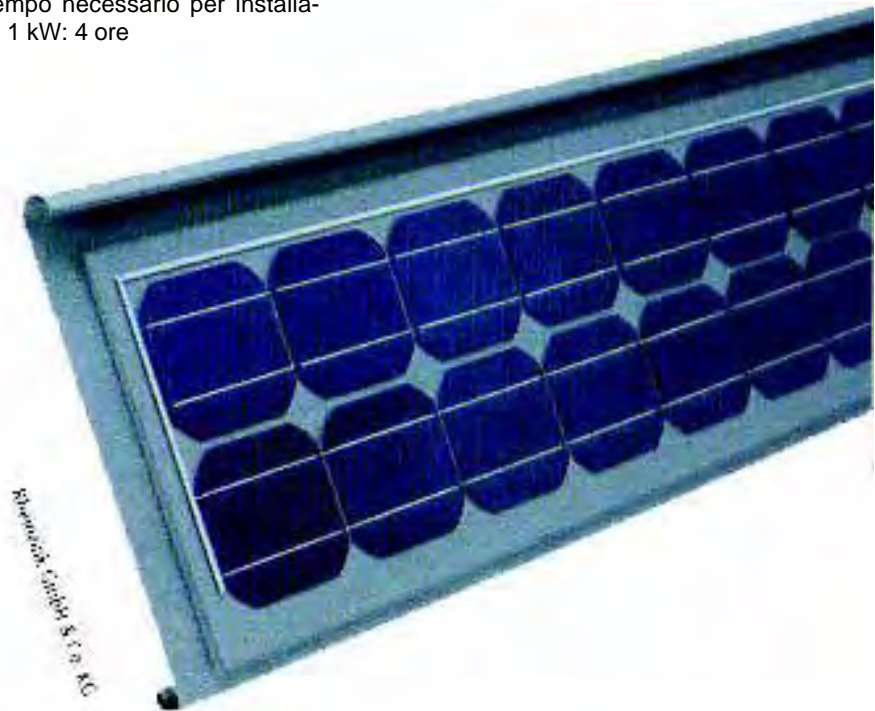
Introdotta nel mercato: 2001

Distribuzione in tutto il mondo

4-6 settimane per la consegna

Prodotto/ garanzia potenza

10anni/20 anni per l'80% della potenza nominale



### P.c16. Rheinzink: Solar PV, Stehfalz

Distributore copertura e FV laminati

Rheinzink GmbH & Co.KG;  
Bekaert ECD Solar Systems LLC

Certificazione: Ispra

Prodotto/ garanzia potenza  
10 anni/ 20 anni per l'80% della  
potenza nominale

dimensione (lu x la x h) :

3250 x430 x 4mm

Tempo necessario per installare 1 kW: 6 ore

Potenza

64 W / silicio amorfo

Efficienza dei moduli: 5.0%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.15, 20 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 2001

Distribuzione

in tutto il mondo

4-6 settimane per la consegna



### P.c17. SED ProduktionsgesmbH: Solar Roof Tile

Le tegole FV SED austriache sono realizzate con un supporto in plastica riciclata

Distributore:  
SED , Photowatt SA

Dimensione (lu x la x h):  
630x420 x 50 mm dipende da  
modello

Potenza  
10.5W/ silicio policristallino

Efficienza dei moduli: 5,5%

numero di moduli necessari per  
un sistema da 1 kW e area  
n.96, 18 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato  
2000-2002

Distribuzione in Europa  
4 settimane per la consegna

Certificazione: IEC 61215

Prodotto/ garanzia potenza  
30 anni/  
30 anni per il 75% della potenza  
nominale

Tempo necessario per installa-  
re 1 kW: 2 ore



### P.c18. SES Societ  d'Energie Solaire: SES Sunslates TM

Distributore copertura e FV lami-  
nati  
SES Societ  d'Energie Solaire SA

dimensione (lu x la x h) :  
720 x400 x 5mm

Potenza: 13W / mono e  
policristallino

Efficienza dei moduli: 10,8%

numero di moduli necessari per  
un sistema da 1 kW e area: n.77,  
10 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 2001

Distribuzione  
in tutto il mondo eccetto US e  
Canada  
8-10 settimane per la consegna

Certificazione: IEC 61215

Prodotto/ garanzia potenza  
20 anni/ 20 anni per l'80% della  
potenza nominale



### P.c19. Sesol: Quick D4

Distributore copertura e FV laminati  
Sesol Gesellschaft fur Solare Systeme mbH

dimensione (lu x la x h) :  
422 x1228 mm

Potenza  
45.5W / silicio policristallino

Efficienza dei moduli: 8,8%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.22, 10 m<sup>2</sup>

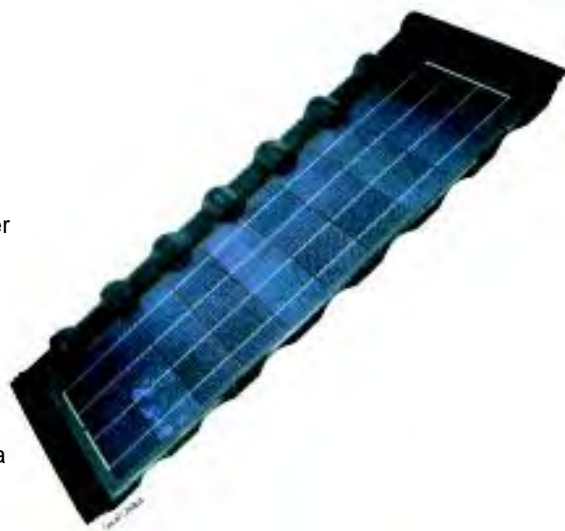
Introdotta nel mercato: 2002

Distribuzione  
Europa  
4-6 settimane per la consegna

Certificazione: IEC 61215

Prodotto/ garanzia potenza  
2 anni/ 20 anni per l'80% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW: 3 ore



### P.c20. Solara: SM 120DZ

Distributore copertura e FV laminati  
Solara AG

dimensione (lu x la x h) :  
630 x 420 x 25 mm

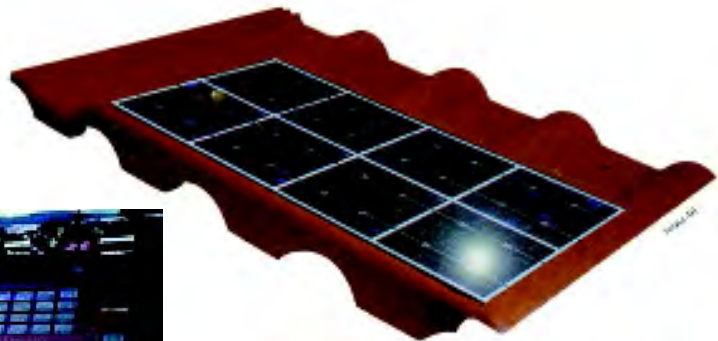
Potenza  
10.5W / silicio policristallino

Efficienza dei moduli  
14%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.96, 17 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato  
2002

Distribuzione  
in tutto il mondo  
4-6 settimane per la consegna



Certificazione: EN 490

Prodotto/ garanzia potenza  
2 anni/ 26 anni

Tempo necessario per installare 1 kW: 3 ore



## P.c21. Solarwatt:P35-16 GEG K

Distributore copertura e FV laminati  
Halbauer; Solarwatt Solar - Systeme GmbH

dimensione (lu x la x h) :  
1095 x 395 x 20 mm

Potenza  
35 W / silicio policristallino

Efficienza dei moduli: 10,9%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.28, 9 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 1998

Distribuzione: Germania  
8 settimane per la consegna

Certificazione: IEC 61646

Prodotto/ garanzia potenza  
2 anni/  
20 anni per l'80% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW: 4 ore



## P.c22. Star Unity: Sunny Tile 1m

Le tegole FV Star Unity consistono di:

- parte superiore in plastica trasparente montate nello stesso modo delle tegole tradizionali
- Modulo laminato con 27 celle inserite nell'involucro plastico
- un foglio plastico nero posto sul retro delle celle per fornire l'alloggiamento ad esse.

Ogni tegola è fornita di un diodo di by-pass ed un diodo elettroluminescente (LED) per il controllo sulla produzione elettrica di ogni unità.

Granit Systems SA

Distributore copertura e FV laminati: Star Unity AG; Raisin Asia  
dimensione (lu x la x h) :  
440 x 260 x 35 mm  
Potenza: 6 - 6.5W /monocrystallino

Numero di moduli necessari per un sistema: da 1 kW e area, n.224, 17,2 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 1996

Distribuzione in tutto il mondo: 6 mesi

Prodotto/ garanzia potenza: 2 anni  
Tempo necessario per installare 1 kW: 4 ore

Star Unity AG: Fabrik elektrischer Apparate Seestrasse 315  
8804 AU-Zurich Svizzera  
<http://www.starunity.ch>



**P.c23. 3S: MegaSlate - Swiss Sustainable Systems AG**

Distributore copertura e FV laminati  
3S Swiss Sustainable Systems Ltd

dimensione (lu x la x h) :  
1350x 940 x 8 mm

Potenza  
138 W / silicio policristallino o monocristallino

Efficienza dei moduli: 12,9%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.8, 7,2 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 2002

Distribuzione in tutto il mondo  
8 settimane per la consegna



Certificazione  
IEC 61215 /IEC 61646

Prodotto/ garanzia potenza  
10 anni/  
20 anni per l'80% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW: 4 ore



**P.c24. UNISOLAR**

Distributore copertura e FV laminati  
Thyssen Krupp Bausysteme;  
Bekaert ECD Solar  
United Solar Systems Corp.

dimensione (lu x la x h) :  
3000-600 x 400 x 25 mm;  
3015-6000x450x35mm;  
3015x455x45mm; 3015-6000x474x45mm;  
3000x1000x130mm;  
2900-5600x406 mm

Potenza  
64, 128 W e 64W -768W / silicio amorfo

Efficienza dei moduli: 3.1 -5.5%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area n.16,8; n.2-8 , 18 m<sup>2</sup> o 20 m<sup>2</sup> o 32 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 1999  
Distribuzione in tutto il mondo  
4 settimane per la consegna



Certificazione: IEC 61646

Prodotto/ garanzia potenza  
0.5 anni/ 20 anni per l'80% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW: 4 ore

United Solar Systems Corp.  
1100 West Maple Road, Troy, Michigan  
48084, United States

Distributore per l'Italia:  
Unimetal: [www.unimetal.it](http://www.unimetal.it)  
Gechelin Group: [www.gechelin.com](http://www.gechelin.com)

ThyssenKrupp: Solartec Type style(H), design(L), trend(T), classic(S),

Il sistema di copertura fotovoltaico Uni- Solar in metallo è un sistema completo, i singoli moduli si installano come le coperture tradizionali in metallo. I moduli sono composti da strati multipli in silicene amorfo laminato con un polimero legato al metallo resistente agli agenti atmosferici. Il colore dei moduli è grigio scuro e sono bloccati insieme da un sistema di bloccaggio tra i profili verticali.

THYSSEN-Solartec® è un sistema completo per tetti o facciate composto da lamiere d'acciaio zincate a nastro e rivestite in plastica su entrambi i lati con una pellicola solare UNISOLAR® sovrallaminata. Questo sistema sostituisce completamente la copertura convenzionale, non è necessario alcun orientamento o altro tipo di onere. Il sistema si adatta benissimo a nuove costruzioni, ma anche a rifacimenti di tetti e facciate. THYSSEN-Solartec® è disponibile in 2 modelli di potenza e può essere posato in base al tipo sia in orizzontale che in verticale.

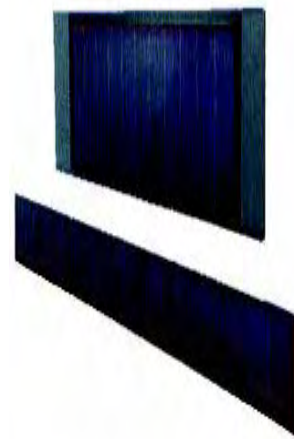
La realizzazione della tecnica di cellule a tre strati consuma molto meno risorse ed energie rispetto alla realizzazione di cellule cristalline ed ha i seguenti vantaggi:

- maggiore sensibilità blu-verde delle cellule, vale a dire maggiori rendimenti annuali anche in caso di condizioni di illuminazione diffusa
- buon rendimento anche con ombreggiatura parziale grazie all'impiego di diodi da bypass
- minor calo della potenza in caso di temperature elevate
- rendimento annuale superiore al 20% rispetto ai sistemi FV tradizionali

Il laminato solare UNISOLAR® è composto da 3 cellule sovrapposte. Ognuna di queste cellule è sensibile ad un campo spettrale diverso della luce diurna consentendo in questo modo un rendimento energetico migliore. Un impianto THYSSEN-Solartec®-FV può essere dimensionato ad esempio con soli 4 kWp al posto di 5 kWp per raggiungere lo stesso rendimento annuale (kWh/a) di un tradizionale impianto FV.

I moduli possono essere fissati anche come struttura esterna per ampie costruzioni di tetti e pareti, ma anche direttamente sulla sottocostruzione della tradizionale ossatura del tetto. Il cablaggio elettrico è eseguito durante il montaggio con due semplici connettori per ogni modulo. Le singole cellule sono connesse fra loro già durante la produzione. Il numero esiguo delle connessioni elettriche necessarie comporta una notevole semplificazione del montaggio ed aumenta la sicurezza di funzionamento.

I modelli Solartec- design, trend e classic sono disponibili in due modelli di potenza da 64 Wp e 128 Wp. Il modello style è disponibile da 64 Wp.



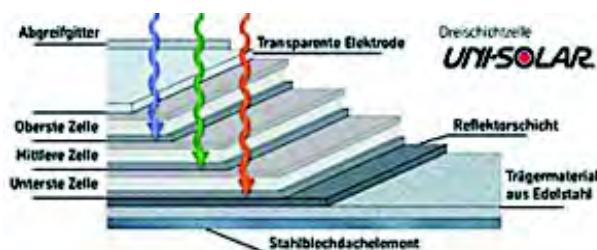
THYSSEN-Solartec® style



THYSSEN-Solartec® design



THYSSEN-Solartec® classic



Esempio della stratificazione del modulo Unisolar

Esempio di montaggio per copertura



## P.c25. Helios Technology srl

Moduli costituiti da 40 celle ad alta efficienza I-Max da 165x165 mm di silicio monocristallino con cornicie di alluminio anodizzato con quattro fori asolati ed una scatola di giunzione stagna con grado di protezione IP65, che contiene 4 diodi di by-pass e morsetti di connessione.

Certificazione: CEI/IeC 612115  
Centro ricerche Ispra TUT classe di protezione II

Helios Technology srl Via  
Postumia Carmignano di  
Brenta PD  
info@heliostechnology.com  
www.heliostechnology.com

dimensione (lu x la x h) :  
1700x690x34+1mm

Potenza  
140 W / silicio monocristallino

Efficienza dei moduli: 14-15%

numero di moduli necessari per  
un sistema da 1 kW e area  
circa n.7 7,14 m<sup>2</sup>

Distribuzione  
Europa



## P.c26. Maximpianti srl

Distributore copertura e FV laminati  
Maximpianti srl

pass e cavi da 4mmq  
Coefficiente di trasparenza 56%,  
peso: 85 kg circa

Maximpianti srl Via Verdi 10 20047  
Brugherio MI info@maximpianti.com  
www.maximpianti.com

Moduli fotovoltaici standard  
Moduli fotovoltaici personalizzati: -  
- vetro /vetro: le celle vengono incapsulate in due lamine di vetro;  
- vetrocamera: le celle fotovoltaiche, una volta incapsulate tra due lamine di vetro vengono assemblate nel vetrocamera

Potenza  
200W (+/-5%)  
silicio policristallino

Tensione al punto di max potenza (Vmp): 30,3 V  
Corrente al punto di max potenza (Imp): 6,6A; tensione a vuoto 37V  
Corrente di corto circuito (Isc):7,2A

Tipo vetro/vetro elevata trasparenza con 60 celle di 156x156 mm

dimensione (lu x la x h) :  
2470 x1090 x 13,5 mm  
vetro anteriore 6 mm temperato a basso contenuto di ferro  
vetro posteriore 6mm stratificato  
Sistema di connessione: 2 scatole di giunzione inclusi diodi di by-



## P.c27. Fornace Fonti srl

Tegole integrate con moduli fotovoltaici Isofoton e Sunpower. Tegola integrabile anche in un secondo momento rispetto alla fase di montaggio del tetto, con pannello fotovoltaico da 8 a 12 Wp

Componenti del sistema

- tegola di laterizio tipo DF3 di dimensione 46x43 cm;
- pannello fotovoltaico di dimensioni 125x125 mm, con 4 celle con potenza nominale pari a 12 Wp Sunpower;

- terminazione: inverter di classe adeguata alla potenza della potenza installato;
- vetro di copertura frontale temprato ad alta trasmittanza, spessore 3mm;
- copertura posteriore in Tedlar e fogli di EVA (etilene vinilacetato);
- sistema di ancoraggio alla copertura tipico delle tegole

Sistema composto da 9 moduli collegati in serie.

Dimensioni: 295mmx280x4mm  
n.celle 36 da 125x125 mm;  
Temperatura operativa; -40°C  
+85°C.

Caratteristiche elettriche del modulo fotovoltaico:

Potenza: 72 Wp

tensione al punto di massima potenza 17,5V

corrente al punto di massima potenza 4,3A;

Tensione a circuito aperto: 23,8V

Corrente di corto circuito 4,8 A

Fornace Fonti srl Via Giotto 41 Grignano Polesine - RO info@fornacefonti.it www.fornacefonti.it



## P.c28 POWERPICA

La tegola solare ha le dimensioni di cinque tegole di terracotta tradizionali; è formata da un telaio alle quali sono fissati moduli fotovoltaici. Sulle tegole Pica è possibile applicare diversi sistemi di ancoraggio per i moduli FV

Moduli PowerWatt

dimensione (lu x la x h) :

1310x 355 x 4 mm superficie 0,5 mq pari a 5 tegole;

celle disposte su 3 file parallele da 12

Potenza: 50W /policristallino

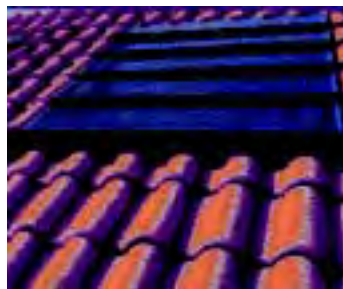
tensione circuito chiuso 3,1 A;

tensione circuito aperto 21,6 V;

rendimento cella 13,6%

Componenti del pannello:

Moduli fotovoltaici PowerWatt con laminazione in cristallo a 36 celle di dimensioni 100x100mm più un film polivinilfluoruro; 4 profili con plissettatura; inverter, quadro elettrico con dispositivi di protezione e comando



Industrie PICA SPA Strada Montefeltro 83 61100 Pesaro info@pica.it







## P.c31. GAMBALE

Il Coppo fotovoltaico Gambale è stato sviluppato con contratto di consulenza dal Politecnico di Milano, Dipartimento di Energetica. I moduli fotovoltaici sono composti da celle di silicio policristallino in grado di trasformare la radiazione solare in energia elettrica.

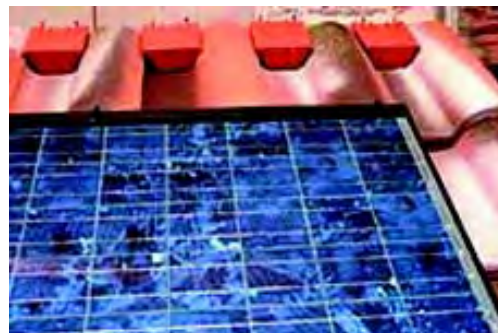
E' complanare al manto di copertura e non sopraelevato. Studiato per tegole ad alto raggio di curvatura, oltre alla notevole valenza estetica sviluppa la massima retroventilazione dei moduli fotovoltaici

E' veloce e pratico da posare senza forare il manto di copertura e senza staffe di fissaggio. Può essere installato nel nuovo come nell'esistente. E' dotato di doppio sistema fluidodinamico di circolazione dell'aria: un flusso inferiore consente la continuazione, senza interruzioni,

della microventilazione sottotegola, evitando così fenomeni di condensa; un flusso superiore, fra il supporto e il modulo fotovoltaico, consente la retroventilazione dei moduli stessi garantendone un'ottimizzazione del rendimento.

### Gambale Tegole Group

C.so Italia, 538 - 44043  
Mirabello (Ferrara) Italy  
Tel. +39 0532 849714 (r.a.)  
Fax +39 0532 849545  
P. IVA 01472900388  
e-mail:  
[info@gambaletegole.com](mailto:info@gambaletegole.com)



## P.c32. Gechelin Group

La Gechelin Group Srl, nata nel 1980, è un'azienda leader nella produzione di componenti e sistemi fotovoltaici, grazie alla sua esperienza tecnica, alla qualità dei prodotti e ad un completo servizio clienti. La costante innovazione, l'elevato standard qualitativo, una collaudata progettazione computerizzata ed una complessa serie di prove di funzionalità e durata nei propri laboratori consentono di ottenere un notevole grado di affidabilità. Alla base di questo successo, oltre a una proficua filosofia aziendale, sta il fatto di aver intuito per tempo la necessità di creare una gamma completa di componenti e accessori specificamente studiati per sistemi fotovoltaici.

Montaggio moduli photowatt, unisolar flessibili serie LA

Gechelin Group Srl  
Via Ticino 16  
36016 Thiene / Vicenza (Italia)  
Tel: (+39) 0445.380.050 r.a.  
Fax: (+39) 0445.381.020  
e-mail: [info@gechelin.com](mailto:info@gechelin.com)  
[www.gechelin.com](http://www.gechelin.com)



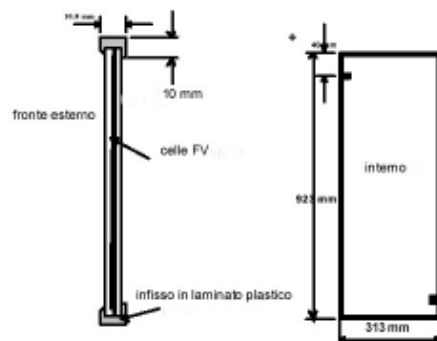
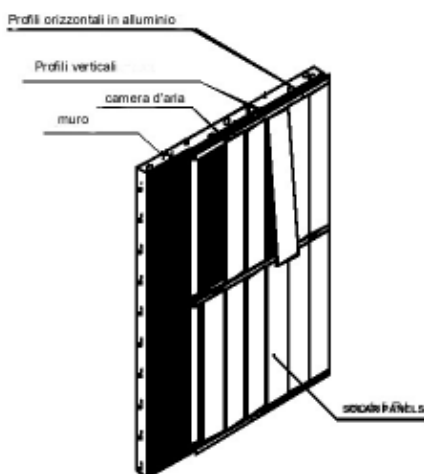


## *Produzione moduli FV per facciate*

- P.f.1. NAPS
- P.f.2. Saint Gobain - SGG Prosol
- P.f.3. Solare System Technik
- P.f.4. Schüco International PV Façades
- P.f.5. Phototronics Solartechnik PV Façade
- P.f.6. PILKINGTON Solar International - Optisol facciata solare
- P.f.7. Atlantis Solar Systems Ltd
- P.f.8. Gartner
- P.f.9. SJ SYSTEM
- P.f.10. EPV Glass Roofs
- P.f.11. DAIDO Hoxan/Kajima/Showa Shell
- P.f.12. Colt 'Shadovoltaic Wing'
- P.f.13. Metra- Poliedra sky 50
- P.f.14. Kawneer PV SunShade

## P.f1. NAPS

Modulo in silicio amorfo adatto per facciate vetrate, montato su un supporto semplice e non costoso. Il sistema è adatto per edifici di nuova costruzione oppure sostituzioni di porzioni di facciata vetrata in casi di ristrutturazione. I moduli sono montati in modo che verticalmente siano distanziati di 2 cm. Solitamente in orizzontale, si tende a posizionare gruppi di 10 moduli per formare 1 stringa. Il sistema di ancoraggio dei moduli consente di avere una camera d'aria per ventilare le celle.



Distributore: NAPS International  
 dimensione (lu x la) :  
 923 x 313 mm  
 Potenza: 12W /amorfo  
 Peso: 4,2 kg  
 Numero di moduli necessari  
 per un sistema da 1 kW e area:  
 n.8,3, 24,6 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 1996

NAPS International- Customer  
 Service Centre  
 Sähkötie 8, FIN-01510 Vantaa,  
 Finland

## P.f2. Saint Gobain - SGG Prosol

I moduli FV SGG Prosol sono disponibili in diverse dimensioni e configurazioni. Le celle montate sulle vetrate SGG possono essere di colore blu, grigio, nere, argento e bronzo. I moduli di vetro sono dotati di isolamento termico, antirumore, vetrate di sicurezza, decorative e vetrate strutturali.

I pannelli possono avere diverse forme, rettangolare, trapezoidale o triangolare. Le dimensioni sono molteplici da un minimo di 300mmx300mm ad una dimensione massima è di 2000x3210mm, lo spessore varia, il minimo è di 4 mm vetro/2mm resina/4mm vetro.

Possono essere utilizzate due tipi di celle:

- monocristalline, e si possono avere nei colori: nero, argento e blu. Sono i tipi più efficienti, convertono più del 16% di energia solare in corrente elettrica.

- multicristalline, di dimensione di 100x100 mm. Ci sono di differenti colori, grigio, blu, bronzo e argento. Esse convertono più del 14% di energia solare in elettricità. La distanza tra le celle può variare, al minimo sarà di 2mm.

