



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

# FLORE

## Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Integrazione dei sistemi Fotovoltaici negli edifici,**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Integrazione dei sistemi Fotovoltaici negli edifici, / L.Ceccherini Nelli. - STAMPA. - (2002), pp. 292-301.

*Availability:*

This version is available at: 2158/352404 since:

*Publisher:*

Alinea

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

(Article begins on next page)

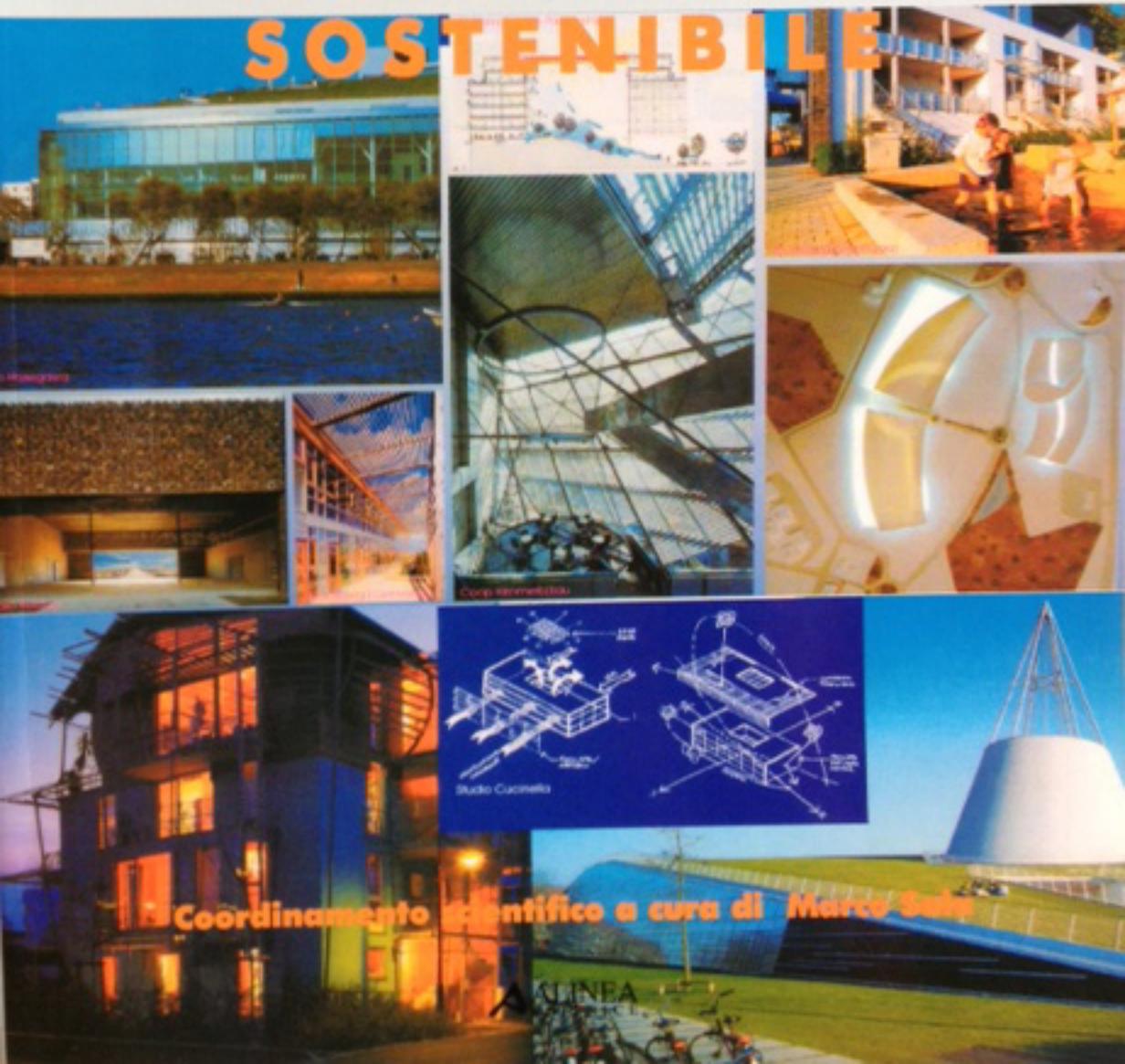
# CENTRO ABITA

Architettura **B**ioecologica e **I**nnovazione **T**eologica per l'**A**mbiente



a cura di Paola Gallo

# PROGETTAZIONE SOSTENIBILE



## Integrazione dei sistemi fotovoltaici in architettura

Lucia Ceccherini Nelli

Lucia Ceccherini Nelli, dottore di ricerca in Tecnologie dell'Architettura, svolge attività didattica e di ricerca presso il Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini", della Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze.  
E-mail: lucia.ceccherini@toed.unifi.it