Le celle utilizzate sono:

Siemens 3.1A, 4.1A, Hoxan, Kyocera e Photowatt



Distributore:  
 Saint-Gobain Glass Solar  
 con celle FV;  
 Siemens, ASE,  
 Kyocera o Photowatt  
 Certificazione: si

Saint-Gobain Glass Solar  
 Julicher Str. 495  
 D-52070 Aachen  
 Germany  
[www.saint-gobain-glass.com](http://www.saint-gobain-glass.com)



### P.f3. Solare System Technik

Solare System Technik in Friburgo ha ormai 10 anni di esperienza nel settore dell'integrazione architettonica del fotovoltaico. Le facciate sono realizzate con i moduli FV in modo da inserirsi nella struttura realizzata per la parte non fotovoltaica.

Solitamente questi moduli sono montati con strutture di una compagnia francese Strutture Rinaldi. Il Centro solare di Friburgo utilizza questa soluzione.

Distributore vetrata e FV laminati  
Solare System Technik GmbH, ASE

dimensione (lu x la):  
1770 x 1225 mm inseriti in moduli di facciata 5950x1225 mm oppure 2500x2000mm inseriti in

moduli di facciata di 9000x2500 mm

Potenza e tipo  
875W /monocristallino o policristallino vetro/vetro ASE

Certificazione: si

Prodotto/ garanzia potenza  
30 anni e FV 10-25 anni

Solare System Technik GmbH  
Christaweg 42, 79114 Freiburg Germany



### P.f4. Schüco International PV Façades

Schüco International produce una certa varietà di facciate integrate con celle fotovoltaiche. I moduli sono prodotti anche con celle distanziate dai 3mm ai 25mm, inserite all'interno di due vetri altamente trasparenti, i sistemi disponibili sono il CW70 e CW80. FW80 e SK60V per le facciate strutturali. Possibilità di utilizzare anche celle colorate.

Distributore copertura e FV laminati  
Schüco International

dimensione (lu x la x h) :  
1350x 940 x 8 mm

Potenza  
138 W / silicio policristallino, monocristallino e amorfo

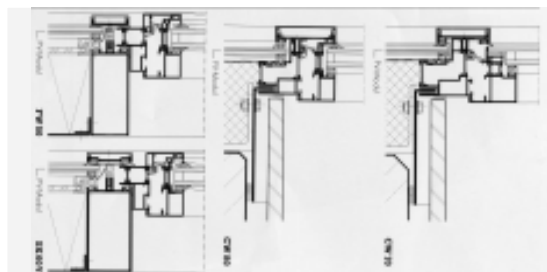
Efficienza dei moduli: 12,9%

numero di moduli necessari per un sistema da 1 kW e area: 8, 7,2 m<sup>2</sup>

Certificazione  
IEC 61215 /IEC 61646

Prodotto/ garanzia potenza  
10 anni/ 20 anni per l'80% della potenza nominale

Tempo necessario per installare 1 kW: 4 ore



Schüco International KG  
Whitehall Avenue  
Kingston, Milton Keynes  
MK10 0AL, UK

Schüco International Italia srl  
via della Provvidenza 141  
35030 Sarmeola PD tel  
0498226990 info@schueco.it  
www.schueco.it

### P.f5. Phototronics Solartechnik PV Façade

I moduli PhotoSolartechnik GmbH utilizzano la tecnologia del film sottile ASI, i moduli sono opachi ma è possibile averli, su richiesta, anche semitrasparenti. I moduli sono senza telaio in modo che possano essere applicati nelle strutture di vetro con profili e guarnizioni.



Distributore copertura e FV laminati  
PhotoSolartechnik GmbH, moduli ASI

dimensione (lu x la):  
fino a 2400 x 2000 mm

Certificazione  
si

PhotoSolartechnik GmbH, Hermann-Oberth-Strasse 9  
D-8011 Putzbrunn, Germany

### P.f6. PILKINGTON Solar International - Optisol facciata solare

I moduli Optisol sono realizzati con celle in silicio amorfo o cristallino. La trasparenza delle celle è variabile da 0 al 20%. Questo tipo di moduli sono adatti per facciate, frangisole e coperture.

Distributore copertura e FV laminati  
PILKINGTON Solar International GmbH

dimensione (lu x la) :  
da 400x 400 mm a 2000x 3200 mm

Tipo di celle  
silicio amorfo, policristallino o monocristallino

PILKINGTON Solar International GmbH  
Mühlengasse 7, D-50667 Köln, Germany



P.f7. Atlantis Solar Systems Ltd

Particolare dei componenti di facciata integrati con FV è che i vetri utilizzati sono trattati con un sistema di colorazione parzialmente riflettente in modo da avere un buon effetto cromatico.

Distributore copertura e FV laminati  
Atlantis Solar

dimensione (lu x la):  
varie dimensioni fino a 1500 x 2000 mm

Atlantis Solar Systems Ltd  
Lindenrain 4, 3012 Bern  
Switzerland



P.f8. Gartner

La Gartner produce facciate continue in alluminio e acciaio. Un tipo di facciata realizzata da Gartner è l'edificio dell'Stadtwerke di Aachen AG. La vetrata utilizza moduli Optisol. Una facciata semitrasparente e celle fotovoltaiche di colore blu. Questa unione consente di ottenere un ottimo effetto architettonico sia interno che esterno; all'esterno la facciata sembra una scacchiera di cristalli blu e all'interno si ottengono particolari effetti di luce. Questo è uno dei numerosi effetti prodotti da Gartner.

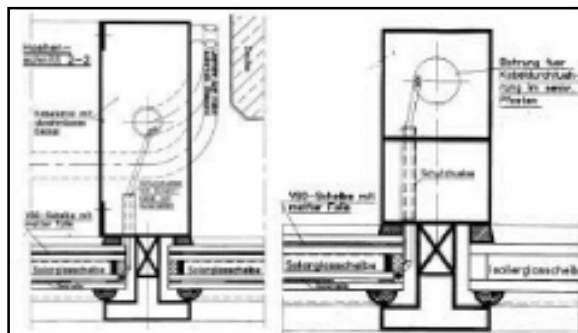
Questa facciata è stata realizzata in doppi vetri, con le celle FV inserite all'interno, con il vetro più interno è trattato con vernice semiriflettente. Tra le due vetrate è stato inserito un gas per aumentare l'isolamento termico.

Le vetrate possono essere realizzate con profili optipure senza a seconda del disegno del cliente, pertanto non ci sono dimensioni standard dei moduli.

Distributore copertura e FV laminati: Josef Gartner & Co

Certificazione: Sì  
Prodotto/ garanzia potenza  
10 anni/ 30 anni per l'80% della potenza nominale

Josef Gartner & Co, Gartnerstrasse 20  
Postfach 2040, 89421 Gundelfingen, Germany





## P.f9. SJ SYSTEM

Il sistema SJ è una facciata ventilata, fredda, con vetri da 10 mm di sicurezza, trattati sul retro. Ogni pannello è collegato in 4 punti ad una struttura in acciaio di elevata robustezza. La facciata ha un sistema di aperture per la circolazione dell'aria cosicchè i moduli sono ventilati e raffrescati. I moduli sono gli Optisol di Pilkington.

Distributore copertura e FV laminati: Schuler & Jatzla, Pilkington

dimensione (lu x la x h) :  
440 x 260 x 35 mm

Potenza: 6 - 6.5W /  
monocristallino

Efficienza dei moduli

numero di moduli necessari  
per un sistema da 1 kW e

area: 224, 17,2 m<sup>2</sup>

Introdotta nel mercato: 1996

Distribuzione in tutto il mondo:  
6 mesi

Prodotto/ garanzia potenza  
5-10 anni

Tempo necessario per installare 1 kW

Schuler & Jatzlau  
Planungsgesellschaft  
Bürohaus am See  
Am Brühl 17,  
40878 Ratingen



## P.f10. EPV Glass Roofs

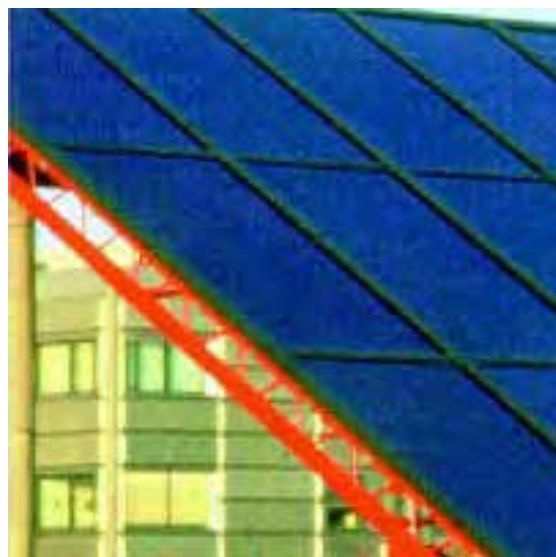
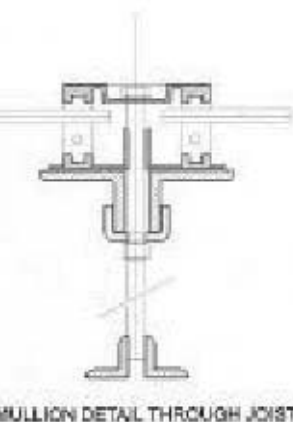
I moduli FV sono fissati ad una struttura di supporto in profili metallici.

L'impermeabilizzazione è garantita da strisce di neoprene montate tra i moduli e la struttura di sostegno. I moduli sono realizzati in silicio amorfo e sono adatti per qualsiasi edificio con pendenza superiore ai 15°. Il cablaggio è interamente inserito nei montanti e pertanto protetto e non visibile.

Distributore copertura e FV laminati EPV

Tipo celle FV  
vetro/ vetro e celle in silicio  
amorfo

Certificazione  
IEC 61215 / IEC 61646



EPV, Energy Photovoltaics  
P.O. Box 7456  
Princeton, NJ 08543, USA

P.f11. DAIDO Hoxan/Kajima/Showa Shell

La Daido produce diverse soluzioni per facciate e coperture, utilizzando moduli in policristallino e amorfo. I moduli possono avere misure e tipologie diverse secondo l'uso.

Prodotto/ garanzia potenza: 20 anni

Shogo Nishikawa  
Technology Development Laboratory  
Kandenko Co., Ltd  
2673-169 Shimoinayoshi Nishiyama  
Chiyodamachi  
Nihari-gun Ibaraki-ken 315 Japan



P.f12. Colt 'Shadovoltaic Wing'

I frangisole in vetro della Colt hanno il duplice vantaggio di produrre energia e ombreggiare al tempo stesso. Generalmente i frangisole FV della Colt sono mobili, montati su un profilo tubolare in grado di ruotare per inseguire l'orientamento ottimale, la movimentazione avviene tramite un motorino, azionato sempre dai moduli FV. Il telaio è realizzato in alluminio ed il meccanismo di movimentazione è in acciaio.

I moduli sono realizzati con 6mm di vetri da 5mm con ESG temperato con 4 fori per il sistema di montaggio.

Distributore copertura e FV laminati  
Colt Solar Technology AG

I moduli FV possono essere realizzati sia in mono che policristallino

Colt Solar Technology AG -  
Ruessenstrasse 5, CH-6340 Baar,  
Switzerland



E' possibile avere tre differenti configurazioni:

	sist 1	sist2	sist3
Distanza tra i supporti (mm)	2500	1760	1500 max
lunghezza pannello in vetro (mm)	2400	1680	1450 max
larghezza pannello in vetro (mm)	290-408	280-420	520 max
spessore pannello in vetro (mm)	8-10	8-10	16 max
angolo di rotazione pannello in vetro (°)	110	110	80
attivatore pannello in vetro (mm)	20	20	21

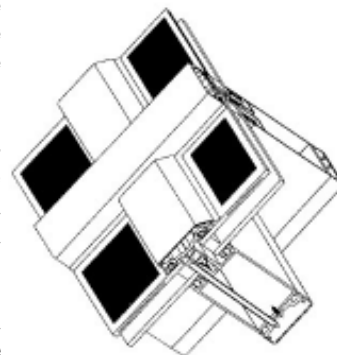
### P.f13. Metra Poliedra sky 50

Il sistema Poliedra-Sky 50 Fotovoltaico si inserisce nel contesto evolutivo del sistema Metra Poliedra-Sky 50 per l'edilizia e consente la progettazione di facciate continue che rispondono alle aspettative di progettisti, costruttori ed utenti finali che vogliono ottimizzare le prerogative energetiche, architettoniche ed ambientali del sistema integrato alluminio-fotovoltaico.

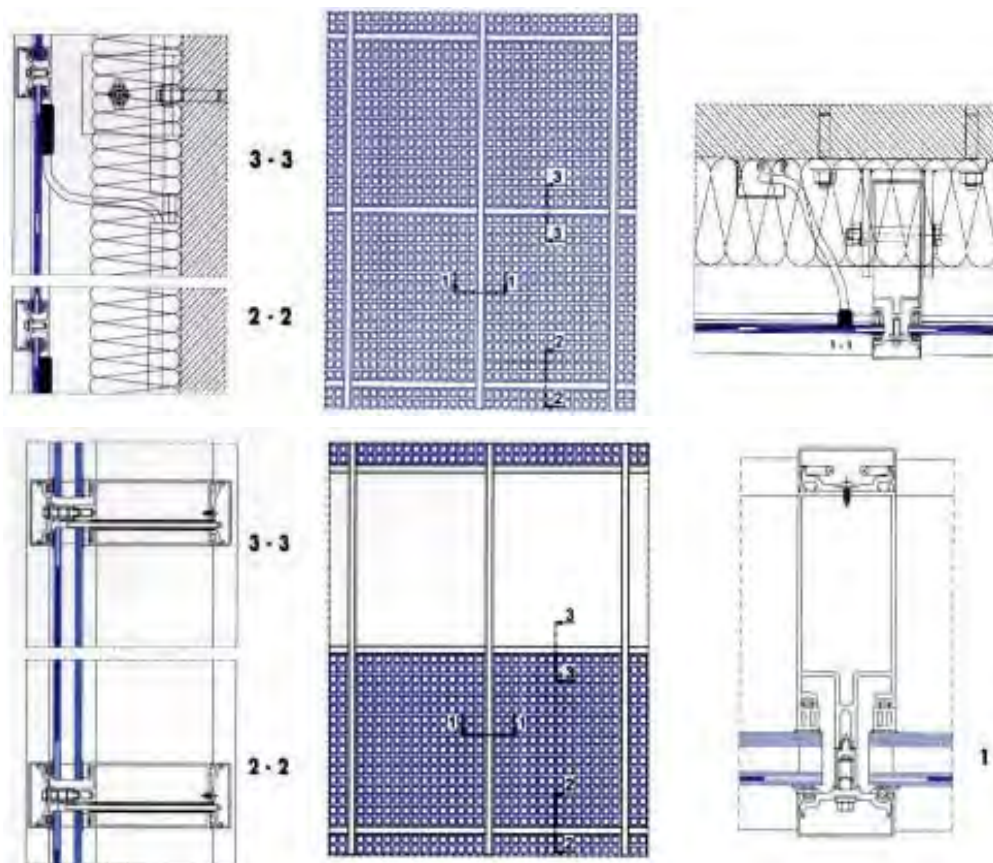
Al sistema oltre alla tradizionale funzione di barriera tra ambiente esterno e interno viene assegnato il compito di produrre energia elettrica dalla radiazione solare. Per le sue caratteristiche il sistema Poliedra-Sky 50 Fotovoltaico può essere utilizzato in tutte le tipologie edilizie esistenti o da realizzare, integrandosi perfettamente in qualsiasi tipo di ambiente.

Il sistema Poliedra-Sky 50 Fotovoltaico concettualmente si può dividere in tre parti: Moduli fotovoltaici; struttura in alluminio (Poliedra-Sky 50); impianto elettrico. Nella realtà le tre parti sono integrate tra di loro infatti i moduli fotovoltaici vengono sostenuti dalla *struttura in alluminio Poliedra-Sky 50*, la quale alloggia anche i cavi di collegamento tra i moduli e gli altri componenti

dell'impianto elettrico collegati alla rete di distribuzione. I moduli (descritti nei capitoli precedenti) generalmente usati per il sistema Poliedra-Sky 50 fotovoltaico, hanno una superficie captante di 1 m<sup>2</sup>, costituita da 64 celle monocristalline (=14p%) o policristalline (=12%) di 123 x 123 cm. I moduli possono essere, maneggiati, montati e utilizzati alla stesso modo di un normale vetro, senza alcun intervento particolare sulla struttura di alluminio. La facciata continua fotovoltaica mantiene le caratteristiche tecniche del sistema base montanti e traversi Poliedra-Sky 50. Il pannello di tamponamento (normalmente costituito da un vetro o pannello opaco) del sistema Poliedra-Sky 50 sostituito con il



sezione assometrica della facciata FV



METRA S.P.A.  
Via Stacca 1  
25050 Rodengo  
Saiano, Brescia  
Italia  
www.metra.it



modulo fotovoltaico e i cavi di collegamento tra i vari componenti elettrici che vengono alloggiati all'interno dei traversi e montanti praticando degli opportuni fori, non compromettono le garanzie di tenuta all'aria, acqua e resistenza al vento e l'isolamento termico e acustico del sistema base.

L'impianto elettrico della facciata fotovoltaica, partendo dai moduli fotovoltaici e così costituito: scatola di collegamento, centralina di derivazione, inverter e collegamento con la rete elettrica. La linea di collegamento dei moduli viene realizzata con cavi resistenti ai raggi ultravioletti a doppio isolamento, adatti per ambienti a temperature elevate, non infiammabili e resistenti agli agenti atmosferici. La scatola di collegamento dei moduli è posizionata immediatamente dietro i moduli della facciata per consentire collegamenti più corti possibili. In essa i moduli sono collegati tra loro in serie per aumentare la tensione del sistema fotovoltaico.

La centralina di derivazione raccoglie in parallelo le linee provenienti dalle scatole di collegamento; questo permette di aumentare l'intensità di corrente. La centralina contiene: dei diodi che separano le varie linee tra loro per evitare un riflusso di corrente verso cellule difettose o in ombra; dei limitatori per i picchi di tensione e dispositivi di sicurezza. La centralina viene installata nell'edificio in un luogo accessibile per controlli e misurazioni. L'impianto fotovoltaico, se di medie e grandi dimensioni, viene suddiviso in più generatori (o sottocampi) a cui fa capo un inverter, dispositivo che trasforma la corrente continua ottenuta dalle celle in corrente alternata e sincronizza la frequenza a 50 Hz. La suddivisione in più generatori permette la migliore gestione dell'impianto in caso di manutenzione o guasti. I moduli, tramite le scatole di collegamento e le centraline di derivazione, sono collegati in serie ed in parallelo in modo da raggiungere la tensione e l'intensità di corrente adeguati per l'alimentazione dell'inverter.

#### **P.f14. Kawneer PV SunShade**

I frangisole Kawneer sono realizzati con un sistema leggero di sostegno in alluminio, in modo da rimanere aggettanti rispetto alla facciata dell'edificio. La struttura di supporto è realizzata da estrusi in alluminio con una finitura anodizzata o verniciata, entrambi i sistemi utilizzano entrambi vernici a base di polvere fluoropolimera.

Distributore copertura e FV laminati  
Kawneer Company, Inc.

dimensione moduli FV :  
variabili, la lunghezza varia da 1200 mma 2000 mm e la larghezza da 300 a 750 mm.

Prodotto/ garanzia finitura  
2 anni/ 20 anni

Tempo necessario per installare 1 kW: 4 ore

Kawneer Company,  
Inc.Technology Park / Atlanta  
555 Guthridge Court  
Norcross, GA 30092  
USA  
[www.Kawneer.com](http://www.Kawneer.com)



## Profili di sostegno per coperture inclinate



- P.s.1. BP Solar 'Sun in a Box'
- P.s.2. Klober Solartrager System
- P.s.3. ALU-TEC SYSTEM
- P.s.4. Ecofys
- P.s.5. Profili IBC
- P.s.6. ZSW
- P.s.7. MSK (elementi per coperture)
- P.s.8. Profili Schweizer
- P.s.9. Alu - Pero System
- P.s.10. BOAL
- P.s.11. Solrif (Solar Roof Integration Frame)
- P.s.12. ASE Integral Kit
- P.s.13. Pride System
- P.s.14. Canon
- P.s.15. Intersole Systemm
- P.s.16. RegEN Solardach
- P.s.17. EETS- Energy Equipment Testing Service

## P.s1. BP Solar 'Sun in a Box'

Il sistema "Sun in a Box" è un kit completo per l'installazione di coperture FV su tetti a falda in edifici residenziali. Questo sistema viene fornito con moduli BP Solar BP585 ad alta efficienza che sono disponibili in diverse dimensioni.

Il sistema di collegamento alla struttura del tetto è semplice. I moduli sono collegabili a gruppi di 10.

Distributore copertura e FV laminati

BP Solar

dimensione (lu x la) :  
2750x2500 mm

Tipo di celle  
da 0.85 a 5.1kWp / silicio monocristallino

Efficienza dei moduli  
12,9%

Distribuzione  
in tutto il mondo  
3 settimane per la consegna

Prodotto/ garanzia potenza  
10 anni/

tempo di installazione del kit:  
1 giorno

BP Solar  
PO Box 191  
Chertsey Road  
Sunbury-on-Thames  
Middlesex TW16 7XA  
United Kingdom

Descrizione del sistema	SES 750	SES 1500	SES 2250	SES 3000	SES 3750	SES 4500
Massima potenza (kW <sub>p</sub> )	0.85	1.7	2.55	3.4	4.25	5.1
BP585L moduli	10	20	30	40	50	60
tegole FV	4	6	9	12	15	18
area (m <sup>2</sup> )	7	13	20	26	33	40
Peso della scatola (kg)	123	246	369	492	615	738



## P.s2. Klover Solartrager System

La tedesca Klover produce una numerosa varietà di tegole per coperture realizzate con una piastra in metallo posta sul lato superiore in modo da poterci collegare i profili ad U ai quali applicare i moduli FV, sul retro invece c'è un'altra piastra con degli elementi atti ad essere agganciati all'orditura secondaria in legno della copertura. La struttura ad U ha una lunghezza di 215 mm e larga 140mm e profonda 90mm.

Questa soluzione viene utilizzata per coperture inclinate tra 20° e 50°.

Distributore copertura e FV laminati  
Klover Limited

Prodotto/ garanzia potenza  
30 anni

Tempo necessario per installare 1 kW  
4 ore

Klover Limited  
Pear Tree Industrial Estate  
Upper Langford  
North Somerset, BS18 7DJ United Kingdom





### P.s3. ALU-TEC SYSTEM

Il sistema Alu-Tec è stato realizzato per montare moduli FV su coperture esistenti. Il montaggio dei moduli avviene velocemente senza bisogno di altri supporti. La struttura è in alluminio ed è progettata per sostenere moduli standard.

Tempo necessario per installare 1 kW  
4 ore

TEMTEC  
Luzernerstr. 15  
5040 Schoftland, Switzerland



Distributore  
TEMTEC

Dimensioni:  
Questo sistema può essere utilizzato con qualsiasi tipo di moduli con uno spessore massimo di 15 mm. La lunghezza massima per i profili in alluminio è 6.5 m.

Prodotto/ garanzia potenza  
30 anni/



### P.s4. Ecofys, struttura per coperture inclinate

Il sistema Ecofys è stato realizzato per l'integrazione architettonica del FV su coperture inclinate. Questa soluzione consente di avere un montaggio di moduli standard in modo da ottenere una ottima tenuta all'acqua. Il sistema è leggero e facile da installare. Questa struttura è realizzata totalmente con materiale riciclato al 100%. Nel caso di installazione per una ristrutturazione, il manto di copertura deve essere rimosso e sostituito dai nuovi montanti ai quali saranno applicati i moduli FV.

Tempo necessario per installare 1 kW: 4 ore

Ecofys  
Postbus 8408  
3503 RK Utrecht  
The Netherlands



Distributore copertura e FV laminati  
Ecofys

Prodotto/ garanzia potenza  
2 anni



## P.s7. MSK (elementi per coperture)

Il sistema MSK consiste dei seguenti elementi:

- moduli FV con guide per ancoraggio
- connettori, cablaggi e scatola di connessione
- 1 inverter, elementi di sicurezza e apparecchiature di controllo.

I telai dei moduli sono stati progettati per essere sovrapposti uno sull'altro a partire dal colmo in in gronda e fissati ad una struttura in alluminio con tenuta all'acqua. I moduli sono realizzati in vetro/Tedlar laminato con celle in policristallino. Il telaio di sostegno è in alluminio anodizzato. I moduli FV sono ventilati sulla parte retrostante e sulla sommità. I moduli in silicio policristallino blu sono montati su profili di colore nero in alluminio anodizzato.

Distributore copertura e FV laminat: MSK  
 dimensione (lu x la) : 9100x9100 mm  
 Potenza: 82Wp a 23V / silicio policristallino blu  
 peso: 10kg  
 Distribuzione: Giappone  
 Prodotto/ garanzia potenza 10 anni  
 MSK Corporation  
 Sumitomo Bldg 19F  
 6-1 Nishi-Shinjuku, 2-Chome  
 Shinjuku-ku  
 Tokyo 163-02, Japan

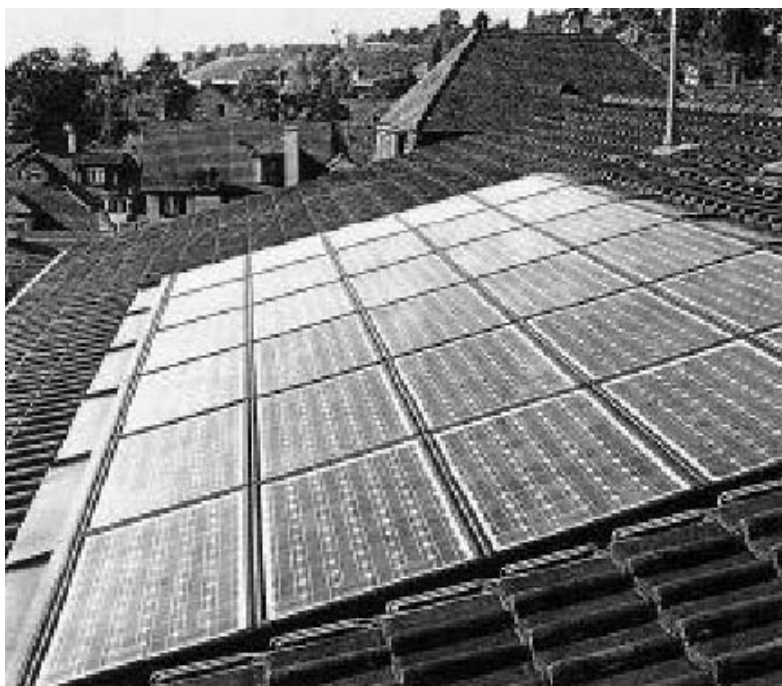


## P.s8. Profili Schweizer

I profili Schweizer hanno tenuta all'acqua e sono realizzati in alluminio, i moduli FV sono alloggiati nei profili e tenuti insieme da guarnizioni. I profili sono trattati con finitura plastica EPDM. E' importante utilizzare moduli con celle che abbiano almeno 15 mm di distanza dal telaio.  
 Distributore: Schweizer

dimensione (lu x la x h) :  
 1000- 3000 x 1000-3000x 10 mm

Schweizer Metallbau AG - Ch 8908  
 Hedingen, Switzerland





## P.s9. Alu - Pro System

Il sistema Alu-Pro consiste di un profilo in alluminio progettato per alloggiare moduli FV standard. I moduli FV da utilizzarsi non devono avere spessore superiore a 4mm senza telaio e una lunghezza massima di 10 m.

I profili sono in alluminio e vengono collegati direttamente sulla struttura di copertura, i moduli FV sono alloggiati tra di loro e fissati in modo da garantire l'impermeabilizzazione.

Distributore copertura e FV laminati  
TEMTEC

Certificazione  
IEC 61215 /IEC 61646

Prodotto/ garanzia potenza  
25 anni

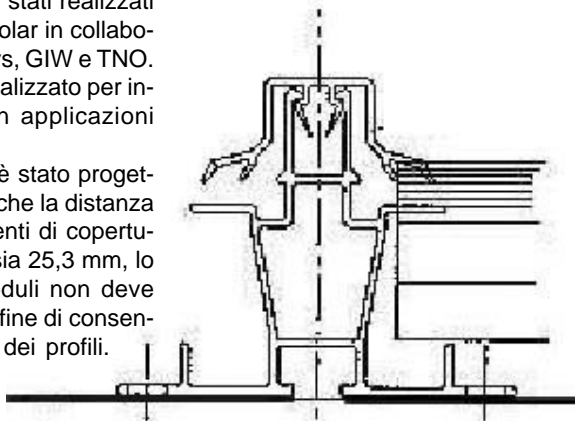
TEMTEC  
Luzernerstr. 15  
5040 Schoftland, Switzerland



## P.s10. BOAL profili

I profili Boal sono stati realizzati da Boal e Shell Solar in collaborazione con Ecofys, GIW e TNO. Il profilo è stato realizzato per infissi di serre con applicazioni fotovoltaiche.

Il sistema BOAL è stato progettato in modo tale che la distanza minima tra i correnti di copertura e i moduli FV sia 25,3 mm, lo spessore dei moduli non deve superare 5mm al fine di consentire l'applicabilità dei profili.



Distributore copertura e FV laminati: BOAL Systemen B.V.

Potenza per m<sup>2</sup>: 100 W

peso per m<sup>2</sup>: 13 kg m<sup>-2</sup>

Prodotto/ garanzia potenza  
2 anni

BOAL Systemen B.V.  
PO Box 150  
NL-2690 AD 's-Gravenzande  
The Netherlands



## P.s.11. Solrif (Solar Roof Integration Frame)

Il sistema Solrif consiste in una struttura con tenuta all'acqua per alloggiare moduli FV ai quali sono inseriti affiancati alla copertura tradizionale.

I profili Solrif sono realizzati in estruso di alluminio o materiale plastico, adatti a contenere moduli standard.

I profili possono essere avvitati direttamente ai correnti del tetto, la distanza tra di essi è determinata dalla lunghezza dei moduli.

I profili vengono prodotti in diversi colori.

Distributore copertura e FV laminati

Enecolo AG

dimensione (lu x la x h) :  
500-200x 500-200x 5 mm

Prodotto/ garanzia potenza  
10 anni

Enecolo AG  
Lindhof 235  
CH 8617 Mönchaltorf  
Switzerland



## P.s.12. ASE Integral Kit

Il sistema prodotto da ASE è un kit da 1 o 2 kWp utilizza il film sottile ASI in silicio amorfo. I moduli ASI si adattano bene ad una struttura di copertura standard. Le celle FV sono inserite tra due vetri temperati e formano un modulo di colore marrone. Il kit ASE utilizza un minimo di 32 ed un massimo di 64 moduli ASI a film sottile, ASE 30-30-DG-UT. I moduli si sovrappongono uno su l'altro, fissati poi sui correnti alla struttura di copertura.

Distributore copertura e FV laminati  
Angewandte Solarenergie - ASE GmbH

dimensione (lu x la) :  
1000x 600 mm

numero di moduli, area  
32, 16 m<sup>2</sup> per 1kW  
64, 32 m<sup>2</sup> per 2kW

Prodotto/ garanzia potenza  
10anni

Angewandte Solarenergie - ASE GmbH  
D-63755 Alzenau  
Industriestrasse 13  
Germany



### P.s.13. Pride System - Unidek

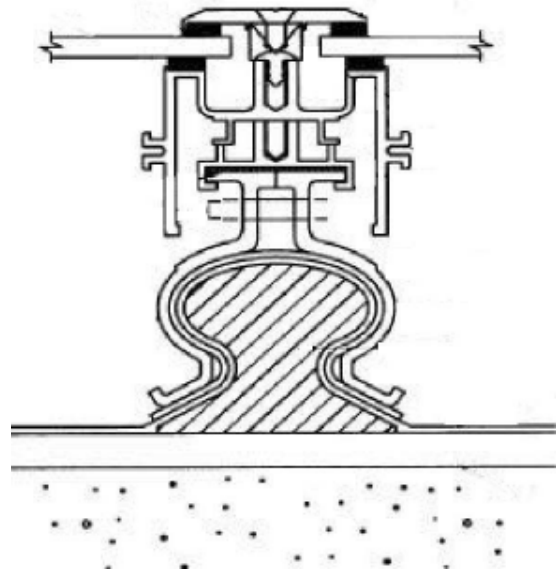
Pride (Prefabrication of Roof Integrated PV systems) è stato realizzato per le integrazioni architettoniche del FV e per supportare moduli FV in larga scala. Il profilo studiato si chiama Unidek ed è costituito da legno e EPS (polistorolo espanso) e lamina di alluminio all'interno, protetta da uno strato di legno su entrambi i lati. Le travi in legno sono collegate ai vertici di ogni sezione per aumentare la rigidezza. Al sistema è collegata la scatola elettrica. Il sistema è sostenuto dalle travi della coperturra.

Distributore; Ecofys

Peso: 60 kg.m<sup>-2</sup>

Potenza dei moduli  
100 Wp al m<sup>2</sup>

Prodotto/ garanzia potenza Unidek 30 anni, FV 10 anni elettrico 1 anno.  
Ecofys  
Postbus 8408  
3503 RK Utrecht  
The Netherlands



### P.s.14. Canon - "Batten and Seam" - "Stepped Roof"

La Canon insieme alla Sanko Metal ha sviluppato e commercializzato due prodotti per coperture inclinate. Entrambi i prodotti utilizzano celle di silicio amorfo da utilizzarsi nel mercato delle residenze. I prodotti utilizzano un foglio in acciaio per resistere meglio agli incendi. Esse sono large, flessibili e leggere, ciò le rende facili da installare.

I moduli FV sono laminati in resina, la struttura è in acciaio galvanizzato.

I moduli sono senza telaio e si fissano tramite avvitatura, essi sono di colore scuro con elementi di fissaggio in metallo.

Distributore copertura e FV laminati: Canon Inc.

dimensione (lu x la x h):

420x 2600 x 29 mm "Batten and Seam"  
218x4000x18 mm "Stepped Roof"

Potenza e tipo di celle  
"Stepped Roof" 45 W  
"Batten and Seam" 57.6 W  
silicio amorfo

peso  
5.8 kg.m<sup>-2</sup>

Canon Inc.  
Ecology Research and Development Centre  
4-1-1 Kizugawadai, Kizu-cho,  
Souraku-gun  
Kyoto 619-0225  
Japan

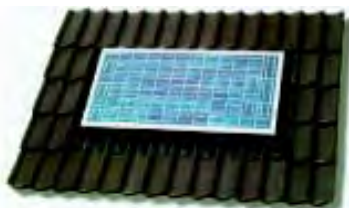




## P.s.15. Intersole System

Intersole System è un tipo di struttura leggera in grado di alloggiare qualsiasi tipo di copertura FV. E' una struttura che garantisce la protezione all'acqua, che può essere installata velocemente in coperture nuove oppure in casi di ristrutturazione. Questo tipo di sistema comprende di un pannello impermeabile nero in polietilene e supporti in alluminio. Il pannello viene fissato direttamente alla struttura in legno del tetto, dalla parte interna. I profili in alluminio sono avvitati dall'interno con i moduli FV.

RegEN GmbH  
Eschenweg 2  
D-15827 Dahlewitz  
Germany



Distributore copertura e FV laminati: 3S Swiss Sustainable Systems Ltd

dimensione (lu x la) :  
la dimensione varia a differenza dei moduli installati e dalla dimensione di copertura da coprire.



## P.s.16. RegEN Solardach

Il Solardach III è un sistema per montare diversi tipo di moduli da integrarsi in copertura in modo semplice. I moduli FV sono posizionati in modo da sovrapporsi su una guida in alluminio. I giunti tra i moduli sono realizzati in acciaio inossidabile, rendendo il sistema inattaccabile alla corrosione. I lati sono collegati insieme da una striscia pwrimetrale. La struttura sostiene moduli FV fino ad uno spessore di 10 mm e non più larghi di 800 mm.

Il sistema può stare solo su superfici inclinate almeno di 23° rispetto all'orizzonte. Possono essere utilizzati moduli senza telaio.

Distributore: RegEN GmbH

Peso: 2 kg /ml



Sistema RegEN Solardach



Sistema EETS

## P.s.17. EETS- Energy Equipment Testing Service

Il sistema sviluppato al Centro di Ricerche EETS- Energy Equipment Testing Service Ltd è stato utilizzato per le integrazioni del FV in architettura si auto sostiene anche per campate di 2400 mm. Il sistema è a tenuta d'acqua ed è realizzato in modo da garantire la ventilazione naturale dei moduli. Sono stati installati impianti da 600 W a 14 kW con questo sistema.

Distributore:  
EETS- Energy Equipment Testing Service Ltd

EETS- Energy Equipment Testing Service Ltd  
Unit 104 Portmanmoor Road  
Industrial Estate  
Cardiff CF2 2HB  
UK





# SCHEDE PROGETTI

*Lucia Ceccherini Nelli*



## Schede Progetti

La consapevolezza del ruolo che gli edifici svolgono nel consumo mondiale di energia ha fatto sì che i criteri di progettazione e di costruzione tengano sempre più in considerazione le tecnologie di sfruttamento di fonti di energia alternativa. Il fotovoltaico è venuto ad occupare uno spazio considerevole nell'ambito delle nuove tecnologie a basso consumo energetico.

Numerosi sono i progettisti che hanno saputo sapientemente integrare la tecnologia fotovoltaica negli edifici, utilizzando sempre nuove tecnologie e sistemi costruttivi. Per poter completare la panoramica tipologica proposta nei capitoli precedenti è necessario fornire quanti più esempi possibili a completamento dei sistemi tecnologici possibili di integrazione architettonica.

Il repertorio di soluzioni architettoniche integrate con fotovoltaico è stato realizzato attraverso progetti e realizzazioni a partire dal 1993, ed è stato suddiviso per categorie di intervento edilizio:

- A1: Insediamenti urbani
- A2: Edifici residenziali
- A3. Edifici per Uffici, istituti finanziari e Hotel
- A4. Centri di ricerca e culturali, musei
- A5. Edifici scolastici, biblioteche e accademie
- A6. Edifici industriali, fieristici e commercio
- A7. Chiese, parcheggi, pensiline ed altre applicazioni.

Per ogni categoria è stata realizzata una schedatura, che mette in rilievo le informazioni generali sull'edificio, riguardanti; in modo sintetico, il tipo di integrazione fotovoltaica realizzata, i progettisti, la potenza installata ed i produttori di FV. Nella scheda è fornita, inoltre, una esauriente descrizione dell'intervento con disegni e fotografie con lo scopo di poter comprendere in modo esaustivo la tecnologia utilizzata. Molte delle soluzioni proposte sono originali ed uniche, poiché integrate a soluzioni architettoniche che si adattano al progetto presentato, e che spesso, utilizzano moduli fotovoltaici standard e soluzioni tecniche facilmente ripetibili.

Questi sistemi innovativi per l'edilizia producono energia pulita, insieme con i sistemi solari passivi e con altre tecnologie solari, contribuiscono a ridurre considerevolmente l'inquinamento nelle aree urbane e suburbane, per questo motivo, molte schede degli edifici analizzati prendono in esame soluzioni energetiche avanzate che riguardano l'edificio nella sua complessità e non solo l'impianto fotovoltaico.

I casi studio e le realizzazioni provengono da tutto il mondo anche se alcune nazioni hanno un numero maggiore di edifici integrati con fotovoltaico, tra queste in particolare la Germania è la nazione che maggiormente ha adottato strategie energetiche di diffusione di questa tecnologia.

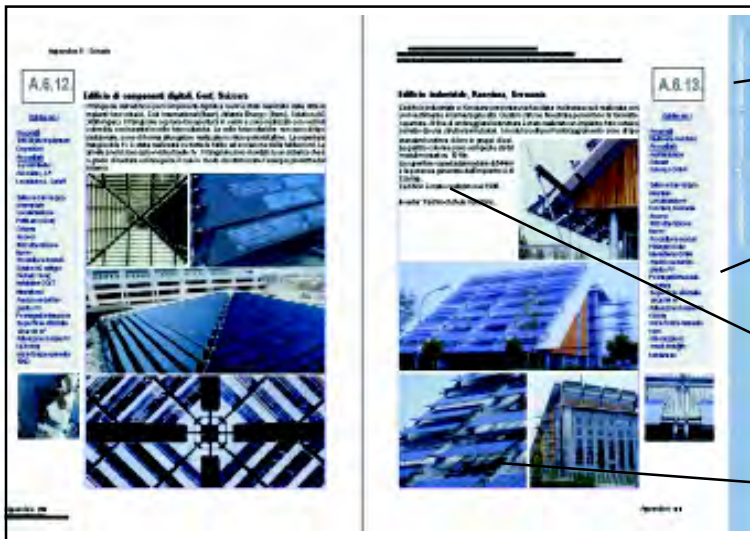
Sono state inoltre privilegiate quelle tipologie che potessero destare maggiore interesse ed offrire un ricco potenziale per sviluppi futuri, in termini di utilizzazione, valutazione di mercato, interesse commerciale e/o industriale, al fine di ottenere una più ampia diffusione dei progetti che includano l'installazione del fotovoltaico. Infatti i progetti analizzati hanno spesso utilizzato il concetto di standardizzazione

adottando componenti standard, rendendo l'applicazione FV più economica e più facilmente monitorabile. Di conseguenza dal punto di vista costruttivo, i progetti scelti sono facilmente adattabili e versatili per realizzazioni future.

In particolare dalla schedatura degli edifici proposti emergono soluzioni di integrazione fotovoltaica che:

- 1 - creano un impulso alla commercializzazione di nuovi e semplici sistemi di integrazione architettonica del fotovoltaico
- 2 - creano la tendenza a sviluppare tecnologie innovative di integrazione, creando nuovi prodotti con il coinvolgimento del settore industriale
- 3 - tendenza a creare un approccio progettuale di tipo olistico dove il componente fotovoltaico concorre insieme ad altre tecnologie solari passive ed attive per la realizzazione di edifici sostenibili.

I progetti analizzati offrono una grandissima varietà in termini di scala di intervento, gamma di applicazioni, tipologie impiegate e differenti tecniche di integrazione sviluppate in diversi paesi del mondo.



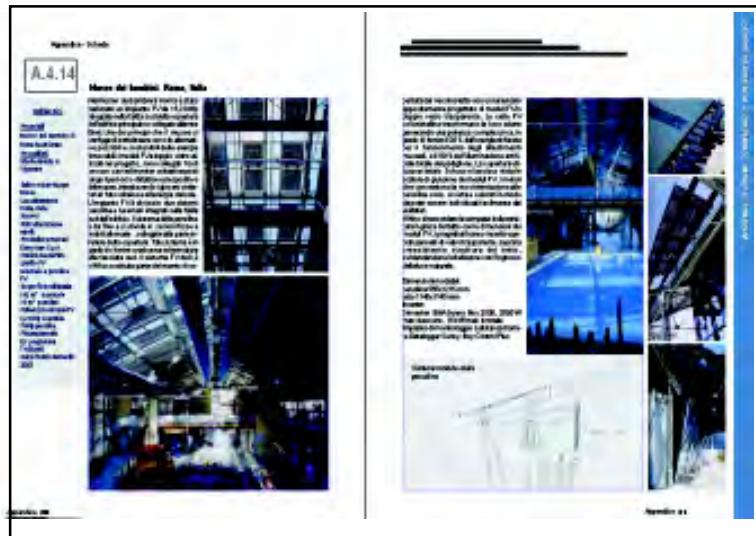
numero della scheda di riferimento

indicazioni generali sulla progettazione e sull'impianto FV

Descrizione delle strategie energetiche e dell'impianto FV

Disegni e foto dell'intervento

Alcuni esempi di schede



# Indice schede progetti



## A.1. Insediamenti urbani 145

- A.1.1. Kensal Green, London, UK
- A.1.2. Il villaggio solare a Amersfoort Olanda
- A.1.3. La città solare di Friburgo, Germania
- A.1.4. Area FORD, Bridgend, UK
- A.1.5. Villaggio solare a Brema, Germania
- A.1.6. Bed Zed, Croydon, UK
- A.1.7. Morn Hill, Winchester, UK
- A.1.8. Villaggio solare a Hettstadt, Germania

## A.2. Edilizia residenziale 167

- A.2.1. Condominio a Verona, Italia
- A.2.2. Edificio Solare Pietarsaari, Finlandia
- A.2.3. National Research Home Park 21st Century Townhouse, Bowie Maryland, USA
- A.2.4. Abitazione ad Oxford, UK
- A.2.5. Residenze a Vauban a Friburgo, Germania
- A.2.6. Copertura integrata, BOSTON, USA
- A.2.7. Villa Vision, Taastrup, Danimarca.
- A.2.8. Hebel - Musterhaus, ALZENAU, Germania.
- A.2.9. Abitazioni "Alpine Close", Greenfields, Maidenhead, UK
- A.2.10. Abitazione Raleigh Road, Londra UK
- A.2.11. Abitazione, progetto NEDO, Giappone
- A.2.12. Abitazione "Heliotrop", Friburgo, Germania.
- A.2.13. Casa solare, Friburgo, Germania
- A.2.14. 22 Abitazioni a Dordrecht, Olanda
- A.2.15. Condominio, Friburgo, Germania.
- A.2.16. Abitazioni "Giardini solari" a Munzingen, Germania
- A.2.17. Condominio a Rieselfeld, Germania.
- A.2.18. Edifici in linea, Amersfoort, Olanda
- A.2.19. Edifici in linea, Amersfoort, Olanda
- A.2.20. 19 case a schiera, Amersfoort, Olanda
- A.2.21. Abitazioni progetto "Jersey", Amersfoort, Olanda
- A.2.22. Abitazioni progetto "Cascade", Amersfoort, Olanda
- A.2.23. Abitazioni a schiera, Amersfoort, Olanda
- A.2.24. Edifici multipiano, Amersfoort, Olanda
- A.2.25. Edifici residenziali Pantarhei, Amersfoort, Olanda
- A.2.26. "Nieuw - Sloten" Edifici in linea, Amersfoort, Olanda
- A.2.27. Abitazioni solari a Langedijk Olanda.
- A.2.28. Solgarden, abitazioni, Kolding, Danimarca
- A.2.29. Il Castello Groenhof, Flounders, Belgio
- A.2.30. Bowater House, West Midlands, UK
- A.2.31. Rifugio alpino, Malga Cimana (Trento)

## A.3. Edifici per Uffici, Istituti finanziari e Hotel pp. 209

- A.3.1. Istituto Bancario "Suglio", Lugano, Svizzera



- A.3.2. CORINTHIA PANORANIA Hotel, Praga
- A.3.3. Grattacielo Times Square, New York, Stati Uniti.
- A.3.4. Servizi Generali amministrativi, Edifici Williams, Boston USA.
- A.3.5. Oekotec 3, Berlino, Germania
- A.3.6. Stadwerke, Achen, Germania
- A.3.7. "Solar office", Doxford, UK
- A.3.8. Uffici delle Assicurazioni Bayerische Allianz, Monaco, Germania
- A.3.9. Uffici Cooperative legnami, Monaco, Germania
- A.3.10. Edificio del presidente della Repubblica Federale, Berlino, Germania
- A.3.11. Uffici governativi Bundeskanzleramt, Berlino, Germania
- A.3.12. Uffici Paul-Lobe-Haus, Berlino, Germania
- A.3.13. Jakob-kaiser-House, Berlino, Germania
- A.3.14. TROP, Möbelabholmarkt, St. Johann, Austria.
- A.3.15. Area Amministrativa Occidentale, Elverta, California, USA
- A.3.16. Uffici e officina Ustra, Hannover-Leinhausen, Germania.
- A.3.17. Sede dell'Istituto di credito BAYERISCHE LANDESBANK, Monaco, Germania
- A.3.18. Edificio della Società TOBIAS GRAU a Rellingen, Amburgo, Germania
- A.3.19. Uffici del Ministero per l'Ambiente, Monaco, Germania
- A.3.20. Uffici SBIC East Japan, Tokyo, Giappone
- A.3.21. Ministero Affari economici, Berlino, Germania
- A.3.22. Parlamento Tedesco 'Reichstag', Berlino, Germania
- A.3.23. Uffici Stazione Centrale di Friburgo, Germania
- A.3.24. Palazzo di giustizia Federale a Denver, Colorado, 2002, USA
- A.3.25. Edificio per uffici, Landshut, Germania
- A.3.26. Mauna Lani Resort - Hotel Hawaii, Kona - Kohala Coast, USA
- A.3.27. Edificio per uffici Iges, Giappone
- A.3.28. Sede dello Zöllern Alb Kurier, Albstadt, Germania



A.4. Centri di ricerca e culturali, musei 257

- A.4.1. Centro fieristico di Essen, Germania
- A.4.2. Nuovo Istituto Fraunhofer ISE, Friburgo, Germania
- A.4.3. Centro solare, Friburgo, Germania
- A.4.4. Centro di installazioni "Star Unity", Fallanden, Svizzera
- A.4.5. Edificio 42 ECN, Petten, Olanda
- A.4.6. Parco della Scienza, Gelsenkirchen, Germania
- A.4.7. Centro Sportivo, Nieuwland, Amesfoort, Olanda
- A.4.8. Centro Thoreau per la Sostenibilità, San Francisco, USA.
- A.4.9. Museo Nazionale dell'aria e dello Spazio, Washington, DC, USA.
- A.4.10. Centro delle Scoperte scietifiche, California, 1999, USA.
- A.4.11. Centro Brundtland, Toftlund, Danimarca
- A.4.12. Museo dei bambini. Roma, Italia
- A.4.13. Edificio Tecnologico e solare, Emmerthal, Germania
- A.4.14. Padiglione Meereslauschen, Steinhude, Germania
- A.4.15. SIHK-Centro per l'istruzione, Colonia, Germania
- A.4.16. Centro per sperimentazione fotovoltaica NEDO, Giappone
- A.4.17. Energie-Forum-Innovation (EFI), Bad Oeynhausen, Germania
- A.4.18. Centro di ricerche JRC, Ispra, Italia



- A.4.19. Centro per la sostenibilità, Toronto, Canada.
- A.4.20. Laboratori Tsukuba OSL, Tokyo, Giappone
- A.4.21. Solar ARK SANYO, Gifu, Giappone
- A.4.22. Centro espositivo solare, Port Talbot, UK
- A.4.23. Multisala, Tortona, Italia
- A.4.24. BRE Centro di ricerca , Watford, UK
- A.4.25. Serra fotovoltaica dell'Ospedale Meyer a Firenze, Italia
- A.4.26. Studi televisivi Esplugues, Barcellona, Spagna
- A.4.27. Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica , Catalunya , Spagna

**A.5. Edifici scolastici, Biblioteche e Accademie 303**

- A.5.1. Scuola "Rembrandt", Olanda
- A.5.2. Scuola elementare 'De Wonderboom', Amersfoort, Olanda
- A.5.3. Scuola per l'infanzia 'Plons', Amersfoort, Olanda
- A.5.4. Edificio scolastico Milieu- "De Kleine Arde", Boxtel, Olanda
- A.5.5. Edificio Northumberland, Università di Northumbria, UK
- A.5.6. Accademia di Istruzione Superiore Del Mont--Cenis, Herne, Nord-Reno Westfalia, Germania
- A.5.7. Center for Environmental Sciences and Tecnology Management, New York, US.
- A.5.8. Classi Navajo solari all'aperto, Seba Dalkai, Navajo, Arizona.
- A.5.9. Scuola Secondaria, Zurigo, Svizzera.
- A.5.10. Jubilee Campus, Nottingham University, UK
- A.5.11. Università Tecnica, TU, Monaco, Germania
- A.5.12. Università di Erlangen, Klinisch Molekularbiologisches Institut, Erlangen, Germania
- A.5.13. Biblioteca, Matarò, Catalunya, Spagna
- A.5.14. Istituto Tecnico a Umbertide, Italia
- A.5.15. Università Tecnica Esslingen, Germania
- A.5.16. Aule e biblioteca Polo Scientifico, Sesto Fiorentino Italia
- A.5.17. Progetto per l'Eco-building al Campus Universitario Tsinghua a Pechino
- A.5.18. Edifici per la formazione temporanea, Amersfoort, Olanda



**A.6. Edifici industriali fieristici, commercio e stazioni 345**

- A.6.1. Eden project, Cornovaglia, Gran Bretagna
- A.6.2. Fabbrica Shell, Gelsenkirchen, Germania
- A.6.3. Simon Glas, Buckeburg, Germania
- A.6.4. Schüco International KG, Bielefeld, Germania
- A.6.5. SOLAR-FABRIK, Friburgo, Germania.
- A.6.6. Fabbrica APS a Fairfield, California, USA,1993.
- A.6.7. Padiglioni espositivi, Fiera di Monaco, Germania
- A.6.8. Concessionaria AUDI, Ingolstadt , Germania.
- A.6.9. Casa di moda Zara a Colonia, Germania
- A.6.9. Fabbrica Wilkhahn, Bad Deister, Germania
- A.6.10. Edificio a Konstanz, Germania
- A.6.11. Casa di moda Kaiser, Friburgo, Germania
- A.6.12. MWB Messwandler-Bau AG, Bamberg, Germania
- A.6.13. Industria di semiconduttori Rohn, Giappone.