### 1. Introduzione

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 del totale.

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 cen-

trali 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.

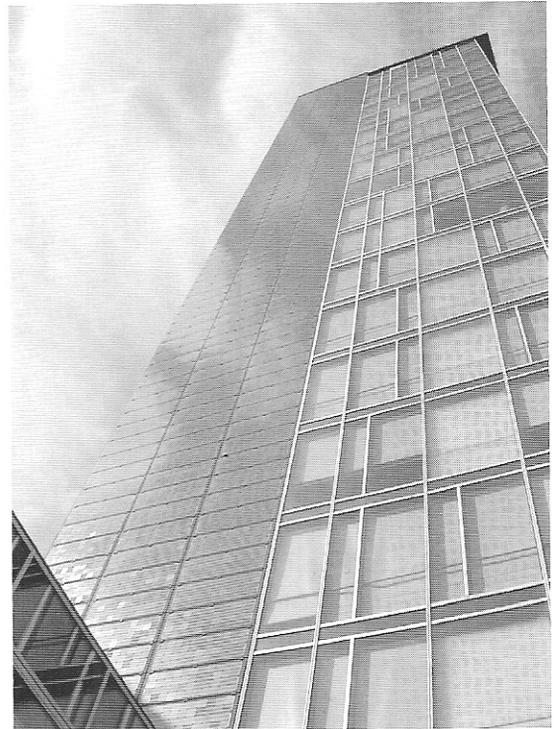
I principali obiettivi sono:

- miglioramento delle prestazioni dei componenti;
- aumento della durata di vita degli impianti;
- aumento della richiesta;
- messa a punto di tecniche produttive più economiche per una produzione tecnologica standardizzata.

In generale le opportunità offerte dalle applicazioni nel settore delle costruzioni si dimostrano determinanti: l'inserimento degli impianti fotovoltaici nelle facciate e nelle coperture può rendere gli edifici entità ad alta efficienza energetica capaci di provvedere autonomamente alla copertura totale o parziale del proprio fabbisogno di elettricità. Il potenziale dell'architettura solare è enorme e lascia intravedere ottime prospettive di sviluppo. Nel campo dell'integrazione architettonica dei sistemi fotovoltaici, negli ultimi anni si sta