- A.6.14. Casa del Grande Fratello, Londra, UK
- A.6.15. Stazione dei vigili del fuoco, Houten, Olanda
- A.6.16. Elettrototem, Environment Park, Torino.
- A.6.17. Padiglione espositivo, Haarlemmermeer, Olanda
- A.6.18. Earth Centre, Conisbrough, UK
- A.6.19. Natatorium Olympic Games, Atlanta, USA
- A.6.20. Stazione per il rifornimento di benzina Sainsbury North Greenwich, Londra, UK
- A.6.21. Pensilina ferroviaria di Morges, Svizzera
- A.6.22. Stazione ferroviaria di Hannover, Germania
- A.6.23. Stazione della metropolitana a New York
- A.6.24. Pensilina Sant Adrià de Besós, Barcellona, Spagna
- A.6.25. Nuova stazione ferroviaria per l'Alta Velocità a Firenze, Italia
- A.6.26. Stazione Lehrter Bahnhof a Berlino, Germania
- A.6.27. Stazione di rifornimento Agip, Italia



**A.7 . Chiese, parcheggi, pensiline e altre applicazioni 401**

- A.7.1. Chiesa, Potsdam, Germania
- A.7.2. Campanile e orologio della chiesa a Steckborn, Svizzera
- A.7.3. Chiesa, Vienna, Austria
- A.7.4. Chiesa, Sacramento, California, USA
- A.7.5. Isola FORD, Edificio 44, Pearl Harbour Stazione Navale, Honolulu , Hawaii
- A.7.6. Torre dell'orologio Sun Microsystems, Burlington, Massachusetts USA.
- A.7.7. Parcheggio coperto, Monaco, Germania
- A.7.8. Parcheggio pubblico a Vauban, Friburgo, Germania
- A.7.9. Autosole, Reggio Emilia, Italia
- A.7.10. Parcheggio dell'Università Verde (UNIVER) Jaén, Spagna
- A.7.11. Stazione della funicolare di Montenero, Livorno, Italia
- A.7.12. Pensilina Fotovoltaica a Palermo Stazione di Notarbartolo, Italia
- A.7.13. Ponte in Val D'Isarco, Italia
- A.7.14. Catamarano solare sull'Alster, Amburgo, Germania
- A.7.15. Parcheggio per ricarica autoveicoli elettrici, Università del Sud della Florida, USA.
- A.7.16. Mercato rionale a Roma, Italia
- A.7.17. Girasole Fotovoltaici Napa, California, USA
- A.7.18. Pensiline, Parco Yosemite, California, 2001, USA.







# A1. Insediamenti urbani



# *Realizzazioni e progetti*

---

- A.1. Insediamenti urbani
  - A.1.1. Kensal Green, London, UK
  - A.1.2. Il villaggio solare a Amersfoort Olanda
  - A.1.3. La città solare di Friburgo, Germania
  - A.1.4. Area FORD, Bridgend, UK
  - A.1.5. Villaggio solare a Brema, Germania
  - A.1.6. Bed Zed, Croydon, UK
  - A.1.7. Morn Hill, Winchester, UK
  - A.1.8. Villaggio solare a Hettstadt, Germania



## Kensal Green, London, UK

Il complesso residenziale Kensal, è stato progettato per diventare uno dei maggiori esempi di edilizia sostenibile del momento. Il progetto è stato finanziato dal V programma quadro, come "Villaggio solare" a Londra.

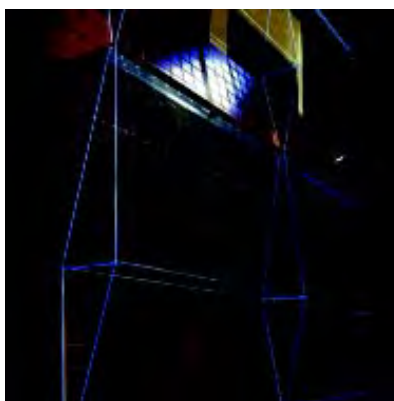
L'area di intervento è circondata sui lati da: a Nord dal Canale Grand Union, a Sud da una delle maggiori reti ferroviarie, ad Est da un grande supermercato ed ad Ovest da due grandi contenitori di gas ancora utilizzati.

L'insediamento prevede l'installazione di numerosi impianti fotovoltaici, la cui energia prodotta è da utilizzarsi in localmente e nelle aree circostanti e non da immettere in rete. I consumi annuali di elettricità del villaggio sono 2.500.000 kWh mentre gli impianti FV generano annualmente 223.000 kWh di elettricità. La differenza tra l'energia prodotta e quella consumata dal complesso residenziale è di circa il 9%, si è visto inoltre che i consumi maggiori avvengono nei fine settimana estivi, così per dividere l'elettricità generata in localmente, le residenze che consumano più energia utilizzano quella generata da altri edifici che al momento non la consumano al fine di ottenere un bilanciamento energetico per tutto il complesso residenziale.

I sistemi FV sono connessi ad ogni stringa con un inverter, producendo 400 v in trifase in corrente continua. Gli inverter, sono disposti centralmente al complesso, ad uso di tutti gli impianti FV, in modo da garantire un facile funzionamento e manutenzione dei sistemi FV di tipo centralizzato. Gli impianti fotovoltaici installati sono molto diversificati fra di loro, dalle coperture curve alle facciate FV e balaustre dei balconi.



Planimetria del complesso residenziale, le parti scure individuano la posizione degli impianti FV.



Un esempio di facciata isolata acusticamente integrata con una doppia facciata FV.

Vista del complesso residenziale



### Dati tecnici

#### Proprietà

Peabody Trust

#### Progettisti

CZWG e Cartwright  
Pickard

#### Strutture

Whitby Bird & Partners

#### Settore di sviluppo

Residenze

#### Localizzazione

Londra, UK

#### Nuovo/ Ristrutturazione

Nuovo

#### Tipo di componenti FV installati

vetro-vetro  
laminati

#### Posizione dell'impianto FV

Coperture, parapetti, facciate

#### Superficie utilizzata

2400 m<sup>2</sup>

#### Potenza nominale FV

313kWp

#### Finanziamento

EU- V Prog. e DTI

## Il villaggio solare a Amersfoort Olanda

### Dati tecnici

#### Proprietà

Privati e pubblico

#### Progettisti

vari

#### Strutture

vari

#### Settore di sviluppo

Residenze e commercio

#### Localizzazione

Olanda, Amersfoort

#### Nuovo/ Ristrutturazione

Nuovo

#### Tipo di componenti FV installati

Modulari; Shell, Solar e BP Solarex.

#### Posizione dell'impianto FV

A tetto

#### Superficie utilizzata

4000 abitazioni

#### Potenza nominale FV

1,3 MW

#### Finanziamento

Pubblico - REMU

#### Inizio funzionamento

2002

#### Contatti

REMU ed Ecofys

email:F.Leenders@ecofys.nl

Immagini e informazioni

tratte da "Fotovoltaici"

FV n.2/2002 articolo di

Cinzia Abbate



Vista aerea del complesso di Nieuwland



Uno degli edifici scolastici del quartiere

Amersfoort, cittadina olandese rappresenta, nel processo di progettazione urbana e nello sviluppo di tipologie abitative solari per nuovi quartieri residenziali, la più grande sperimentazione del momento. Nieuwland è una sezione periferica della città di Amersfoort che è rientrata nel programma generale del Governo Olandese di realizzare entro il 2002, 7,7 MW, di moduli fotovoltaici collegati alla rete elettrica Nazionale.

Ad Amersfoort circa 500 abitazioni sono state dotate di coperture fotovoltaiche per una potenza totale di 1,3MW, circa il 54% dell'energia totale necessaria per sostenere un quartiere di 11.000 abitanti.

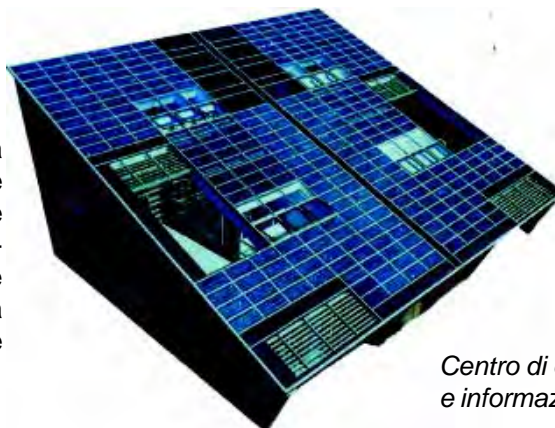
Nieuwland, ex area agricola, è stata disegnata con l'80% delle abitazioni orientate tra sud-est e sud-ovest, sulle quali sono stati installati circa 900 impianti termici solari. L'acqua per i servizi igienici e per il giardino viene riciclata attraverso sistemi di fito-depurazione integrati al percorso delle vie d'acqua del quartiere.

Al fine di evitare zone d'ombra, i progettisti hanno dovuto affrontare il problema delle distanze e delle lunghezze delle vie di comunicazione, sia di acqua che di terra, e definire rigorose sezioni e distribuzioni delle alberature affinché non oscurassero i moduli FV, stabilire nuovi indici per le pendenze delle coperture, rivedere il disegno dei profili degli edifici.





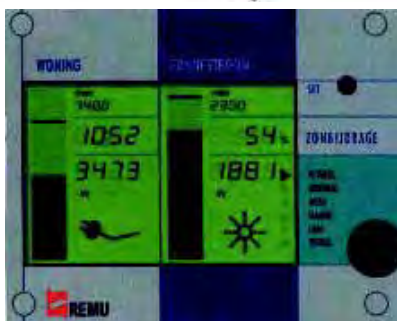
L'inserimento della tecnologia fotovoltaica ha alterato la tipica, sezione simmetrica stradale olandese. Le residenze sono state realizzate con nuove tipologie abitative con terrazze, lucernari e serre aperte sulla zona giorno, che consentissero una buona distribuzione della luce ed il guadagno solare passivo del calore nei mesi invernali.



*Centro di energia e informazioni*

**Integrazione fotovoltaica**

Il risultato è stato la notevole varietà espressiva dimostrata dai progettisti in abito di integrazione architettonica del fotovoltaico, pure dovendo utilizzare solo moduli standard non specificamente prodotti come componenti per l'edilizia. I moduli sono stati integrati per la maggior parte in coperture con una inclinazione media intorno ai 20°, eccetto che nel progetto realizzato dall'architetto Claus en Kaan, dove la pendenza è pari a 70° ( Centro di orientamento ed informazione del distretto di "Nieuwland" concepito come un'abitazione campione, completamente fondata su principi bioclimatici) o in tetti piani, in cui per scelta il fotovoltaico non è visibile dalla strada. L'obiettivo principale, di questo intervento di integrazione è stato quello di contenere i costi optando per due tipi di moduli FV integrati in tre diversi metodi. 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 utilizza delle cassette pressostampate in plastica, contenenti i moduli, il cui ancoraggio funziona come per le tegole in cotto con la sovrapposizione dei bordi.



*Display informativo presente nelle abitazioni*



*Copertura FV di abitazione in linea*







*Impianto sportivo  
Edificio scolastico*



I moduli utilizzati sia mono che poli cristallino, sono di produzione Shell Solar e BP Solarex. Tutte le abitazioni, del distretto, sono collegate alla rete elettrica, così anche in caso di mal funzionamento ricevono comunque energia dalla stessa. La Remu (l'autorità energetica regionale), attraverso un sistema di monitoraggio computerizzato, identifica ogni tipo di perdita o problema che interessa la rete, individuando il luogo in cui esso si è manifestato.

L'utente può costantemente controllare la quantità di energia prodotta dal suo impianto e direttamente immessa in rete grazie ad un secondo contatore posto, generalmente vicino a quello tradizionale che misura i consumi e quindi l'energia acquistata dalla rete. La Remu è proprietaria di tutti gli impianti FV installati, degli inverter ed ha garantito la produzione di energia per i primi 10 anni di funzionamento. I proprietari delle abitazioni hanno diritto ad avere gratuitamente il 20% dell'energia prodotta dagli impianti FV, alla scadenza del contratto, la Remu potrà decidere se vendere l'intero sistema o tenerlo e lasciarlo come copertura speciale .

La dimensione media dell'installazione è di circa 25 mq di moduli, per circa 2-2,5 kWp installati per abitazione.



## La città solare di Friburgo

La regione di Friburgo è attualmente la più attiva in Europa per il numero di installazioni fotovoltaiche presenti sul territorio e per la presenza di Centri ed istituti di ricerca connessi all'uso di soluzioni, applicate all'architettura, delle energie rinnovabili ed in particolare per lo sfruttamento dell'energia solare. A Friburgo si trovano le unità di ricerca e produttive più importanti a livello mondiale coinvolte nello studio, dello sfruttamento e diffusione dell'energia solare: il *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE* e dal 1995 la *International Solar Energy Society (ISES)*. Entro il 2010 Friburgo si è proposta di raggiungere a una riduzione del 25% nelle emissioni di biossido di carbonio, e realizzare numerosi progetti legati alla sostenibilità ambientale, numerosi progetti sono stati in parte già realizzati o in corso di realizzazione e si basano principalmente sulle seguenti linee guida: problematiche legate alla conservazione dell'energia e lo sfruttamento delle energie rinnovabili.

L'impegno della amministrazione della città di Friburgo è rivolto verso, l'ambiente di lavoro del futuro incrementando l'industria e la produzione degli impianti ad energie rinnovabili, uno dei maggiori esempi è la fabbrica Solar-Fabrik, l'impegno privato attraverso le imprese presenti sul territorio e verso le forme più avanzate di energie rinnovabili.

Un sistema per la diffusione delle energie rinnovabili è quello della ricreazione e turismo, realizzando impianti solari in edifici pubblici di uso ricreativo, come la facciata fotovoltaica dell'edificio della stazione ferroviaria di Friburgo, ed inoltre con



Planimetria redatta dalla Regione solare di Friburgo di informazione sulla localizzazione degli impianti fotovoltaici nella città





Foto: L. Ceccherini Nelli

*Nuovo insediamento residenziale e sostenibile a Vauban, distretto di Friburgo*

azioni di marketing e finanza basandosi su una serie di incentivi privati, educazione e pedagogia, realizzando un grande numero di installazioni destinate alla formazione.

### **Le abitazioni**

Gli edifici di uso privato integrati architettonicamente con sistemi di produzione energetica alternativa, rappresentano un settore importante del progetto di trasformazione della regione di Friburgo in "Regione solare". È importante rilevare che l'agenzia regionale di servizi energetici, la *Freiburger Energie- und Wasserversorgungs AG* (FEW) ha permesso – con una serie di piani d'incentivazione – di contribuire all'installazione di più di 100 impianti connessi in rete a partire dall'inizio degli anni '90; ed ha inoltre semplificando i regolamenti edilizi per l'installazione di impianti termici o FV o per la costruzione di elementi in vetro per lo scambio di calore.

Molti sono gli esempi di strutture abitative

*Condominio a Friburgo, la facciata sud è integrata con FV*



Foto: L. Ceccherini Nelli



sostenibili presenti a Friburgo e dintorni.

### Edifici scolastici e ricreativi

Un altro importante aspetto è lo sviluppo di impianti su edifici per la formazione, come la "Torre solare" (*Solarturm*) presso l'istituto tecnico industriale per l'energia solare Richard Fehrenbach (*Richard-Fehrenbach-Gewerbeschule*). La "torre solare" comprende uno spazio dedicato all'insegnamento e alle dimostrazioni pratiche basate su un impianto termico di 70 m<sup>2</sup> per la produzione di acqua calda (circa 6000 litri al giorno), un impianto fotovoltaico da 1,5 kW costituito da 28 moduli connessi alla rete elettrica generale e un'area di 40 m<sup>2</sup> di isolanti termici, il tutto annesso ad uno spazio in cui trovano collocazione i sistemi di controllo e le apparecchiature di monitoraggio del complesso sistema energetico. Un settore applicativo interessante annesso all'impianto sono poi le colonnine per la ricarica di veicoli elettrici ad uso interno dell'istituto. Tale progetto, inaugurato nel 1993, è stato finanziato con il contributo del Ministero federale per la ricerca, del Ministero dell'economia e con i fondi del Ministero della cultura del Baden-Württemberg.

Altri progetti riguardano il riscaldamento di impianti sportivi (le piscine di Strandbad, Loretobad e il complesso coperto di Hallenbad), una delle strutture più interessanti e senz'altro l'impianto ibrido presente presso il Seepark, funzionante dal 1986, costituito da due elementi per il pompaggio dell'acqua, alimentati contemporaneamente con un generatore fotovoltaico e con un generatore eolico, il primo che produce un totale di 1,73 kWp, il secondo, dotato di due pale di 2,40 m di diametro, che produce 0,75 kW. I sistemi servono ad alimentare giochi d'acqua all'interno del parco, anche se il loro vero scopo è sostanzialmente di tipo scientifico-dimostrativo. La supervisione del progetto è stata affidata al *Fraunhofer Institut*. Tale impianto è affiancato da una stazione di forma ottagonale semi interrata, costruita nel 1991, in gran parte con materiali ecologici e vetro e dotata di sistemi termici e FV (con capacità di produzione energetica pari a 1,5 kW e 1 kW



Foto:L.Ceccherini Nelli



Foto:L.Ceccherini Nelli

*Nuovo insediamento residenziale a Vauban, distretto di Friburgo*



Foto:L.Ceccherini Nelli



Foto: L.Ceccherini Nelli

*Centro di sperimentazione dell'Istituto Tecnico Industriale Richard Fehrenbach a Friburgo*

*Display informativo dell'impianto FV al Centro di sperimentazione dell'Istituto Tecnico Industriale Richard Fehrenbach a Friburgo*



Foto:L.Ceccherini Nelli

*Parcheggio a Vauban, Friburgo*



Foto:L.Ceccherini Nelli

rispettivamente) che la rendono energeticamente autonoma e che viene impiegata principalmente come area didattica.

### **Impianti industriali**

La regione solare di Friburgo ospita un alto numero di impianti di grandi dimensioni che sfruttano estensivamente l'energia solare. L'esempio più importante, sia per le caratteristiche architettoniche, sia per le potenzialità di produzione energetica, è la sede della *Solar-Fabrik* (attiva dal 1999), edificio in acciaio e vetro con frangisole fotovoltaici. È la sede dell'omonima azienda di produzione di fotovoltaico fondata nel maggio del 1996, la *Solar-Fabrik* è stata realizzata dagli studi di architettura Rolf & Hotz e Amann, Burdenski e Harter.

### **Progetti sperimentali**

Due esempi rappresentano le applicazioni architettoniche più estreme delle nuove energie rinnovabili: il progetto *Heliotrop* dell'architetto Rolf Disch e la casa solare di Friburgo, la *Solarhaus*. L'*Heliotrop* è una struttura cilindrica sostenuta da un tronco centrale, energeticamente autosufficiente è costruita con l'intento di integrarsi quanto più possibile con l'ambiente circostante.

L'altro esempio è la *Solarhaus*, la casa solare, costruzione inaugurata nell'1992, che rappresenta il primo esempio in Germania di casa totalmente servita dall'energia solare. Un edificio di due piani, abitato per i primi anni di funzionamento è che oggi è sede di uffici destinati alla sperimentazione di nuove soluzioni abitative legate allo sfruttamento dell'energia solare. La casa è costruita con materiali termoassorbenti per la costruzione del tetto, delle solette e delle strutture murarie portanti, mentre la facciata – caratterizzata da un andamento semicircolare – è dotata di una vetrata di 89 m<sup>2</sup> che agisce come sistema di riscaldamento passivo. Sul tetto sono installati 36 m<sup>2</sup> di pannelli FV che producono in tutto 4,2 kWp con un sistema di alimentazione a isola.



*A1 SCHEDE PROGETTI*



Foto: L.Ceccherini Nelli

*Abitazione "heliotrop, Friburgo*



Foto: Fototeam Vollmer

*Solar house, Friburgo*

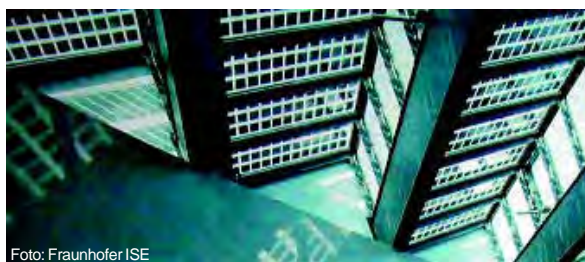


Foto: Fraunhofer ISE

*Fraunhofer ISE, Friburgo*



Foto: R.Buhl

*Solar Fabrik, Friburgo*



Foto: L.Ceccherini Nelli



Uffici alla Stazione ferroviaria di Friburgo



*Display informativo, impianti  
FV alla stazione di Friburgo*

Foto: L.Ceccherini Nelli

## Area FORD, Bridgend, UK

La Ford Corporation nel 1996 ha partecipato al Programma Europeo per le "Fabbriche del futuro" installando sui suoi edifici di Bridgend una serie di lucernari fotovoltaici. Nel 1998, anno di attivazione degli impianti, l'intervento era tra i più grandi mai realizzati in casi di ristrutturazioni edilizie. La potenza installata è di 97 kWp per un costo totale di £ 1.4 milioni.

I lucernari, da un lato illuminano i locali sottostanti e dall'altro accumulano energia tramite l'impianto fotovoltaico. La potenza massima raggiunta dall'impianto è di 100kWp ed i lucernari installati sono 26 con 1540 celle BP Solarex ad alta efficienza. Ogni lucernario è connesso ad un inverter da 3.7 kW della Microtec, appositamente progettati e realizzati per questo progetto. La corrente prodotta è di 77.600 kWh/annui.

I lucernari sono realizzati in doppio vetro laminati ed isolati termicamente ed hanno una dimensione di 1900x1500 mm. Per il migliore il rendimento dell'impianto FV, è stata realizzata una intercapedine al di sotto delle celle FV in modo da garantire una ventilazione costante all'impianto.

Durante l'installazione, un momento delicato che ha fatto necessitare più tempo del previsto, è stato quando i lucernari sono stati ancorati alla copertura piana, si è evitato di creare una discontinuità termica e si è cercato inoltre di fare attenzione nell'ancoraggio alla copertura per non forare i condotti di altri impianti che la percorrono.

La struttura dei lucernari essendo prefabbricata ha comportato una notevole facilità di installazione sulle coperture piane della fabbrica. Il sistema è connesso alla rete elettrica in accordo con la normativa inglese sugli impianti.



Lucernari in fase di montaggio

Finanziamenti	
Ford motor	57%
EU(THERMIE)	33%
DTI	7%
Partners	3%



Vista aerea dell'installazione dei lucernari

### Dati tecnici

#### Proprietà

Ford Motor Corp.

#### Progettisti

-

#### Strutture

Ove Arup & Partners

#### Settore di sviluppo

Commercio

#### Localizzazione

Bridgend, UK

#### Nuovo/

#### Ristrutturazione

Nuovo

#### Tipo di componenti

#### FV installati

BP Solar

#### Posizione dell'im-

#### pianto FV

A tetto

#### Potenza nominale FV

97 kWp

#### Inizio funzionamento

1998

# A.1.5.

## Villaggio solare a Brema, Germania

### Dati tecnici

#### Proprietà

Stadtwerke Bremen,  
Dipl.-Ing. Frank  
Steinhardt

#### Progettisti

Bremische GmbH  
dipl.-ing. Gabriele  
Ranke

#### Settore di sviluppo

Residenze e commer-  
cio

#### Localizzazione

Brema, Germania

#### Nuovo/ Ristrutturazione

Nuovo

#### Tipo di componenti FV installati

Pilkington Solar  
International GmbH  
dipl.-ing. Oussama  
Chehab

#### Posizione dell'im- pianto FV

A tetto

#### Superficie utilizzata

4000 abitazioni

#### Potenza nominale FV

200 kW

#### Finanziamento

Pubblico e EC

#### Inizio funzionamento

1996

#### Contatti

Stadtwerke Bremen  
Breich K-MG, pf  
107803, d-28078  
Bremen



Foto: Flabeg Solar International

1

1. Gruppo di abitazioni integrate  
con FV in copertura

2. Vista degli edifici a basso  
consumo energetico e del  
laghetto di raccolta delle acque  
piovane

Il complesso residenziale e commerciale di Brema, è stata una delle prime realizzazioni con coperture integrate con fotovoltaico. Il complesso è stato realizzato con l'intento di fondere il risparmio di energia in edifici residenziali ed edifici commerciali. Gli 80 edifici del complesso sono stati realizzati nel 1997.

L'installazione fotovoltaica di Brema raggiunge una potenza di 200 kWp, ogni copertura integra 12 moduli FV con una produttività di circa 2,5 kWp.

Le soluzioni di risparmio energetico adottate negli edifici e gli impianti fotovoltaici sono stati finanziati per il 40% dalla Comunità Europea, per il 30% dalla Stadtwerke di Brema e per il 30% dal Comune di Brema. per un costo complessivo di circa 1,5 milioni di euro.

L'ente gestore di energia ha l'onere della manutenzione e riparazioni durante un periodo di 20 anni dopo i quali gli impianti passano di proprietà agli utilizzatori degli edifici.

L'obiettivo è stato quello di ridurre i consumi elettrici del 30% in rapporto alla produzione di corrente che si aggira intorno all'80% rispetto al fabbisogno dell'intero insediamento.

La produttività del sistema è stata di circa 150.000 kW/h durante il primo anno di attività,



2

Foto: Stadtwerke Brema





Foto: Flabeg Solar International

5.000 kW/h in più di quanto i progettisti del sistema si aspettavano, coprendo il 30% del fabbisogno di energia dell'intero complesso.

Il complesso è stato progettato con strategie per il contenimento dei consumi energetici e strategie per il recupero delle acque piovane, con un sistema di raccolta delle acque attuato attraverso un bacino, di forma allungata, posto centralmente al complesso.

3. Veduta area del complesso

## A.1.6.

### Bed Zed, Croydon, UK

#### Dati tecnici

##### Proprietà

Privati e pubblico

##### Progettisti

Bill Bunster Architects,  
SMA, Van Dam

##### Strutture

Arup Associati

##### Settore di sviluppo

Residenze e commercio

##### Localizzazione

Croydon, Londra, UK

##### Nuovo/

##### Ristrutturazione

Nuovo

##### Tipo di componenti FV installati

BP Solar.

##### Posizione dell'impianto FV

A tetto, lucernari e facciate

##### Superficie utilizzata

780 mq

##### n moduli utilizzati

1138

##### Potenza nominale FV

108 kWp

##### Finanziamento

EC, DTI, SEEBOARD

##### Inizio funzionamento

2002

##### Contatti

[www.bpsolar.com](http://www.bpsolar.com)

Immagini e informazioni  
tratte da "Energia Solare  
FV n.4/2002 articolo di  
Cinzia Abbate

- 1 Vista di alcuni edifici del complesso
- 2 particolare dei moduli FV vetro/teclar
- 3,4 Viste delle serre in legno con i moduli FV integrati
- 5 Vista delle serre



Il Bed ZED Factory (Zero Energy Development) è stato realizzato come quartiere residenziale sperimentale a Sutton, nella periferia di Londra. L'insediamento urbano BED-ZED ha come obiettivo una considerevole riduzione di CO<sub>2</sub> migliorando la qualità di vita della zona. Il quartiere comprende unità abitative collettive e 18 singole e spazi ufficio per complessivi circa 1600 m<sup>2</sup>. Tutti gli edifici sono realizzati con criteri di sostenibilità, sono previste serre o terrazzature, coperture verdi e giardini pensili.

Gli edifici sono organizzati su tre livelli, a piano terra, nelle zone ombreggiate sono posti gli uffici. Il quartiere nonostante offra una notevole densità abitativa, sono stati creati notevoli standard qualitativi con circa 26 mq di spazi verdi privati e 8 mq spazi verdi pubblici per abitazione.

Grazie alle tecnologie solari passive utilizzate nel complesso il fabbisogno di riscaldamento è stato ridotto del 10%. L'impianto centralizzato di riscaldamento è di tipo a biomasse, utilizza legnami riciclati e scarti di lavorazione provenienti dai laboratori delle zone circostanti. Gli edifici sono stati realizzati con un ottimo isolamento termico delle murature perimetrali ad alto isolamento, le vetrate sono state realizzate con tripli vetri.

I moduli fotovoltaici sono stati forniti dalla BP





Solar e ne sono stati installati 1.138.

I laminati fotovoltaici, appositamente costruiti per questi edifici sono stati combinati con infissi ad elevato isolamento e sistemi di ventilazione avanzati. I pannelli FV utilizzati a Bed Zed sono stati scelti per tre motivi: controllo dell'ombreggiamento, generazione di elettricità e come rivestimento dell'edificio in modo da offrire impermeabilizzazione, ombreggiamento e produzione elettrica.

L'attuale elevato costo dei moduli FV è stato compensato dal loro uso come parti integranti gli edifici in sostituzione ai normali materiali edilizi. I pannelli FV forniscono elettricità in modo da ricaricare oltre 40 auto elettriche con energia sufficiente a percorrere 10.000 miglia all'anno.

I moduli fotovoltaici sono stati posizionati su facciate esposte a Sud, montati su infissi standard, sono stati integrati anche sui lucernari e sulle coperture.

Il progetto prevede inoltre uno spazio commerciale per la vendita di alimenti organici prodotti

6,7 Vista dei camini di ventilazione ed installazione delle coperture verdi

8 Vista sulle terrazze e camini di ventilazione



Foto: BP solar

6



Foto: BP solar

7



Foto: BP solar

8





stagionalmente in questa comunità. Per la consegna e la distribuzione degli ordini, viene utilizzato internet e le consegne vengono effettuate utilizzando furgoncini elettrici.

I materiali da costruzione utilizzati sono stati di provenienza locale e comunque provenienti in un raggio di 35 miglia, oppure prefabbricati con materiale riciclato o di recupero, come le strutture in legno utilizzate per gli uffici.

L'idea di unire le residenze agli uffici ha reso l'investimento economicamente più vantaggioso, poiché il tessuto urbano realizzato al solo costo del residenziale ha prodotto un valore aggiunto al complesso in virtù delle nuove potenzialità di produttività dell'area.

Il complesso verrà sfruttato maggiormente, poiché verrà utilizzato in uguale misura durante l'arco di tutta la giornata al contrario dell'effetto provocato dai soli quartieri residenziali.

La Peabody Trust, un'organizzazione caritatevole che fornisce abitazioni economiche per usi sociali e privati a Londra è la compagnia responsabile dello sviluppo di 82 fra appartamenti e case nell'insediamento di Bed Zed.

**Tecnologia utilizzata:** speciali moduli vetro-vetro trasparenti isolati e sigillati con celle solari monocristalline ad alta efficienza con contatti incisi al laser. Laminati FV opachi (BP 585L).

**Caratteristiche del sistema:** 49 inverters di stringa SMA collegati elettronicamente al Sistema di Controlli per la Gestione dell'Edificio. Attacchi a losanga speciali BP Solar "Diamond Fastener", struttura di montaggio in metallo, sistema verticale di cornice in legno e sistema inclinato di cornice in alluminio.

**Informazioni Finanziarie:** Costo del progetto 780.000 US\$

**Finanziamenti:** Contributi del programma europeo Fifth Framework, DTI e da SEEBOARD

*9,10 Schizzi del progetto*

*11 Particolare delle facciate in legno e dei moduli FV*

*12 Sezioni assometriche del progetto*

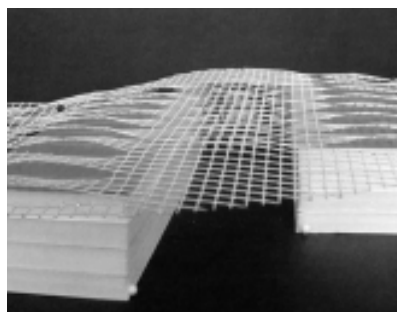
## Morn Hill, Winchester, UK

Il complesso di Morn Hill, è stato concepito per realizzare un insediamento a basso impatto ambientale in un'area verde vicino a Winchester. All'inizio della progettazione il DTI non aveva stabilito come posizionare gli impianti FV. Il risultato progettuale è stato quello di realizzare una grande copertura fatta a forma di griglia che incorpora un sistema innovativo di moduli FV laminati.

Gli edifici contengono, uffici, un albergo da 100 letti, un centro di Tecnologie e Scienze (Intech). Uno dei fattori che hanno incoraggiato l'impiego di energia FV è stato l'elevato costo che il cliente avrebbe dovuto assumersi per portare la corrente elettrica sul luogo oggetto di intervento, poiché non ancora raggiunto dalla rete di distribuzione elettrica, a tal proposito sono state incrementate le strategie per l'uso di energie rinnovabili. In fase di progettazione si sono susseguiti numerosi layout progettuali che tenevano conto di soluzioni solari passive per il maggior risparmio energetico del complesso, verificate da programmi di simulazione termica al computer. La maggior parte dei progetti sono stati scartati poiché la superficie destinata al FV, con la corretta esposizione ed orientamento, non era sufficiente a garantire l'energia per i consumi previsti. Pertanto il progetto più favorevole, per poter utilizzare una ampia superficie per l'inserimento di moduli FV, è stato quello di realizzare una ampia copertura che passasse da un edificio ad un altro. Una copertura lunga 15 m, sinuosa con curvature a forma di conchiglie, coperta da celle FV distanziate tra di loro. La copertura riesce a raccogliere bene l'acqua piovana e allo stesso tempo garantisce una buona ombreggiatura tra gli edifici e su di essi. Il gruppo di progettazione dell'impianto FV ha scelto un nuovo prodotto tedesco laminato, realizzato con un materiale acrilico riciclato. I moduli FV laminati utilizzati, rimpiazzano le normali coperture e provvedono ad un elevato isolamento termico ( $0,56W/m^2/^\circ C$ ), hanno un aspetto traslucido e con tenuta all'acqua.



1



2

1,3 Viste prospettiche del complesso  
2 Asonometria della copertura semistrasparente FV



3

### Dati tecnici

#### Proprietà

Privati

#### Progettisti

Broadway Malyan

#### Strutture

Buro Happold-  
ECD, Solar Shell

#### Settore di sviluppo

Commercio

#### Localizzazione

Winchester, UK

#### Nuovo/

#### Ristrutturazione

Nuovo

#### Tipo di componenti

#### FV installati

Modulari; Shell, Solar

#### Posizione dell'im-

#### pianto FV

Copertura FV

#### Superficie utilizzata

4994 m<sup>2</sup>

#### Potenza nominale FV

645 kWp

#### Finanziamento

DTi

# A.1.8.

## Villaggio solare a Hettstadt, Germania

### Dati tecnici

#### Proprietà

Privati e pubblico

#### Progettisti

Ing. Ralf Reif

#### Settore di sviluppo

Residenze

#### Localizzazione

Hettstadt, Germania

Nuovo/

#### Ristrutturazione

Nuovo

#### Posizione dell'im-

pianto FV

A tetto

#### Superficie utilizzata

22 abitazioni

#### Potenza nominale FV

62 kW

#### Inizio funzionamento

1997



1 Foto: M. Faraoni



2 Foto: M. Faraoni



3 Foto: M. Faraoni



4 Foto: M. Faraoni

Il villaggio solare di Hettstadt comprende 22 abitazioni con tipologia a due piani tipiche dei paesi tedeschi. Le abitazioni integrano in copertura un impianto fotovoltaico realizzato con moduli in silicio policristallino. Il colore dei moduli è blu scuro e si integra perfettamente con i manti di copertura, grigio scuri, tradizionali della zona. Le 22 abitazioni sono state realizzate nel 1997 ed ognuna integra una installazione di 3,12 kWp. L'investimento dell'insediamento solare è stato di 17000 DM per un guadagno, nel 1998, di energia elettrica annuo di 53500 kWh.

L'intero villaggio è stato costruito con l'intento di realizzare abitazioni a basso consumo energetico per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'aria. Le pareti murarie delle abitazioni sono altamente isolate e l'insediamento solare tiene conto di criteri di progettazione bioclimatici, per esposizione orientamento e soluzioni tecniche di materiali scelti per la costruzione. La superficie fotovoltaica occupa una area di circa 40 m<sup>2</sup> per abitazione.

Questo è il primo intervento che utilizza moduli per coperture complanari con queste caratteristiche di tipo autobloccanti.

Le celle FV sono inserite in un supporto scuro che le blocca e al contempo diventa cornice di supporto. Ogni copertura è dotata di due finestre a tetto che consentono la ventilazione del sottotetto e dei moduli fotovoltaici.

1 Vista del complesso di abitazioni  
 2,3,6 Particolari della copertura FV  
 4,7,8 Due edifici con le coperture integrate  
 5 Vista di un gruppo di abitazioni con copertura FV.



A1 SCHEDE PROGETTI





## A.2. Edilizia Residenziale





## Realizzazioni e progetti

### A.2. Edilizia residenziale

- A.2.1. Condominio a Verona, Italia
- A.2.2. Edificio Solare Pietarsaari, Finlandia
- A.2.3. Abitazioni Maryland, USA
- A.2.4. Abitazione ad Oxford, UK
- A.2.5. Residenze a Vauban a Friburgo, Germania
- A.2.6. Copertura integrata, BOSTON, USA
- A.2.7. Villa Vision, Taastrup, Danimarca.
- A.2.8. Hebel - Musterhaus, ALZENAU, Germania.
- A.2.9. Abitazioni "Alpine Close", Greenfields, Maidenhead, UK
- A.2.10. Abitazione, Londra UK
- A.2.11. Abitazione, progetto NEDO, Giappone
- A.2.12. Abitazione "Heliotrop", Friburgo, Germania.
- A.2.13. Casa solare, Friburgo, Germania
- A.2.14. 22 Abitazioni a Dordrecht, Olanda
- A.2.15. Condominio, Friburgo, Germania.
- A.2.16. Abitazioni "Giardini solari a Munzingen, Germania
- A.2.17. Condominio a Rieselfeld, Germania.
- A.2.18. Edifici in linea, Amersfoort, Olanda
- A.2.19. Edifici in linea, Amersfoort, Olanda
- A.2.20. 19 case a schiera, Amersfoort, Olanda
- A.2.21. abitazioni progetto "Jersey", Amersfoort, Olanda
- A.2.22. abitazioni progetto "Cascade", Amersfoort, Olanda
- A.2.23. Abitazioni a schiera, Amersfoort, Olanda
- A.2.24. Edifici rmultipiano, Amersfoort, Olanda
- A.2.25. Edifici residenziali Panta Rhei, Amersfoort, Olanda
- A.2.26. "Nieuw - Sloten" Edifici in linea, Amersfoort, Olanda
- A.2.27. Abitazioni solari a Langedijk Olanda.
- A.2.28. Solgarden, abitazioni, Kolding, Danimarca
- A.2.29. Il Castello Groenhof, Flounders, Belgio
- A.2.30. Bowater House, West Midlands, UK
- A.2.31. Rifugio alpino, Malga Cimana (Trento)

## Condominio a Verona, Italia

Un condominio anni 50' è stato ristrutturato e riqualificato architettonicamente realizzando un rivestimento fotovoltaico.

L'edificio di proprietà delle ACLI è affittato per gran parte a studi professionali, in un primo momento in occasione dei finanziamenti del Ministero dell'Ambiente per la realizzazione di impianti FV, le ACLI hanno presentato un progetto per la realizzazione di un impianto FV in copertura, nell'attesa del finanziamento che ha coperto il 73% dell'importo delle opere inclusa la progettazione, è stata valutata una seconda ipotesi di integrazione dell'impianto FV in facciata, in modo da migliorare l'estetica dell'edificio. Ne è risultata una ristrutturazione ben riuscita, inserita nel contesto urbano che già presentava edifici vicini con facciate vetrate. La scelta del posizionamento dei pannelli in facciata è andata a valorizzare l'edificio in particolare nella zona del vano scale, in cui è stata sostituita una facciata in vetro-cemento con moduli FV ad elevata trasparenza, consentendo una buona illuminazione naturale. Sono stati montati 133 moduli su due facciate, Sud-Est e Sud-Ovest, con la struttura di sostegno dei moduli nascosta alla vista. I moduli in silicio policristallino sono di tipo standard ma in fase di messa in opera sono stati allungati in altezza.



1

2

### Dati tecnici

#### Proprietà

ACLI - Associazioni cristiane lavoratori italiani

#### Progettisti

SE Project.

#### Settore di sviluppo

abitazioni e uffici

#### Localizzazione

Verona, Italia

#### Nuovo/

#### Ristrutturazione

ristrutturazione

#### Posizione dell'impianto FV

facciata

#### Superficie utilizzata

180 m

#### Potenza nominale FV

20 kWp

#### Finanziamento

Ministero dell'Ambiente

#### Inizio funzionamento

2003

Informazioni e immagini tratte da "Energia Solare" anno 4. n.4/2003, articolo di G. Invernizzi.



1 Facciata integrata Sud-Est

2 Particolare dei quadri elettrici e dei 6 inverter con display per il controllo dell'energia prodotta

3 Facciata Sud-Ovest

4 Angolo Sud

## A.2.2.

## Edificio Solare Pietarsaari, Finlandia

Dati tecniciProprietà

Privato

Progettisti

NAPS

Settore di sviluppo

Residenze

Localizzazione

Finlandia

Nuovo/

Ristrutturazione

Ristrutturazione

Tipo di componentiFV installati

Moduli APS

Inverter Sma 1800

Posizione dell'im-pianto FV

Sovratetto

Superficie utilizza-

ta

55 m<sup>2</sup>Potenza nominale

FV

2,2 kW

Inizio funziona-

mento

1994

Questa abitazione è stata realizzata nel 1994 in occasione della Fiera della Casa a Pietarsaari, per dimostrare al pubblico che si poteva ridurre il consumo energetico nelle abitazioni, attraverso l'uso di tecnologie disponibili sul mercato.

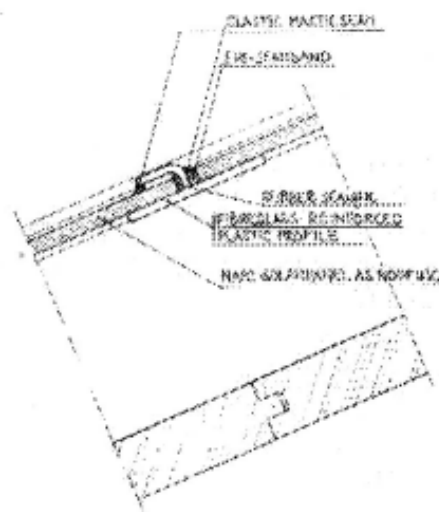
Contrariamente ad una casa tipica finlandese, che consuma annualmente circa 160-250 kWh/m<sup>2</sup> per il riscaldamento degli ambienti, dell'acqua sanitaria e dell'elettricità, nella casa solare Pietarsaari il fabbisogno energetico è stato ridotto a circa 20-30 kWh/m<sup>2</sup>. In questo edificio è stato migliorato l'isolamento termico e tramite un sistema di pompa di calore con tubazioni interrato si recuperano le dispersioni di calore che si ottengono tramite la ventilazione, le finestre sono ad elevato isolamento e particolare attenzione è data all'uso dell'energia solare attraverso sistemi solari passivi. Nella abitazione sono stati installati 10 m<sup>2</sup> di collettori solari piani e l'impianto FV.

Obiettivo di questa integrazione FV è stato quello di sviluppare e testare una semplice ed economica struttura di supporto dei moduli con tenuta all'acqua. Il sistema è stato realizzato utilizzando moduli senza supporto in silicio amorfo e profili in fibra di vetro. Il silicio amorfo è stato scelto per assicurare una uniformità nel colore della copertura con le abitazioni adiacenti. Utilizzando moduli di ampie dimensioni, il numero di connessioni e di profili di sostegno vengono ridotti.

I benefici dei profili in composito sono;

- ✦ coefficiente di espansione simile a quello del vetro;
- ✦ buone caratteristiche d'isolamento termico ed elettrico;
- ✦ buona resistenza alla corrosione;
- ✦ buona resistenza meccanica.

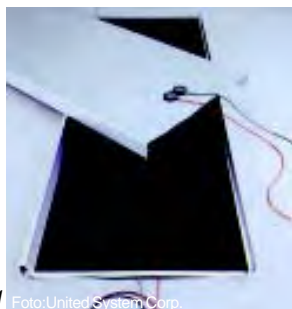
La tenuta all'acqua del tetto FV è garantita dai moduli montati direttamente sui montanti verticali in legno e sigillati con guarnizioni in gomma.





## National Research Home Park 21st Century Townhouse, Bowie Maryland, USA

Questi edifici sono stati realizzati dalla "National Association of Home Builder" per utilizzare e sperimentare la tecnologia del film sottile applicata alle coperture metalliche. Questa tecnologia si adatta particolarmente bene a questa tipologia di coperture in quanto è molto flessibile, con tenuta all'acqua e di colorazione simile alle coperture metalliche. L'integrazione architettonica è risultata essere ben integrata poiché dalla strada è difficile notare la differenza di colore delle superfici in cui sono montate le strisce FV.



### Dati tecnici

#### Proprietà

National Association of Home Builder

#### Progettisti

National Association of Home Builder e United Solar Systems Corporation and Energy Conversion Devices

**Settore di sviluppo**  
residenze

#### **Localizzazione**

Maryland, United States

**Nuovo/**

**Ristrutturazione**

Nuovo

#### **Produttore FV**

United Solar system Corporation

**Posizione dell'impianto FV**

FV integrati in copertura  
**Superficie utilizzata**  
- m<sup>2</sup>

**Potenza nominale FV**

- kWp

**Inizio funzionamento**

1996

*1,2,3 Particolare della copertura a film sottile su supporto in metallo*

*4. L'integrazione dei moduli con la copertura metallica*

*5 L'integrazione dell'edificio con gli altri*

## A.2.4.

## Abitazione ad Oxford, UK

Dati tecniciProprietà

Arch. Sue Roaf, David Woods

Progettisti

Arch. Sue Roaf

Settore di sviluppo

Residenza

Localizzazione

Oxford, UK

Nuovo/Ristrutturazione

Nuovo

Produttore FV

BP Solar

Posizione dell'impianto FV

Complanare al tetto

Superficie utilizzata50 m<sup>2</sup>Potenza nominale FV

4 kWp

Finanziamento

nessuno

Inizio funzionamento

1994

Contatti

Prof. Sue Roaf

Oxford University

Questo edificio è stato realizzato nel 1994, ed è stata la prima realizzazione di integrazione architettonica in copertura su di una abitazione in Inghilterra.

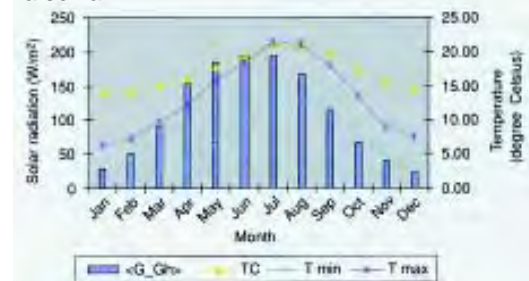
L'edificio si sviluppa su due piani più la mansarda ed è realizzato con tecnologie bioclimatiche e bioecologiche. L'edificio è orientato sull'asse Nord-Sud. Le murature sono state realizzate con una intercapedine isolante. L'intento progettuale per realizzare questo edificio è stato quello di costruire una abitazione con basse emissioni di CO<sub>2</sub> e per ottenere ciò sono stati utilizzati spazi tampone sui fronti sud e nord in modo da frapporre ambientifiltri tra le aree abitate.

Questa abitazione produce solamente 148 kg di CO<sub>2</sub> all'anno.

I materiali scelti per la costruzione sono ad elevato rendimento energetico, le murature perimetrali sono realizzate con mattoni pieni e isolamento di 15 cm in fibre minerali. La verniciatura interna è di tipo isolante per evitare al massimo le dispersioni. I pavimenti sono posati su una intercapedine da 6 cm ed un foglio di polistirene da 150 mm. Le finestre sono in triplo vetro mentre l'ingresso e la serra sono realizzate con doppie vetrate.



La serra



Grafici della radiazione solare



Foto: L.Ceccherini Nelli

*Vista della  
copertura FV  
integrata*

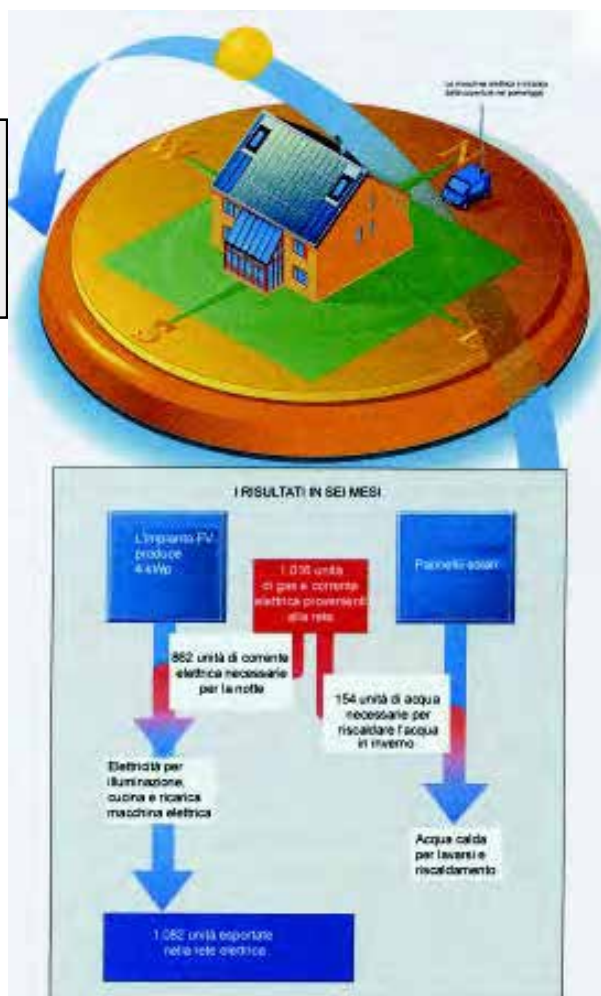


## A2. SCHEDE PROGETTI

	Uvalue (W m <sup>-2</sup> )	
Murature	0.22	mattoni
Pavimenti	0.19	150 mm isolamento
Copertura	0.14	250 mm isolamento
Finestre	1.30	triplo vetro

La copertura Sud è integrata con l'impianto fotovoltaico, realizzata con una struttura di supporto in alluminio. La copertura è realizzata con una orditura di profili che sostengono i moduli fotovoltaici ed è isolata in modo che non possano esserci infiltrazioni d'acqua. In una piccola parte di 5 m<sup>2</sup> sono installati pannelli per la produzione di acqua calda. I pannelli solari sono complanari ai moduli FV completando la copertura. I pannelli solari sono utilizzati per la produzione di acqua calda e la stessa acqua scaldata viene immessa anche nei radiatori od immagazzinata in una cisterna da 300 l, l'intera copertura è completamente impermeabile. L'impianto fotovoltaico ha una potenza massima di 4 kWp ed è realizzato da 3 stringhe con pannelli BP Solar 585. Ogni stringa è formata da 16 moduli:

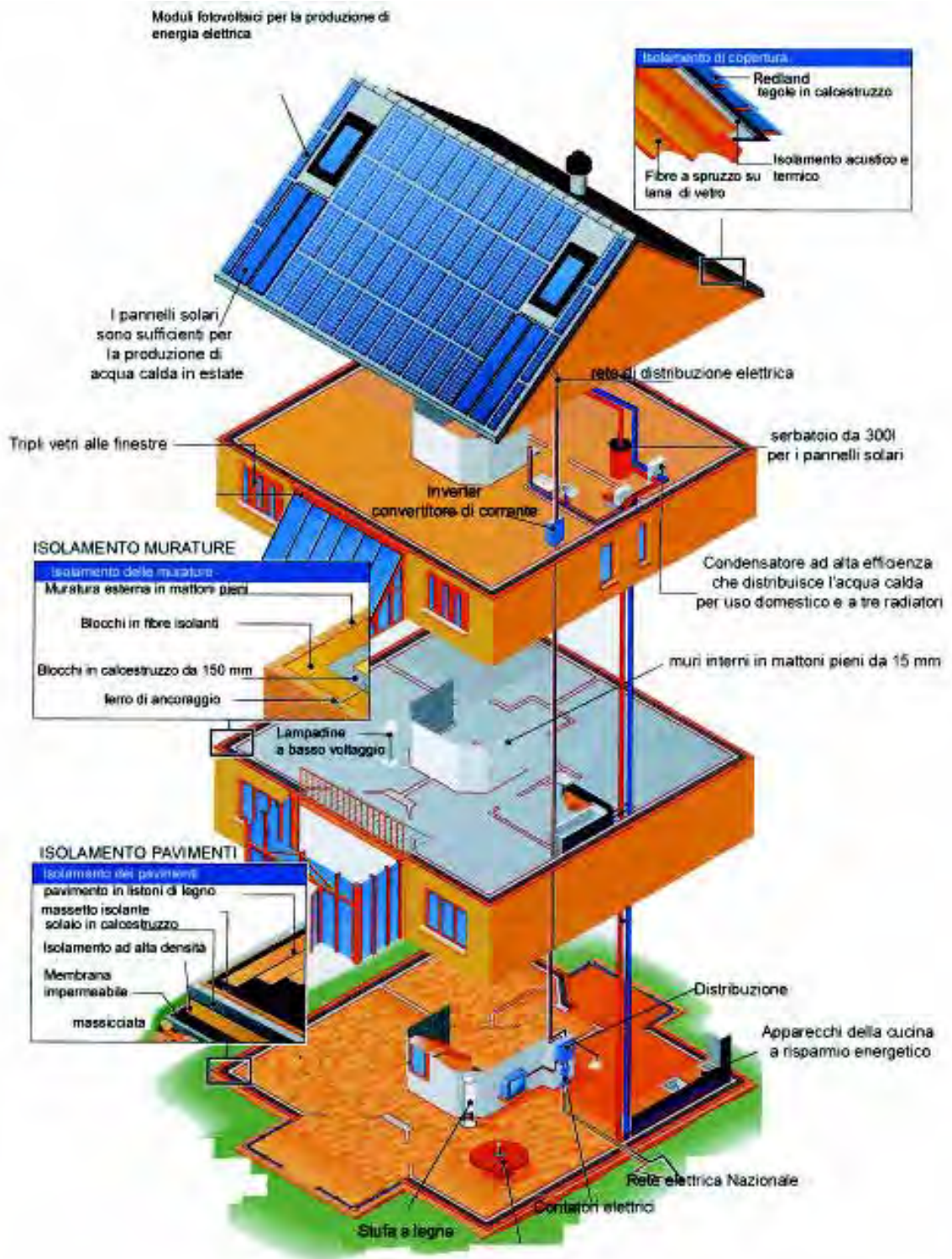
- circuito aperto,  $V_{oc} = 16 \times 22.03 \text{ V} = 353 \text{ V}$
- $I_{sc} = 3 \times 5.00 \text{ A} = 15.00 \text{ A}$ ;
- alla corrente massima  $V = 288 \text{ V}$  e  $I = 14.16 \text{ A}$ .



Particolare della copertura FV integrata

Foto: L. Ceccherini Nelli





Sezione assometrica delle strategie energetiche adottate (Grafica: S.Roaf)

## A2. SCHEDE PROGETTI

I pannelli sono incorporati in telai in alluminio. Al posto dell'orditura secondaria tradizionale della copertura sono stati realizzati una serie di travetti in legno marino da 18 mm. Su di essi è stato posizionato uno strato di bitume che serve ad isolare l'impianto FV in modo tale da evitare il surriscaldamento della copertura con il riscaldarsi dei moduli. Su di esso è stata realizzata una griglia in profili di alluminio estruso corredati da canali per consentire lo scorrimento dell'acqua piovana.

I pannelli infine sono stati collegati da copri profili di sicurezza per evitare qualsiasi movimento dei moduli FV. Il colmo del tetto è sopraelevato per consentire la ventilazione della copertura e dei moduli. La ventilazione è importantissima poiché il rendimento dei moduli FV decresce all'aumentare della temperatura di essi.

I moduli FV sono connessi in tre stringhe collegate ad un inverter. L'impianto FV lavora ad una corrente nominale di 300 V. L'inverter è posto all'interno dell'edificio, allo stesso piano dei moduli.

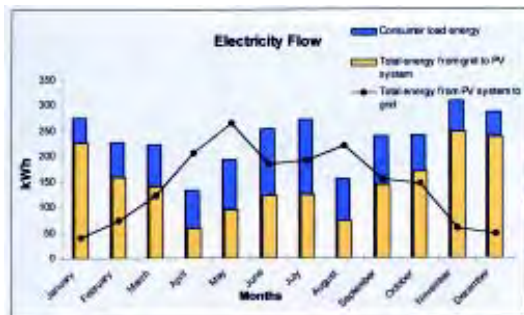
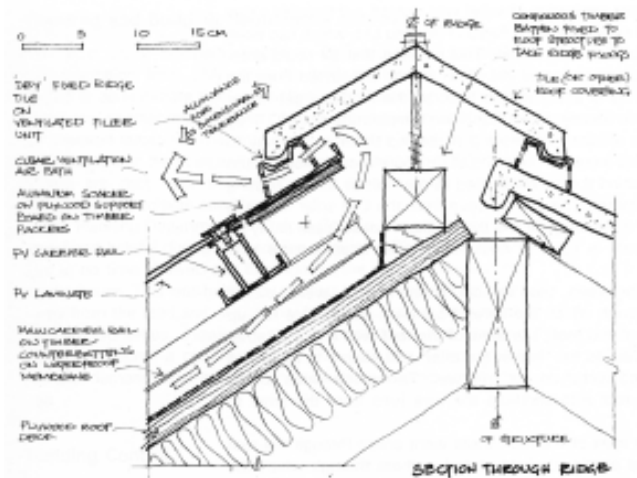
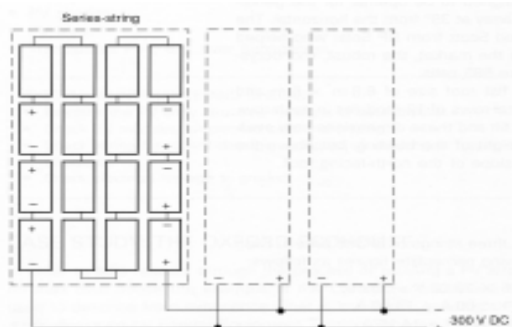
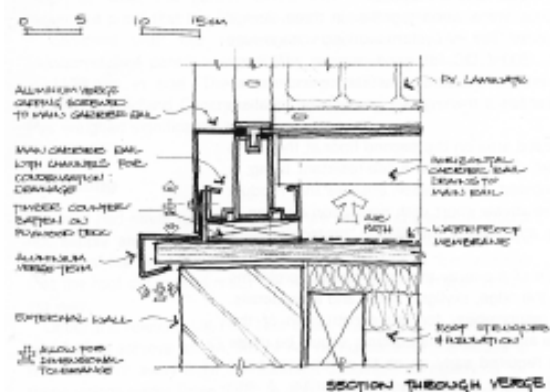


Diagramma della produzione di elettricità dell'impianto

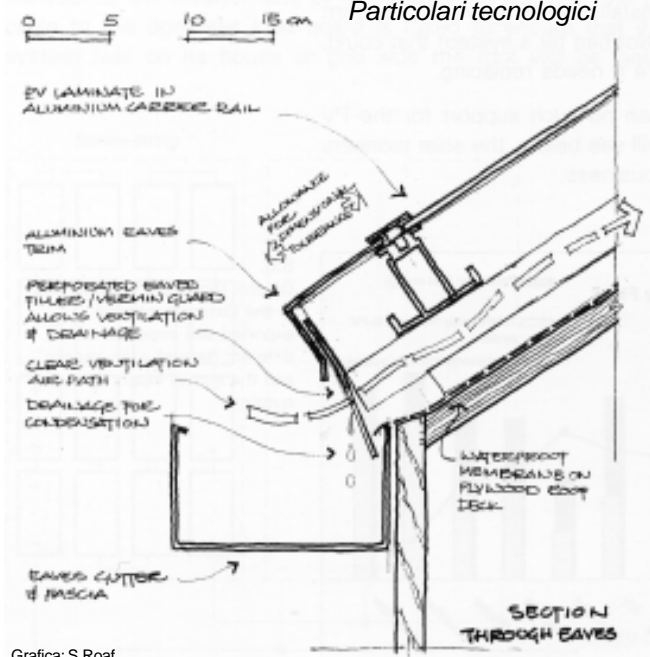
Connessione delle tre stringhe da 16 moduli.



8.10. Section through the ridge of the Oxford Ecohouse PV system Lineray Dair.



Particolari tecnologici



Grafica: S.Roaf



## A.2.5.

## Residenze nel distretto di Vauban a Friburgo, Germania

Dati tecniciProprietà

privata

Progettisti

Arch. Rolf Disch

Settore di sviluppo

abitazione

LocalizzazioneDistretto di Vauban  
Friburgo, GermaniaNuovo/Ristrutturazione

Nuovo

Produttore FV

SolarstromAG

Posizione dell'impianto FV

FV integrati in copertura

Superficie utilizzatada circa 30 m<sup>2</sup> a 100 m<sup>2</sup>Potenza nominale FV

da 3 a 10 kWp

Finanziamento

statale

Inizio funzionamento

2003

Una grande area compresa tra lo Schlierberg e le colline Schönberg è stata liberata dai militari francesi ed in questa zona è stato realizzato il distretto di Vauban, in posizione vicina al centro urbano. Un questa area ci sono numerosi edifici privati che utilizzano sistemi solari attivi e passivi. Oltre circa 120 abitazioni sono state costruite in quest'area utilizzando tecnologie solari e l'energia prodotta dai fabbricati copre quasi l'intera domanda di energia di queste abitazioni. Anzi talvolta producono più energia rispetto al fabbisogno ed il surplus viene ceduto alla rete elettrica locale. L'insediamento Schirsee nel quartiere di Vauban è attualmente uno dei maggiori progetti solari in Europa.

Gli edifici a schiera sono orientati a Sud, dove si affacciano le zone giorno mentre a Nord si trovano i locali di servizio. Gli edifici sono aperti al sole tramite grandi vetrate che illuminano e irradiano le camere al primo piano ed il soggiorno a piano terra, tutti i tipi di alloggi, di grandezze diverse, hanno questa disposizione dei vani. La copertura a falde inclinate è aggettante all'esterno per quasi circa 2 metri, ciò consente di ottenere, al primo piano, un adeguato ombreggiamento durante il mese estivo, mentre a piano terra i balconi ampiamente aggettanti offrono un buon ombreggiamento alla zona giorno. La falda inclinata delle coperture verso Sud è realizzata utilizzando una doppia copertura, una normale copertura in metallo e una copertura fotovoltaica. Sulla copertura un telaio in alluminio sospende i moduli fotovoltaici, creando un notevole effetto di luce tra le celle disposte distanziate tra di loro.



1e2

3e4



5

1. Quadro elettrico
2. Sistema di ventilazione
3. Scorcio di una installazione su tetto piano
4. Vista del sistema di riscaldamento
5. Vista lato Ovest di due edifici



## A2. SCHEDE PROGETTI

Il sistema di riscaldamento degli edifici è del tipo a pareti radianti, i muri ben isolati minimizzano le dispersioni all'interno degli alloggi, in inverno, la sensazione di calore è uniformemente distribuita.

I materiali utilizzati nelle abitazioni sono naturali e di provenienza locale, ad esempio il legno di rivestimento degli edifici, serve a migliorare l'isolamento e proviene dai boschi circostanti. Molte parti dell'edificio sono modulari e preassemblate in modo che i tempi di costruzione sono notevolmente ridotti così come i costi di costruzione. Speciali valvole d'aria nelle pareti rendono l'aria più fresca in estate, mentre in inverno scambiatori di calore cambiano l'aria viziata preriscaldando l'aria in entrata con quella in uscita.



11



6e7



Foto: L. Ceccherini Nelli

8,9,10,12,13,14,16 Viste degli alloggi 6,7,5 particolari della copertura fotovoltaica 11 sezione



12



13

8,9e10



14



15



16

11

## A.2.6.

## Copertura integrata, Boston, USA

Dati tecnici**Proprietà**  
privata**Settore di sviluppo**  
abitazione**Localizzazione**  
Boston, USA**Nuovo/  
Ristrutturazione**  
Nuovo**Produttore FV**  
Mobil Solar**Inverter:** American  
Power Conversion**Posizione dell'im-  
pianto FV**  
FV integrati in copertu-  
ra**Superficie utilizzata**  
40 m<sup>2</sup>**Potenza nominale FV**  
4,3 kW**Finanziamento**  
nessuno**Inizio funzionamento**  
1984

Questo edificio monofamiliare con copertura a falda è stato realizzato integrando la copertura con un impianto fotovoltaico. La falda esposta a Sud è inclinata a 45° ed è interamente "solare". Essa è divisa in tre sezioni: una centrale realizzata con collettori solari termici per la produzione di acqua calda e due ai lati realizzate con moduli FV per la produzione di elettricità. L'abitazione è stata realizzata nell'ambito di un programma governativo mirato a progettare un prototipo di casa di campagna a basso consumo energetico. I moduli FV senza alcun telaio sono la vera e propria copertura dell'edificio essendo totalmente a tenuta, e montati direttamente sulla struttura di supporto in legno del tetto, senza pertanto necessitare alcun tipo di impermeabilizzazione ulteriore. Una serie di aperture poste sulla parte superiore ed inferiore della copertura sono state progettate appositamente in modo da assicurare la massima circolazione d'aria dietro i moduli, evitandone il surriscaldamento. Insieme ai moduli fotovoltaici sono stati montati una serie di pannelli solari per la produzione di acqua calda. Per i collettori solari termici è stato utilizzato lo stesso tipo di vetro con l'obiettivo di rendere uniforme l'integrazione delle diverse tecnologie. L'edificio, nel 1984 è stato al centro di una serie di trasmissioni televisive, in modo da poter pubblicizzare l'uso delle energie rinnovabili anche nelle seconde abitazioni e nelle case di campagna.



Foto: S.Strong SDA

1



2



3

Foto: S.Strong SDA

1 fase di montaggio della  
copertura FV  
2,3 Viste generali dell'abi-  
tazione



## Villa Vision, Taastrup, Danimarca.

Villa Vison è un edificio sperimentale, per il dimensionamento e l'efficienza di moduli connessi in rete di 2.3 kWp, per poter standardizzare l'impianto FV nell'edilizia residenziale. L'obiettivo è stato quello di dimostrare che una piccola superficie di 20m<sup>2</sup> di FV può coprire il totale fabbisogno elettrico di una residenza.

L'impianto consiste in 2.3 kWp di moduli FV in silicio policristallino connessi in rete e collegati con un inverter.

I moduli sono integrati nella copertura del centro di sperimentazione dell'Istituto di Tecnologia di Taastrup.

L'edificio, simula una abitazione, è aperto al pubblico ed un monitor mostra in simultanea il rendimento del sistema FV.

L'impianto FV produce 2.000 kWh all'anno, che corrisponde al normale consumo di elettricità di una abitazione danese.

L'investimento è stato di circa 200,000 DKK nel 1993 escluso il programma di misurazione per il monitoraggio.

Il maggior contributo è stato finanziato dalla Agenzia Danese per l'Energia, ma i restanti 40,000 DKK sono stati finanziati dalla Solarex Cooperation.

L'edificio risulterà avere emissioni di CO<sub>2</sub> particolarmente ridotte, 2.000 kg per anno grazie alla presenza dell'impianto FV.



Foto: Villavision Laboratorierne - Teknologisk Institut

1

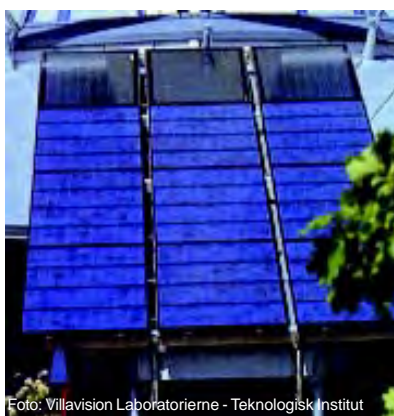


Foto: Villavision Laboratorierne - Teknologisk Institut

2

1 Vista laterale dell'edificio

2, 3 Particolare del sistema FV integrato con pannelli solari



3

### Dati tecnici

#### Proprietà

privata  
Danish Energy Agency

#### Progettisti

KFF Energy

#### Monitoraggio

Solar Energy Lab

#### Settore di sviluppo

Istituto di Tecnologia

#### Localizzazione

Danimarca

#### Nuovo/Ristrutturazione

Nuovo

#### Produttore FV

Solarex

#### Posizione dell'impianto FV

FV integrati in copertura

#### Superficie utilizzata

20 m<sup>2</sup>

#### Potenza nominale FV

2,3 kWp

#### Finanziamento

Danish Energy Agency

#### Inizio funzionamento

1993

#### Contatti

Solar Energy Lab.,

Danish Technological

Institute.

DK 2630 Taastrup



## A.2.8.

Dati tecnici

Proprietà  
privata

Settore di sviluppo  
abitazione

Localizzazione  
Alzenau, Germania

Nuovo/  
Ristrutturazione

Nuovo  
Produttore FV

Solartechnik

Posizione dell'im-  
pianto FV  
FV integrati in copertu-  
ra

Superficie utilizzata  
16 m<sup>2</sup>

Potenza nominale FV  
1,4 kW

Inizio funzionamento  
1984

## Hebel - Musterhaus, Alzenau, Germania.

L'integrazione FV sulla copertura dell'abitazione Hebel in Alzenau è molto interessante poiché prevede l'inserimento di moduli FV perfettamente complanari con la copertura. I moduli FV vengono combinati con tegole trasparenti per creare delle fasce di luce all'interno dei locali.

I moduli fotovoltaici sono realizzati come manto di copertura ancorati ad esso con giunti che consentono un perfetto isolamento e tenuta all'acqua.

L'impianto è diviso in due parti, ognuna di 8 mq pari ad una potenza di 0,7 kWp per un totale di 1,4 kWp.

Questo edificio è una sperimentazione realizzata dalla Solartechnik, per poter diventare una soluzione standard applicabile a molte altre abitazioni con copertura inclinata. La struttura di copertura è in legno e di supporto ai moduli FV alla quale sono fissati con ganci di ancoraggio per evitare lo scorrimento e consentire una facile manutenzione degli elementi. Le celle FV utilizzate sono in silicio monocristallino di colore blu semitrasparenti.



1

*1 Vista generale dell'edificio con i due impianti FV e i pannelli solari per la produzione di acqua calda*

*2 particolare delle tegole FV che sono state abbinare con le tegole trasparenti*



2

## Abitazioni "Alpine Close", Greenfields, Maidenhead, UK

Le 15 abitazioni solari realizzate in un quartiere periferico di Londra, sono state progettate tenendo conto dei principi di sostenibilità e risparmio energetico con elevati standard di isolamento sia per la copertura che per le pareti perimetrali, infissi isolati termicamente e un impianto Fotovoltaico posizionato sulle coperture. Le coperture sono state realizzate con tetti verdi e sulla parte superiore sono stati posizionati dei lucernari FV su un supporto in muratura.

L'impianto FV di tutti gli appartamenti produce una potenza di 20kWp ed è realizzato con moduli in silicio monocristallino. Il particolare sostegno in muratura degli impianti FV consente di ottenere l'inclinazione ottimale dei moduli e allo stesso tempo crea una intercapedine di ventilazione dei moduli in modo da evitarne il surriscaldamento.

L'impianto FV genera corrente e l'elettricità generata in eccesso viene reimmessa in rete e venduta all'Ente distributore. L'impianto è monitorato e la manutenzione è stata prevista periodicamente per assicurare il buon funzionamento dei moduli FV.

Altre tecnologie a basso impatto ambientale utilizzate nel complesso residenziale:

- risparmio di acqua per uso domestico: riciclo dell'acqua dei bagni e raccolta acque piovane con trattamento antibatterico, l'acqua viene utilizzata anche per l'irrigazione dei giardini.

- sistemi impiantistici innovativi per la riduzione del fabbisogno elettrico e l'ottimizzazione degli impianti.



**Dati tecnici**

**Proprietà**  
Maidenhead & District Housing Association

**Progettisti**  
Engineering Solarmarkt/  
Temtec Mr. Urs Kessler  
Solar Century

**Settore di sviluppo**  
abitazioni

**Localizzazione**  
Londra

**Nuovo/  
Ristrutturazione**  
Nuovo

**Produttore FV**  
Astropower  
celle in monocristallino

**Posizione dell'impianto FV**  
FV integrati in copertura

**Superficie utilizzata**  
172 m<sup>2</sup>

**Potenza nominale FV**  
20 kWp

**Inizio funzionamento**  
1998

Informazioni:  
[www.solarcentury.co.uk](http://www.solarcentury.co.uk)  
[www.integerproject.co.uk](http://www.integerproject.co.uk)



1, Viste delle serre e impianti FV  
2,3 particolare delle coperture verdi ed impianti FV

4

3



## A.2.10.

## Abitazione Raleigh Road , Londra UK

Dati tecniciProprietà

privata

Progettisti

Solar Century, Jeremy Leggett

Settore di sviluppo

abitazione

Localizzazione

Londra UK

Nuovo/Ristrutturazione

ristrutturazione

Produttore FVUnited Solar,  
Subhendu Guhatipo e posizione dell'impianto FV

UNI-SOLAR PV-Shingles, Fv integrati in copertura

Superficie utilizzata180 m<sup>2</sup>Potenza nominale FV

17 kW

Costo

circa 6,3 euro per kWp senza inverter e montaggio

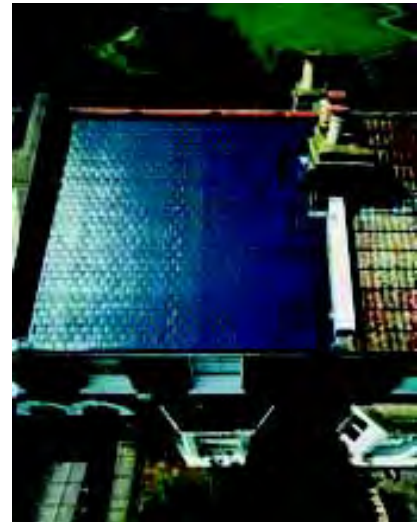
Altre informazioni[www.solarcentury.co.uk](http://www.solarcentury.co.uk)

Questa abitazione rappresenta il primo edificio, in Gran Bretagna, in cui sia stato installato, in una ristrutturazione, un impianto fotovoltaico con tegole FV. Il manto di copertura è stato interamente sostituito con questo materiale, la cui apparenza è molto simile ai manti di copertura tradizionali.

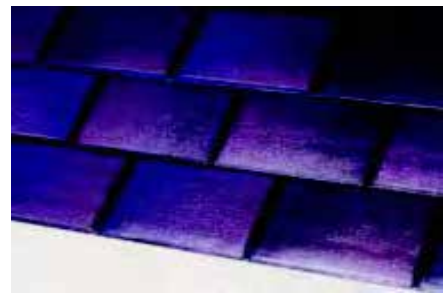
La corrente generata dall'impianto supera il fabbisogno dell'edificio pertanto l'eccedenza viene reimmessa in rete. Esteticamente l'edificio presenta una superficie FV uniforme di colore rossastro in modo da assomigliare quanto più possibile ai sistemi di copertura tradizionali. I moduli sono realizzati in silicio amorfo con spessore da 5 mm, montato e incapsulato su uno strato di elastomero TEFZEL resistente alla polimerizzazione.

Le celle FV laminate sono incollate su una plastica di colore scuro, materiale che provvede alla connessione tra le tegole FV. La tegola FV è formata da 12 celle montate in linea su un supporto plastico scuro, essa viene poi montata direttamente sulla struttura di legno della copertura.

La tenuta all'acqua è garantita dal sormontare di una tegola FV ad un'altra, tenute insieme dal particolare design del sistema. Le celle utilizzate sono in silicio amorfo e sono realizzate in tre strati a tripla giunzione ciò significa che tre strati attivi di silicio sono uniti in uno per ottenere la massima efficienza. L'efficienza delle celle è del 7% -8%.



1,2 Viste della copertura FV dell'abitazione a schiera  
3,5 particolari di montaggio dei moduli FV



2,3



4 Vista aerea dell'impianto FV



5



## Abitazione, progetto NEDO, Giappone

L'organizzazione (NEDO) "New Energy and Industrial Technology Development Organisation" ha realizzato diverse sperimentazioni in ambito fotovoltaico, con diverse applicazioni per l'edilizia residenziale, il progetto è stato iniziato nel 1993 e terminato nel 1995.

Anche in questo caso sono stati utilizzati moduli "PV-shingle" un pannello piano composto da moduli facilmente sovrapponibili. I pannelli utilizzano celle in silicio policristallino.

La struttura della copertura è stata realizzata in carpenteria metallica e i moduli sono stati avvitati direttamente su di essi.

Il sistema è a tripla giunzione e le celle incollate su un supporto plastico scuro. Le coperture giapponesi, usualmente di colore scuro, si addicono a questo tipo di soluzione fotovoltaica. L'impianto ha una potenza di 2,6 kWp sufficiente per il fabbisogno dell'edificio.

Il progetto, la realizzazione e il monitoraggio dell'impianto è stato a cura del Centro di ricerca giapponese NEDO.

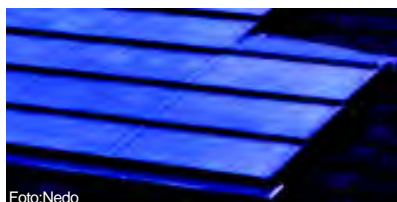


Foto:Nedo



1, 2 particolare del sistema FV integrato in copertura  
3 Vista generale dell'edificio con l'installazione FV



Foto: Nedo

### Dati tecnici

#### Proprietà

privata

#### Progettisti

NEDO-Research-Project: 'Exchangeable PV-Shingle'

#### Settore di sviluppo

abitazioni

#### Localizzazione

Giappone

Nuovo/

#### Ristrutturazione

Nuovo

#### Produttore FV

monocristallino

#### Posizione dell'impianto FV

Fv integrati in copertura

#### Superficie utilizzata

30 m<sup>2</sup>

#### Potenza nominale FV

2,6 kWp

#### Finanziamento

R&D-Project

#### Inizio funzionamento

1995

#### informazioni:

<http://www.nedo.go.jp/nedo-info/index-e.html>

<http://>

[www.caddet.co.uk/re/html/septari3.htm](http://www.caddet.co.uk/re/html/septari3.htm)

## A.2.12.

## Abitazione "Heliotrop", Friburgo, Germania.

Dati tecniciProprietà

Organizzazione privata

Progettisti

Rolf Dish architetto

Strutture

Krebsler e Freyler

SimulazioniStahl, Büro für  
Solarenergie, Dr  
Wilhelm StahlSettore di sviluppo  
abitazioneLocalizzazione

Friburgo

Nuovo/Ristrutturazione

Nuovo

Posizione dell'im-  
pianto FV

copertura

Superficie utilizzata54 m<sup>2</sup>Potenza nominale FV

6,6 kWp

Inizio funzionamento

1994

Questo edificio nasce come prototipo di residenza multifunzionale, abitata ora da una artista in cui ha realizzato l'abitazione e lo studio. Il principale obiettivo di questo edificio è la produzione di energia, infatti l'edificio attualmente produce da 5 a 6 volte l'energia che consuma. L'edificio a pianta tonda di 77 mq a piano terra ha una superficie complessiva di 180 m<sup>2</sup> e 60 m<sup>2</sup> di terrazze.

Heliotrop nasce come albero rotante che insegue il sole. Questa tipologia si presta ad essere utilizzata non solo come abitazione ma anche come uffici, caffetteria od un albergo. La realizzazione in elementi prefabbricati consente la rapida realizzazione di un edificio come questo. La copertura e le pareti esterne sono ben isolate con un coefficiente termico pari a 0.10 e 0.12 W/m<sup>2</sup>K. Le finestre sono ben isolate, una tubazione disposta su una superficie di 31.5m<sup>2</sup> viene utilizzata per il riscaldamento e l'acqua calda.

L'installazione fotovoltaica copre un'area di 54 m<sup>2</sup> generando una potenza di 6.6 kW. I moduli sono montati su un supporto metallico che a sua volta consente di inclinarli verso il massimo irraggiamento.



Foto: L.Ceccherini Nelli



Foto: L.Ceccherini Nelli



Foto: L.Ceccherini Nelli

1,3 Viste dell'abitazione  
2,4 Viste dell'impianto  
FV tra i tetti di altre  
abitazioni vicine



Foto: L.Ceccherini Nelli





6  
*Modello sperimentale dell'Heliotrop realizzato in fabbrica e monitorato per verificarne l'efficienza energetica. Da questa immagine è ben visibile la base di rotazione dell'edificio per ruotare verso il sole ed ottimizzare il rendimento degli impianti solari installati*



## A.2.13.

## Casa solare, Friburgo, Germania

Dati tecniciProprietà

Fraunhofer Institut for Solar Energy Systems

Progettisti

Fraunhofer Institut for Solar Energy Systems e altri

**Settore di sviluppo**  
abitazione

**Localizzazione**

Friburgo, Germania

**Nuovo/**

**Ristrutturazione**

Nuovo

**Produttore FV**

-

**Posizione dell'impianto FV**

FV integrati in copertura

**Superficie utilizzata**

36 m<sup>2</sup>

**Potenza nominale FV**

4,2 kW

**Finanziamento**

statali

**Contatti**

Fraunhofer Institut for Solar Energy Systems

L'edificio si sviluppa su due piani per una superficie di 145 m<sup>2</sup> ed è stato il primo edificio in Germania alimentato esclusivamente da energia solare. La domanda di corrente elettrica, riscaldamento, acqua calda è completamente coperta dallo sfruttamento dell'energia solare.

Durante questi anni l'abitazione è stata utilizzata da numerose famiglie e allo stesso tempo è stata oggetto di misurazioni ed esperimenti che hanno utilizzato anche tecnologie all'idrogeno. Attualmente l'edificio non è più utilizzato come residenza ma come uffici del Ministero Federale della Ricerca, piattaforma di sperimentazioni. Il piano terreno è formato da un settore circolare orientato a Sud, le pareti non finestrate e la copertura sono altamente isolate con un valore che oscilla da 0.16 a 0.19 W/m<sup>2</sup>K. La facciata Sud, 89 m<sup>2</sup>, è realizzata con un materiale altamente isolante (TWD) che serve come protezione isolante per il sistema solare passivo. L'annuale produzione di energia prodotta dall'edificio è di circa 6000 kWh. In copertura sono posti 14 m<sup>2</sup> di collettori solari che garantiscono la produzione di acqua calda nell'edificio fino ad una capacità di serbatoio di 1000l. L'installazione fotovoltaica copre una superficie di 36 m<sup>2</sup> per una potenza di 4,2 kW, l'impianto è collegato alla rete e a delle batterie che servono per l'accumulo a breve tempo. Per l'accumulo a lun-



1 Vista generale dell'edificio e dell'impianto FV

2 Particolare della facciata e del generatore FV

3 Il giorno dell'inaugurazione dell'impianto Fv

4 Vista delle scale che portano al generatore FV

## A2. SCHEDE PROGETTI

go termine stanno sperimentando un nuovo sistema ad idrogeno e ossigeno in elettrolisi.

L'idrogeno viene prodotto dall'installazione solare, immagazzinato sul posto, ed utilizzato per cucinare. In inverno, viene usato anche in aggiunta al riscaldamento attraverso bruciatori catalitici e per fornire elettricità con celle combustibili.

3



### Principi di risparmio energetico:

- Edificio alimentato esclusivamente con energia solare
- tecnologia all'idrogeno per l'accumulo a lungo termine di energia
- elevato isolamento termico
- edificio autosufficientemente riscaldato senza uso di sistemi di riscaldamento tradizionali
- Elevati standard abitativi



4

## A.2.14.

## 22 Abitazioni a Dordrecht, Olanda

Dati tecniciProprietà

privata

Progettisti

BEAR Architecten

Settore di sviluppo  
abitazioniLocalizzazione

Dordrecht

Nuovo/

Ristrutturazione

Nuovo

Produttore FVGSS (Benelux Solar  
Technical Systems)  
monocristallinoPosizione dell'im-  
pianto FV

FV integrati nei balconi

Superficie utilizzata209 m<sup>2</sup>Potenza nominale FV

22,64 kWp

Inizio funzionamento

1997

Informazioni:<http://www.bear.nl/>

Di notevole interesse è l'integrazione architettonica dell'impianto FV a Dordrecht, 22 abitazioni, utilizzati anche come schermature degli ingressi a piano terra. Le abitazioni rientrano all'interno di un più ampio progetto di edifici ad energia zero, che utilizzano pareti esterne isolate termicamente, infissi a tenuta con sistema di ventilazione per i ricambi d'aria e coperture verdi per aumentare la massa termica e ridurre le dispersioni. L'impianto utilizza una superficie di 209 m<sup>2</sup> per una potenza totale dell'impianto di 22,64 kWp. Gli impianti Fv formano un particolare motivo che crea movimento alle facciate, gli impianti ben si integrano nelle facciate delle abitazioni.



Foto: Bear architecten Gouda

1



Foto: Bear architecten Gouda

2



Foto: Bear architecten Gouda

3

1 Vista dell'edificio con le coperture verdi  
2,3 viste degli alloggi con gli impianti FV integrati

4



A.2.15.

Condominio, Friburgo, Germania.

L'edificio si sviluppa su 9 piani più i garage. L'edificio adotta strategie di risparmio energetico utilizzando ad Est ed Ovest un sistema di serre poste su tutte le parti finestrate. Le pareti perimetrali sono altamente isolate e la facciata Sud è interamente coperta da circa 200 moduli fotovoltaici in policristallino.

I moduli fotovoltaici sono posizionati in modo da realizzare un'intercapedine con la facciata dell'edificio e pertanto è possibile provvedere alla loro ventilazione.

La facciata fotovoltaica ha una superficie di circa 200 mq e genera una potenza pari a circa 20 kWp. L'impianto è connesso alla rete.



Foto: L. Ceccherini Nelli

1



2 Foto: L. Ceccherini Nelli



Foto: L. Ceccherini Nelli

3



Foto: L. Ceccherini Nelli

4

Dati tecnici

Proprietà  
Privata

Settore di sviluppo  
abitazione

Localizzazione  
Friburgo

Nuovo/  
Ristrutturazione  
Nuovo

Produttore FV  
Solar Fabrik

Posizione dell'im-  
pianto FV  
facciata

Superficie utilizzata  
200 m<sup>2</sup>

Potenza nominale FV  
20 kWp

Inizio funzionamento  
1999

1 Vista generale della facciata FV  
2 vista delle logge vetrate che contribuiscono all'accumulo energetico dell'edificio  
3, Viste della facciata FV integrata

## A.2.16.

## Abitazioni "Giardini solari a Munzingen, Germania

Dati tecniciProprietà

Siedlungsgesellschaft  
Freiburg GmbH/  
Freiburger Stadtbau  
GmbH

Progettisti

Rolf Disch,  
IST- Energietechnik  
GmbH, Forschungs- und  
Versuchsanstalt für Luft  
- und Raumfahrt,  
Stuttgart

**Settore di sviluppo**  
abitazioni

**Localizzazione**

Munzingen, Germania

**Nuovo/****Ristrutturazione**

Nuovo

**Posizione dell'im-**  
**pianto FV**

in copertura

**Superficie utilizzata**

50 m<sup>2</sup>

**Potenza nominale FV**

5 kWp

**Inizio funzionamento**

1996

*1 particolare della  
copertura fotovoltaica e  
collettori solari  
2 particolare dei  
collettori solari*

L'edificio si sviluppa su tre piani, 43 unità abitative per una superficie di 164 m<sup>2</sup>.

Le prime 8 unità sono state costruite nel 1994. Questo progetto è stato realizzato per essere autosufficiente dal punto di vista energetico.

Per raggiungere tale scopo, i sistemi solari attivi e passivi applicati all'edificio sono combinati ed inoltre l'involucro edilizio è ben isolato.

La realizzazione di questo edificio ha avuto lo scopo di creare una soluzione edilizia da prendere come esempio di edificio tradizionale a consumo zero di energia e allo stesso tempo ottenere elevati standard abitativi con unità a costi contenuti di energia.

L'edificio di forma ellittica, si sviluppa a Sud e la facciata a Nord è notevolmente ridotta.

L'orientamento dell'edificio è Nord-Sud e la struttura è in legno.

Le pareti perimetrali sono isolate con schiume poliuretatiche e fibre minerali, così come il soffitto del primo piano. L'acqua calda è garantita da 4 m<sup>2</sup> di collettori solari ed una caldaia a gas fornisce il riscaldamento all'edificio. Sulla copertura Sud sono stati installati 50 m<sup>2</sup> di moduli fotovoltaici per una potenza elettrica di 5.0 kWp.

L'impianto fotovoltaico è centralizzato mentre i collettori solari sono a diretto servizio delle unità abitative.

La copertura FV è posta sulla copertura preesistente con un sistema di profili che collegano i moduli standard tra di loro. I collettori solari sono sostenuti da una struttura di profili in metallo che è utilizzata anche come sistema di schermatura.



1



2



## Condominio a Rieselfeld, Germania.

Due edifici residenziali sono stati realizzati tra 1996/97 nel nuovo distretto di Rieselfeld. Gli edifici sono condomini di 4 piani e sono stati costruiti con criteri di risparmio energetico. Ogni unità a piano terra comprende due appartamenti di 324 m<sup>2</sup>.

Sulla copertura sono posizionati un impianto fotovoltaico e collettori solari, l'impianto FV serve anche per ombreggiare l'ultimo piano sul fronte Sud. Questo progetto ha avuto finanziamenti Europei per la sua costruzione pertanto è oggetto di regolari verifiche sul funzionamento e stato degli impianti solari. L'impianto fotovoltaico opera in parallelo con la rete di distribuzione, esso consiste di 30 moduli disposti su una superficie di 26,4 m<sup>2</sup> per una potenza di 3.0 kWp. L'installazione produce circa 2500 kWh annui sufficienti per la fornitura di corrente delle utenze dell'edificio. L'installazione FV è realizzata aggettante rispetto alla copertura ed è utilizzato come sistema di schermatura del piano più alto dell'edificio. I collettori solari coprono una superficie di 15 m<sup>2</sup> e provvedono a riscaldare l'acqua e a fornire un contributo per l'impianto di riscaldamento. L'installazione produce circa 2600 kWh di calore annuo. Le cisterne contengono 509 l oltre a ciò il riscaldamento è fornito da un impianto di distretto centralizzato.



1



2



3

### Dati tecnici

#### Proprietà

Costruttori privati

#### Progettisti

ARGE architetti

#### FV Progettisti

ZBO Solar Aktiv, Dr.B. Menner

#### Progettisti Collettori

Fa. Daub GmbH e Solar Vision

**Settore di sviluppo**  
abitazione

**Localizzazione**  
Rieselfeld

**Nuovo/  
Ristrutturazione**  
Nuovo

**Posizione dell'im-  
pianto FV**  
copertura-schermatura

**Superficie utilizzata**

26,4 m<sup>2</sup>

**Potenza nominale FV**

3 kWp

**Inizio funzionamento**

1996/97

1, 2 *Vista del generatore fotovoltaico*

3 *Vista generale dell'edificio*



## A.2.18.

## Edifici in linea, Amersfoort, Olanda

Dati tecniciProprietà

REMU

Progettisti

Claus &amp; Kaan

Settore di sviluppo

abitazioni

Localizzazione

Nieuwland

Amersfoort

Nuovo/Ristrutturazione

Nuovo

Produttore FV

Shell Solar, celle in policristallino

Posizione dell'im-

pianto FV

in copertura

Superficie utilizzata2832 m<sup>2</sup>Potenza nominale FV

294 kWp

Finanziamento

EC

Inizio funzionamento

1999

Progetto Europeo  
programma Thermie-,  
contratto No.: SE/178/  
96/NL:IT (pagine web  
[http://europa.eu.int/  
search/s97.vts](http://europa.eu.int/search/s97.vts)).

Le abitazioni fanno parte del complesso di Nieuwland ad Amersfoort, gli edifici in linea sono posti in via 'De Pitrus e Mattenbies'. I 119 edifici hanno le falde Sud completamente coperte con moduli fotovoltaici per una produzione elettrica di 215.000 kWh annue. Questi edifici fanno parte dell'installazione da 1 MW di tutta l'area, suddivisa tra residenze, scuole ed edifici sociali, in tutti questi progetti gli impianti fotovoltaici sono ben integrati architettonicamente.

Gli impianti FV di questi edifici sono realizzati con moduli standard e sono stati applicati direttamente sulla struttura di copertura, la tenuta all'acqua è garantita dalla presenza di guaina isolante.



Foto: Simmons

1



Foto: Simmons

2



Foto: Simmons

3

4



Foto: Tjerk reienga

1, Vista di via Mattenbies  
2,3 Particolari della copertura FV  
4 Vista generale del complesso

## Edifici in linea, Amersfoort, Olanda

Altre 50 abitazioni da affittare di proprietà della REMU sono state realizzate con impianti fotovoltaici integrati. Ogni abitazione dispone di 22,5 m<sup>2</sup> di copertura FV e 5,66 m<sup>2</sup> di pannelli solari, entrambi sono stati integrati nelle coperture di ciascun alloggio. La produzione annua di elettricità prodotta dal sistema è di 82.500 kWh annue. I moduli sono di produzione Shell solar, che ha fornito la maggior parte dei moduli del complesso da 1 MW. Questa soluzione architettonica FV è ancora diversa dalle altre installazioni realizzate su case in linea, in questo caso la copertura è realizzata a due falde poste sullo stesso lato ed interrotte da una fila finestre. Anche in questo edificio i moduli FV sostituiscono la copertura tradizionale. La copertura fotovoltaica può essere ventilata tramite le aperture sul prospetto Sud. Il progetto è stato finanziato dalla Comunità Europea.

### Dati tecnici

#### Proprietà

N.V. REMU regio  
Eemland

#### Progettisti

Architectenbureau Van  
Straalen, Han van  
Zwieten Grossmann en  
Henriksen, Reinhard  
Grossmann (Berlin)

#### Settore di sviluppo

abitazioni

#### Localizzazione

Amersfoort

#### Nuovo/

Ristrutturazione

Nuovo

#### Produttore FV

Schell solar

#### Posizione dell'impianto FV

in copertura

#### Superficie utilizzata

22,5 m<sup>2</sup> per abitazione e  
1107 m<sup>2</sup> in totale

#### Potenza nominale FV

2,2 kWp circa

110 kWp per i 50 edifici

#### Finanziamento

EC

#### Inizio funzionamento

1996



Foto: Simmons

1



Foto: Simmons

2

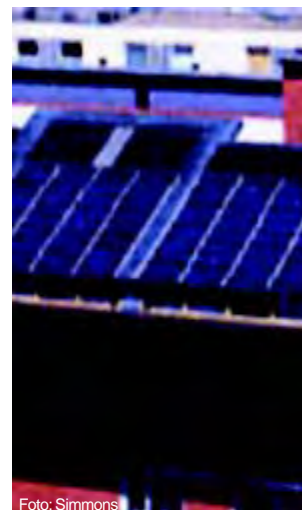


Foto: Simmons

3

1,2,3,4 viste generali dell'edificio e dell'integrazione FV  
5, fase di montaggio dei moduli FV sulla struttura portante in legno



4



Foto: Ecofys

5



Foto: Jan van Iken

6 particolare del giunto di ancoraggio



## A.2.20

## 19 Case a schiera, Amersfoort, Olanda

Dati tecniciProprietà

N.V. REMU, regio  
Eemland

Progettisti

rtes Architecten &  
Adviseurs; Jan Giezen

Settore di sviluppo

abitazione

Localizzazione

Amersfoort

Nuovo/Ristrutturazione

Nuovo

Produttore FV

Shell solar

Posizione dell'im-pianto FV

copertura

Superficie utilizzata

30 m<sup>2</sup> per apparta-  
mento

499m<sup>2</sup> per l'intero im-  
pianto

Potenza nominale FV

2,89 kWp

totale 55 kWp

Finanziamento

EC

Inizio funzionamento

1997

Le 19 abitazioni a schiera sono realizzate con coperture fotovoltaiche prefabbricate producono 4800 kWh annui. Le coperture fotovoltaiche generano ognuna una potenza di 2,89 kWp per un totale di 55 kWp connesse in rete. Il tipo di celle utilizzate è in silicio amorfo cristallino. Le abitazioni sono state terminate nel 1998.

In questo progetto i generatori FV sono supportati da una struttura in calcestruzzo che tramite apposite aperture consente una facile ventilazione della copertura e pertanto dei moduli fotovoltaici.

Le coperture FV inclinate di circa 50° rendono le abitazioni piuttosto particolari grazie anche alla colorazione blu delle celle in silicio policristallino.



1 Foto: G.Calvani, C.Rubini

1. Particolare della copertura FV

2. Vista Sud delle case a schiera

3. Fase di montaggio dei moduli FV



2 Foto: G.Calvani, C.Rubini



Foto: De Groot Vroomshoop

3



A.2.21.

Abitazioni progetto Jersey, Amersfoort, Olanda

Il progetto Jersey è composto da 154 abitazioni, di cui solo 99 sono dotate di impianto FV, poste lungo due strade con orientamento est e ovest, questo complesso è formato da appartamenti bifamiliari. Ogni blocco è dotato di una grande copertura, orientata a sud, inclinata di 23° ed alta 3 metri sul lato nord. La copertura è piana e praticabile, la copertura FV sul lato sud dista dalla facciata di soli 60 cm mentre sul lato a nord lo spazio è maggiore di quasi circa 2 metri. I moduli FV formano un'unica superficie e sono collegati agli inverter in serie di 6. Gli inverter sono posti nel sottotetto.

1,2,3, Coperture degli appartamenti del progetto Jersey



**Dati tecnici**

**Proprietà**  
N.V. REMU, regio Eemland

**Progettisti**  
Loof & Sticht Architecten, Amsterdam

**Settore di sviluppo**  
abitazione

**Localizzazione**  
Amersfoort

**Nuovo/ Ristrutturazione**  
Nuovo

**Produttore FV**  
Shell solar

**Posizione dell'impianto FV**  
copertura

**Superficie**  
3.480 m<sup>2</sup>

**Produttività**  
261.000 kWh

**Finanziamento**  
EC

**Inizio funzionamento**  
1999

4. Sezione copertura FV



## A.2.22.

## Progetto 'Cascade', Amersfoort, Olanda

Dati tecnici**Proprietà**

N.V. REMU, regio  
Eemland

**Progettisti**

Duinker & Van der  
Torre; Margreet  
Duinker

**Settore di sviluppo**

abitazione

**Localizzazione**

Amersfoort

**Nuovo/****Ristrutturazione**

Nuovo

**Produttore FV**

BP solar

**Posizione dell'im-****pianto FV**

copertura

**Superficie utilizzata**

672m<sup>2</sup> per l'intero im-  
pianto

**Potenza nominale FV**

circa 65 kWp

**Finanziamento**

EC

**Inizio funzionamento**

1999

Nel progetto denominato "Cascade" l'integrazione architettonica è inserita nella copertura di 32 abitazioni in linea.

L'energia prodotta è di circa 77.000 kWh.

Tutte le abitazioni di Amersfoort hanno lo stesso progetto di impianto elettrico per quanto riguarda il sistema fotovoltaico, sono stati impiegati 4 tipi di inverter; i principali fornitori sono stati la Mastervolt e l'ASP. E' stato creato appositamente per tutti gli impianti FV di Amersfoort l'inverter Sunmaster 2500, in grado di funzionare con stringhe di varie lunghezze e di varie potenze, in modo da essere versatile ed essere utilizzato per diverse tipologie architettoniche. Questo tipo di inverter può essere utilizzato da 4 fino a 8 stringhe di varie lunghezze ed inoltre ha integrato un sistema di monitoraggio per verificare eventuali anomalie di funzionamento.



Foto: G.Calvani, C.Rubini



Foto: Jan van Lijken



Foto: G.Calvani, C.Rubini

A.2.23.

Abitazioni a schiera, Amersfoort, Olanda

Il progetto del sistema FV da 1 MW si è basato su case unifamiliari, utilizzando in ampia misura uno schema di progetto FV standard. Le integrazioni fotovoltaiche sono state realizzate tramite l'inserimento di moduli standard in coperture, inclinate e piane. Questo esempio di integrazione è uno dei più integrati con la copertura, i moduli sono complanari in modo da formare un unico piano. Il progetto generale da 1 MW è stato suddiviso in sottosistemi, ognuno dei quali è stato fornito e installato chiavi in mano parallelamente alla costruzione del relativo edificio. L'installazione FV (per le residenze) media è composta da 25 m<sup>2</sup> di moduli, tutti standard composti da celle solari in silicio mono o policristallino, prodotte principalmente dalla Shell Solar Energy e dalla BP Solarex. In questo complesso i moduli FV sostituiscono una fila orizzontale di 4 tegole, i moduli FV vengono sovrapposti in senso verticale

Dati tecnici

Proprietà

N.V. REMU, regio Eemland

Settore di sviluppo abitazione

Localizzazione

Amersfoort

Nuovo/

Ristrutturazione

Nuovo

Produttore FV

BP Solarex

Posizione dell'im-

pianto FV

copertura

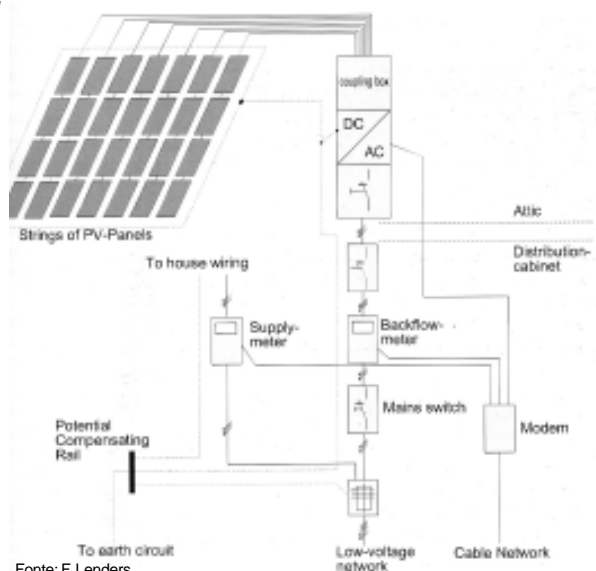
Finanziamento

EC

Inizio funzionamento

1999

1



1. Tipico schema degli impianti fotovoltaici di Nieuwland 1 MW System

2

Fonte: F. Lenders,

3



Foto: G.Calvani, C.Rubini

2. particolare del sistema di integrazione FV in copertura  
3. Vista generale del complesso



## A.2.24.

## Edifici multipiano, Amersfoort, Olanda

Dati tecniciProprietà

N.V. REMU, regio  
Eemland

Progettisti

**Settore di sviluppo**  
abitazione

**Localizzazione**

Amersfoort

**Nuovo/****Ristrutturazione**

Nuovo

**Posizione dell'im-  
pianto FV**

Facciata

**Superficie utilizzata**

100 m<sup>2</sup>

**Potenza nominale FV**

10 kWp

**Finanziamento**

EC

**Inizio funzionamento**

1998

In questo edificio, l'integrazione fotovoltaica è stata realizzata in facciata, sono stati utilizzati 100 moduli fotovoltaici in silicio policristallino, la facciata esposta a sud investe tutti i piani dell'edificio e l'energia prodotta viene consumata in egual misura dai condomini.

Le finestre che si affacciano sulla facciata fotovoltaica sono formate da 4 infissi di dimensione uguale ai moduli fotovoltaici, la struttura è realizzata in profili in alluminio di colore nero. Sempre nello stesso tipo di abitazioni sono state realizzate integrazioni con sistemi frangisole.

Queste costruzioni speciali sono ubicate in punti molto visibili nel quartiere di Water Quarter.



Foto: G.Calvani, C.Rubini

2

1. 2. Vista della facciata sud e dell'impianto FV formato da moduli standard in policristallino

Foto: G.Calvani, C.Rubini

## A2. SCHEDE PROGETTI

Le lamelle fotovoltaiche realizzate per questo edificio residenziale ad Amersfoort, sono posizionate sulla facciata sud.

La struttura di sostegno delle lamelle è realizzata in profili di metallo di colore scuro così come il supporto dei moduli è in vetro di colore grigio scuro.

L'impianto fotovoltaico realizzato con moduli Colt international copre una superficie di 370 mq ed è costituito da lamelle frangisole e moduli posti in parti di facciata.

Questo intervento, rappresenta una delle tante soluzioni tipologiche di integrazione con il fotovoltaico utilizzate ad Amersfoort. Le lamelle FV vanno ad occupare circa la metà della facciata e sono inclinate a circa 45° non orientabili. La distanza tra le lamelle consente una adeguata ombreggiatura della facciata ed al contempo, non permette di oscurare la vista dall'interno. L'integrazione architettonica di questo impianto fotovoltaico consente di ottenere una facciata diversa che oltre ad essere elemento di comfort climatico, come sistema di schermatura dalla radiazione solare consente una buona produzione di elettricità.

4



3. 4. *impianto realizzato con frangisole fotovoltaici*

3

### Dati tecnici

#### Proprietà

Achtgoed

#### Progettisti

Atelier Z; Zdenek  
Zavrel

#### Settore di sviluppo

abitazioni

#### Localizzazione

Nieuwland  
Amersfoort

#### Nuovo/

#### Ristrutturazione

Nuovo

#### Produttore FV

Colt International, celle in  
monocristallino

#### Posizione dell'im- pianto FV

facciata e frangisole

#### Superficie utilizzata

370 m<sup>2</sup>

#### Potenza nominale FV

circa 35kWp

#### Finanziamento

EC

#### Inizio funzionamento

1999



## A.2.25.

## Edifici residenziali, Panta Rhei, Amersfoort, Olanda

Dati tecniciProprietà

N.V. REMU, regio  
Eemland

Progettisti

Van Zwol BV,  
Amersfoort

**Settore di sviluppo**

abitazione

**Localizzazione**

Amersfoort

**Nuovo/****Ristrutturazione**

Nuovo

**Posizione dell'im-  
pianto FV**

Facciata

**Superficie utilizzata**

776 m<sup>2</sup> sulle abitazioni

94 m<sup>2</sup> sulle pensiline

**Produttore moduli**

Shell solar

**Potenza nominale FV**

85 kWp

**Produttività**

65,000 kWh

**Finanziamento**

EC

**Inizio funzionamento**

1999

La Comunità di Panta Rhei consiste in 50 appartamenti, di cui 38 con impianto FV, disposti simetricamente su entrambi i lati della strada. Una parte della copertura è integrata con moduli fotovoltaici. All'ingresso del complesso sono state realizzate due pensiline fotovoltaiche con moduli trasparenti vetro-vetro. Le facciate delle abitazioni rivolte a sud sono vetrate, in modo da accumulare calore durante il giorno con giornate soleggiate. La copertura che non è occupata dall'impianto FV è piana, i moduli FV sono inclinati di 18° e hanno una lunghezza di 1,20 m.



1 Foto: J. Van Lijken

1. Vista della pensilina FV vetro/vetro con celle distanziate



A.2.26.

“Nieuw - Sloten” Edifici in linea, Amsterdam, Olanda

Il complesso “Nieuw Sloten” fa parte di un quartiere di Amsterdam. Il complesso è formato da 34 abitazioni singole e 37 appartamenti in edifici in linea, le superfici integrate con impianti fotovoltaici sono i balconi degli appartamenti e le coperture degli edifici singoli. I moduli impiegati coprono una superficie di 2500 m<sup>2</sup> per una produzione di energia pari a 250 kWp. L'impianto FV è stato realizzato in parte da R&S con moduli Shell Solar Energy ed in parte con moduli laminati BP solar.

Dati tecnici

Proprietà

ENW Contactperson:  
Jadranka Cace

Progettisti

Duinker & van der Torre  
Michiel van der Torre

**Settore di sviluppo**

abitazioni

**Localizzazione**

Amersfoort

**Nuovo/**

**Ristrutturazione**

Nuovo

**Produttore FV**

R&S con moduli Shell Solar Energy e in parte laminati BP

**Posizione dell'impianto FV**

balconi e coperture

**Superficie utilizzata**

2500 m<sup>2</sup>

**Potenza nominale FV**

250 kWp

**Finanziamento**

EC

**Inizio funzionamento**

1996



Foto: G.Calvani, C.Rubini

1

1,2,3 Viste delle integrazioni FV in copertura



2 Foto: G.Calvani, C.Rubini

2

3



Foto: G.Calvani, C.Rubini

## A.2.27.

## Abitazioni solari a Langedijk Olanda.

Dati tecniciProprietà

Privati

Progettisti

BEAR Architecten

FV Progettisti

BP Solar

Settore di sviluppo

abitazione

Localizzazione

Langedijk e Alkmaar

Nuovo/

Ristrutturazione

Nuovo

Produttore FV

BP Solar

Posizione dell'im-

pianto FV

copertura

Potenza nominale FV

al termine di tutti i pro-

getti FV previsti 5 MW

I moduli fotovoltaici delle installazioni delle abitazioni a Langedijk risultano essere ben integrate architettonicamente, poichè sostituiscono le coperture tradizionali delle falde a Sud degli edifici.

La tenuta all'acqua dei moduli è stata garantita inoltre dalla presenza di pellicole impermeabili che ne garantiscono la durata nel tempo.

Questo progetto fa parte di un insediamento più ampio da 3.77 Megawatt- denominato 'HAL'. Questa area dove sorge l'insediamento 'HAL' (nuovo distretto) è una area periferica situata al centro di tre città Heerhugowaard, Alkmaar e Langedijk.

In questa area saranno realizzate 2600 abitazioni integrate architettonicamente con impianti fotovoltaici per una potenza totale di 3.775 kWp.



1 Foto: Bear architecten Gouda

1, 2 Edifici a Langedijk Impianto Fv da 131 kWp



Foto: Bear architecten Gouda

2



4 Foto: Bear architecten Gouda



Foto: Bear architecten Gouda

5



Foto: Bear architecten Gouda

3

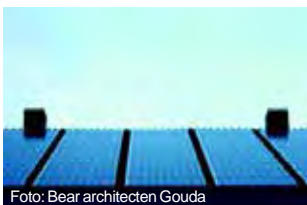


Foto: Bear architecten Gouda

6



7 Foto: Bear architecten Gouda



Foto: Bear architecten Gouda

8

4,5 Edifici a Langedijk impianto FV installato di 121 kWp

6,7,8 Edifici a Alkmaar

## Solgarden, abitazioni, Kolding, Danimarca

Le abitazioni in linea "Solgarden" a Kolding sono un esempio in cui impianto fotovoltaico è stato realizzato come retrofit. I balconi sono stati vetrati e un impianto fotovoltaico è stato inserito nei parapetti dei balconi vetrati. In copertura invece è stato creato un doppio tetto, che consente di evitare il surriscaldamento della copertura dell'edificio, ottenere un design architettonicamente apprezzabile ed infine l'impianto aggettante in facciata consente di avere un buon obreggiamento delle finestre all'ultimo piano.

I due impianti nel complesso generano 107 kWp e sono sufficienti al fabbisogno degli appartamenti. L'impianto in copertura è stato realizzato con moduli FV standard della Kinon mentre l'integrazione in facciata è stata realizzata con moduli trasparenti vetro/vetro temperati.

### Dati tecnici

#### Proprietà

Solgaarden Kolding

#### Progettisti

Kjaer + Tichter A/S

**Settore di sviluppo**  
abitazione

#### **Localizzazione**

Solgaarden - Kolding

**Nuovo/**

#### **Ristrutturazione**

ristrutturazione

#### **Produttore FV**

Kinon

#### **Posizione dell'impianto FV**

copertura e facciata

#### **Potenza nominale FV**

107 kWp

#### **informazioni:**

Gilling Byøkologi,  
Trindholmegade 21,  
6000 Kolding



1,2 particolare dell'impianto FV posto in copertura

3 fsacciata integrata con FV

4 vista generale



3

4





## A.2.29.

## Il Castello Groenhof, Flounders, Belgio

Dati tecniciProprietà

privata

Progettisti

Samyn &amp; partners

Settore di sviluppo

abitazioni

Localizzazione

Flounders, Belgio

Nuovo/Ristrutturazione

ristrutturazione

Produttore FV

Schüco

Posizione dell'impianto FV

frangisole

Inizio funzionamento

2001

Immagini e informazioni:  
 "FV Energia Solare", Anno4  
 n.2/2003 dall'articolo di  
 Cinzia Abbate

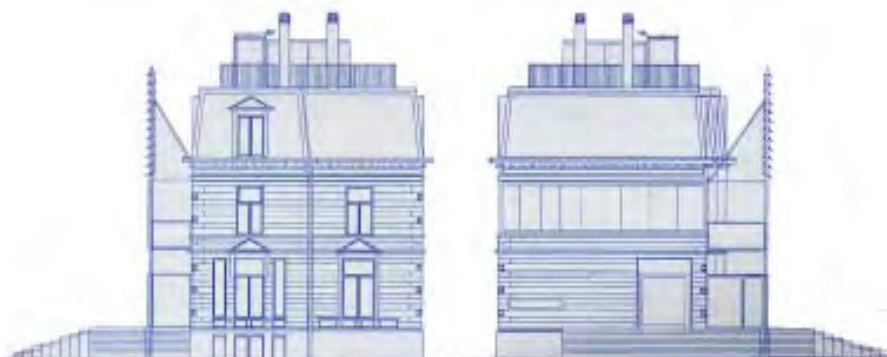
Particolare è l'intervento di retrofit del castello Groenhof, le prescrizioni date dalla Soprintendenza ai beni architettonici locale richiedevano che l'intervento fosse completamente amovibile. Il castello costruito nel 1830 è in stile francese ed è stato mantenuto tale su tutti i lati ad eccezione del prospetto a Sud, al quale è stato affiancata una nuova parete a 2,70 m di distanza.

La distanza tra le due facciate, l'originale in pietra l'altra in vetro e metallo è sede di una serra a piano terra, una loggia a primo piano con vetrate apribili per la ventilazione e alcuni frangisole fotovoltaici al secondo piano.

All'ultimo piano è stato realizzato un pergolato in acciaio, con collettori solari sulla copertura. I frangisole sono orientabili tramite un dispositivo posto all'interno dell'edificio.



1



2

- 1 particolare del pergolato posto sulla terrazza dell'edificio  
 2 Sezioni in cui è visibile la serra a piano terra  
 3 Vista del prospetto Sud con inseriti i frangisole FV



3

## A2. SCHEDE PROGETTI

Questa seconda facciata è asimmetrica come l'edificio. I sette moduli della facciata corrispondono all'organizzazione elettrica dell'impianto FV. Le stringhe collegate verticalmente consentono di limitare le perdite di efficienza dell'impianto, dovuti a possibili parziali problemi di ombreggiatura dovuti alla presenza di alberature vicine.

In alcuni momenti della giornata, le prime due stringhe risultano parzialmente ombreggiate dalle alberature vicine. Il disegno delle celle in silicio trasmettono alla facciata in pietra piacevoli effetti cromatici di colore.



5



4 vista dei frangisole fotovoltaici  
5 due viste dell'interno dell'edificio  
6 Vista della facciata Sud con l'intervento di miglioramento energetico dell'edificio.



6



## A.2.30.

## Bowater House, West Midlands, UK

Dati tecniciProprietà

Sandwell Building  
Service Division

Progettisti

Ove Arup, Cladding  
Systems Ltd.

**Settore di sviluppo**  
abitazioni

Localizzazione

West Midlands

Nuovo/

**Ristrutturazione**  
ristrutturazione

Produttore FV

BP solar

**Posizione dell'impianto FV**

facciata

Superficie utilizzata

-

Potenza nominale FV

14,9 kWp

Finanziamento

DTI

Inizio funzionamento

1994

Il progetto di integrazione architettonica è stato realizzato sulla facciata di un edificio costruito negli anni 60'.

Con la partecipazione del progetto ad Agenda 21, la Sandwell Building Division, proprietaria dell'immobile, ha commissionato la progettazione di integrazione fotovoltaica sulla facciata Sud dell'edificio.

Bowater House è un edificio a 9 piani con 36 appartamenti, gli alloggi dispongono dei soggiorni e camere orientati ad Est, mentre ad Ovest sono disposte le cucine e i bagni.

L'installazione fotovoltaica è stata realizzata sulla facciata con 36 moduli (1,3x1,1 m) con celle FV blu integrate. La decisione di limitare l'impianto ad una parte di facciata è dovuta alla difficoltà di immettere l'energia prodotta in eccesso nella rete di distribuzione.

L'impianto produce 14,9 kWp. Questo intervento migliora l'edificio per efficienza energetica e per isolamento termico, la nuova facciata offre una maggior protezione isolante rispetto alla precedente. L'impianto fotovoltaico ha avuto un costo di £84.000. L'installazione FV provvede ad una produzione annua di corrente pari a 10.000 kWh. Il periodo di ritorno dell'investimento è stato stimato di 15 anni, ma il fattore più importante è stato dato dal risparmio di 7000kg/anno di emissioni di CO<sub>2</sub>.



1

1. *prospetto prima dell'intervento*

2. *Integrazione architettonica FV in facciata*



2

Prospetto con l'integrazione FV



## Rifugio alpino, Malga Cimana (Trento)

Malga Cimana sorge nel Comune di Villa Lagarina, inserita in un ambiente naturale nel Trentino, vicino al lago Cei.

La Malga inizialmente adibita a stalla e caseria, è stata trasformata dopo gli interventi di ristrutturazione, in una sorta di rifugio alpino in cui aspetti produttivi, turistici e culturali si integrano. Sono state realizzate una serie di camere da letto e servizi, per ospitare e32 persone, si è creto un punto vendita per prodotti agricoli locali, un punto di ristorazione per 50 persone, una sala convegni, mostre e uno spazio espositivo. Poichè la Malga non era elettrificata, è stato realizzato un impianto stand-alone di 6,30 kWp e un collettore solare a tubi sottovuoto di circa 13m<sup>2</sup>.

L'impianto fotovoltaico è stato realizzato con un sistema di moduli trasparenti con celle distanziate, in modo da formare un lucernario centrale sul lato sud-est, i collettori solari sono stati posti sulla stessa falda, in posizione più bassa rispetto all'impianto FV. La creazione del lucernario centrale consente la diffusione della luce all'interno dell'edificio, funzionando come un camino solare "light pipe". Il lucernario ha un'inclinazione di 30° e un azimuth di circa 20° verso est.

Sono stati effettuati calcoli sulle ombre, della vegetazione e dei rilievi montuosi, per poter posizionare correttamente l'impianto FV. La struttura di copertura è in legno lamellare d'abete. Sulla sommità è stato realizzato il lucernario con strutture Schüco, con moduli in vetro-vetro di sicurezza bassoemissivi (Saint Gobain - Glass solar prosol) con celle ASE monocristalline. Sono stati installati sessantacinque moduli FV. Il calcolo della distanza tra le celle è stato determinato realizzando alcuni prototipi, per studiare l'effetto del pannello in controluce. Per ottimizzare il rendimento dell'impianto i moduli sono stati suddivisi in 5 stringhe. Due doppie stringhe sono collegati ad inverter Sunny Boy 700 E e una stringa è collegata a un Sunny Boy 850E, a loro volta sono collegati a due Sunny Island da 3,3 kW e da un Sunny Boy Control. Da questi si ha la gestione e l'interfaccia con il pacco batterie e con il generatore diesel. La produzione annua è stata di circa 10.500 kWh e una conseguente riduzione di CO<sub>2</sub> annua pari a 5.575 kg. I pannelli solari, inclinati a 30° sono di tipo Viessmann con riscaldamento a serpentina in acciaio di 500 litri.

### Dati tecnici

#### Proprietà

Comune di Villa Lagarina

#### Progettisti

Leoni & Leoni

#### Settore di sviluppo

rifugio alpino

#### Localizzazione

Comune di Villa Lagarina (TR)

#### Nuovo/Ristrutturazione

ristrutturazione

#### Produttore FV

ASE e strutture Schüco

726x1183 mm

Inverter Sunny Boy

#### Posizione dell'impianto FV

copertura

copertura

#### Potenza nominale FV

6,30 kWp

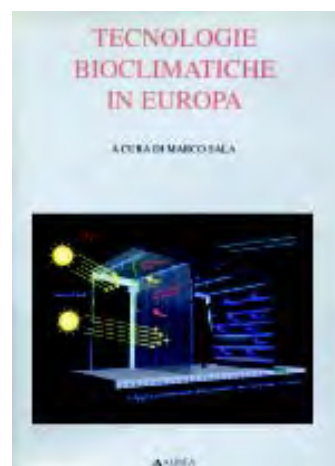
Immagini e informazioni tratte da "Fotovoltaici" FV n. 1/2005, articolo di Emiliano Leoni

- 1 vista del lucernario FV posto in copertura
- 2 vista interna del lucernario FV
- 3 particolare





Altre pubblicazioni della stessa collana





Fra le diverse tecnologie messe a punto per lo sfruttamento dell'energia solare, quella fotovoltaica è la più innovativa e promettente, a medio e lungo termine, in virtù delle sue caratteristiche di modularità, semplicità, affidabilità, ridotte esigenze di manutenzione ed in continuo progresso.

L'integrazione strutturale, elettrica e architettonica dei sistemi fotovoltaici negli edifici, permette di ridurre in maniera consistente il costo degli impianti, per la parte relativa al generatore vero e proprio, che costituisce una parte rilevante dell'installazione.

A causa della continua crescita della popolazione mondiale e dei relativi fabbisogni, la problematica energetico-ambientale rappresenta negli ultimi anni uno degli argomenti di maggiore interesse, a livello tanto scientifico, quanto politico e sociale. I paesi industrializzati si trovano oggi a dover elaborare, improrogabilmente, delle soluzioni contro il progressivo degrado dell'ecosistema del pianeta, dovuto all'evoluzione intensiva delle attività umane.

Questo libro intende fornire un repertorio di soluzioni architettoniche e tipologiche per l'integrazione architettonica della tecnologia fotovoltaica, oltre che un repertorio di prodotti, facili da installarsi, in modo da informare progettisti e tecnici del settore sullo sviluppo e sulle possibilità che questa tecnologia offre. Nel solo settore edilizio, il fotovoltaico rappresenta, al giorno d'oggi, una tecnologia prossima alla maturità e caratterizzata da innumerevoli vantaggi che consistono: nel ridotto impatto ambientale, nella possibilità di produzione decentrata dell'elettricità direttamente nei luoghi di utilizzo (con particolare riferimento alle utenze remote o isolate), nella modularità delle realizzazioni possibili (che possono variare da propria taglia da installazioni della potenza di pochi watt alle grandi centrali da alcuni megawatt), il progressivo sviluppo del settore, inoltre, lascia prevedere buone prospettive commerciali e occupazionali, che andrebbero a sommarsi ai benefici ambientali ottenibili.



**GIORGIO RAFFELLINI**, laureato in Ingegneria elettronica presso l'Università di Bologna, è Prof. Ordinario di "Fisica Tecnica Ambientale ed Impianti Tecnici", ed incaricato di "Tecnologia delle Fonti d'Energia Rinnovabili", presso la Fac. d'Architettura dell'Univ. di Firenze. Docente a vari Corsi post-universitari di Specializzazione e di Perfezionamento in varie sedi. È Direttore del Laboratorio di Fisica Tecnica Ambientale dell'Univ. di Firenze. Dal 1997 ad oggi è nominato Energy Manager dell'Università di Firenze.

**MARCO SALA**, laureato in Architettura presso l'Università di Firenze, è Prof. Ordinario di "Tecnologia dell'Architettura", ed incaricato di "Laboratorio di sintesi finale" presso la Fac. d'Architettura dell'Univ. di Firenze. Direttore vicario e fondatore del Centro Interuniversitario di Ricerca ABITA (Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'Ambiente) fra gli Atenei di Firenze, Roma, Napoli e Milano e docente in corsi di perfezionamento in tecnologia per il risparmio energetico alle Università di Firenze, Roma e Bologna. Coordinatore del Master Universitario di II livello ABITA (Progettazione sostenibile dell'ambiente costruito) alla Facoltà di Architettura di Firenze. L'attività professionale e di ricerca è rivolta prevalentemente agli aspetti energetici in architettura e più specificatamente nell'ambito della "Architettura Bioclimatica", tendente ad ottimizzare i rapporti dell'architettura con il clima, ai fini di un risparmio energetico e nel quadro di una consapevole salvaguardia ambientale.

**LUCIA CECCHERINI NELLI** architetto, laureata presso la Facoltà di Architettura di Firenze nel 1988. Dal 1990 collabora all'attività didattica e di ricerca nel Dipartimento di Progettazione e dal 1992 nel Dipartimento di Tecnologia dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini", e con il Centro Interuniversitario Abita, dove svolge il dottorato di ricerca dal 2000 in Tecnologia dell'Architettura. L'attività di ricerca è volta principalmente alle tecnologie innovative e al risparmio energetico negli edifici, ed in tale ambito è autrice di diverse pubblicazioni: (1993) *Tecnologie Solari*, (1994) *Tecnologia bioclimatica in Europa* e (2000) *Schermature Solari*, (2002) *Integrazione architettonica del fotovoltaico*, 13 casi studio in Toscana, (2004) *Economia della Sostenibilità*, (2004) *Impianto fotovoltaico integrato da 20 kWp per l'edificio aule e biblioteca a Sesto Fiorentino*, oltre a numerosi saggi e articoli pubblicati in riviste e manuali del settore. Nell'ambito dell'architettura sostenibile e energie rinnovabili collabora alla realizzazione di diverse mostre di architettura in Italia e all'estero e all'organizzazione di convegni e concorsi internazionali. Partecipa alla progettazione di diversi edifici, studiando sistemi integrati per la riduzione dei consumi e tecnologie integrate che utilizzano l'energia fotovoltaica.

**FRANCESCO CARIELLO**, laureato in Ingegneria Elettrica presso l'Università di Padova, si è specializzato in impianti di produzione, con particolare interesse nel settore delle fonti rinnovabili. Ha acquisito un'ottima conoscenza dei sistemi fotovoltaici anche grazie all'attività svolta nell'ambito dei programmi ministeriali "Tetti fotovoltaici" e "Isole Minori"; ha partecipato alla progettazione e alla realizzazione di numerosi impianti connessi alla rete anche ad alta valenza architettonica. Coordina partenariati europei ed internazionali nello sviluppo di progetti di promozione e sviluppo delle fonti rinnovabili di energia. È autore di diversi articoli scientifici sull'argomento. Collabora con agenzie energetiche e con amministrazioni pubbliche per la realizzazione di interventi di risparmio energetico.