*Fig.1 Stazione di Friburgo, facciata fotovoltaica integrata in policristallino*

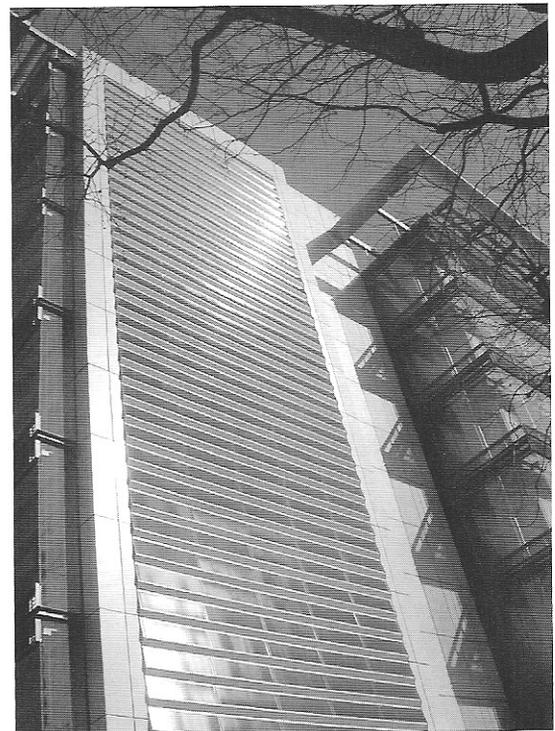


*Fig.2. Edificio multipiano con facciata fotovoltaica in policristallino*

facendo strada una concezione evolutiva del loro impiego, a recuperare la frazione di radiazione solare incidente sui moduli e non convertita in elettricità, sotto forma di calore da impiegare all'interno dei fabbricati. Si parla, allora, di sistemi ibridi fotovoltaici - termici, pensati per la cogenerazione di elettricità e calore da fonte solare.

Gli studi e le sperimentazioni sui sistemi ibridi hanno l'obiettivo di fornire una soluzione simultanea per queste problematiche, e negli ultimi anni sono stati sviluppati moduli ibridi, fotovoltaico e termico con costi competitivi, in grado di essere utilizzati come moduli integrati negli edifici.

In questo modo è possibile recuperare l'energia termica altrimenti dissipata diminuendo contemporaneamente la temperatura di esercizio delle celle fotovoltaiche. I vantaggi legati a questi sistemi sono notevoli e in primo piano evidenziano le potenzialità connesse all'impiego architettonico dei sistemi ibridi, che pos-



*Fig. 3 Ministero deell'Ambiente a Monaco in Germania con facciata ventilata in film sottile.*



Fig.4 - Assicurazioni Allianz- Monaco, Germania

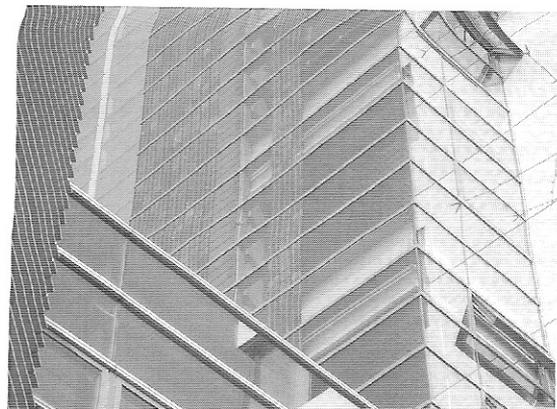


Fig.5 - Cooperativa legnami -Monaco, Germania

sono essere applicati su facciate e coperture, andando a costituire involucri a elevato contenuto tecnologico, capaci di interagire con l'edificio riducendone il consumo energetico complessivo.

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

Questa tecnologia e' 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 recente programma nazionale di incentivazione, 'Programma Tetti Fotovoltaici', con la realizzazione di numerosi impianti, ha cercato di ottenere una maggiore competitività dei sistemi applicati.

Gli incentivi in conto energia sarà il nuovo tipo di supporto alla realizzazione di impianti fotovoltaici appena diventerà attuativo il Decreto Legislativo n. 387 che recepisce la Direttiva Europea 2001/77/CE.

## 2. Progettazione e integrazione architettonica del fotovoltaico

Nella progettazione di un edificio dotato di un sistema fotovoltaico integrato è generalmen-

te richiesta la realizzazione di un elemento di facciata o copertura che dovrà rispondere a specifiche esigenze, che possono essere di tipo estetico (colori, dimensioni, forme, ecc.) o di tipo luminoso (passaggio o meno della luce naturale). E' quindi richiesta una vera e propria progettazione dell'elemento con la relativa struttura di supporto e di procedura di montaggio. Questo compito generalmente deve essere assolto da un designer fotovoltaico, poiché in esso rientrano molteplici fattori che solo un buon progettista della tecnologia fotovoltaica conosce. Un ottimo prodotto fotovoltaico da integrare nella struttura edilizia è di fondamentale importanza nella qualità finale e complessiva del progetto.

Infine, dal momento che ancora oggi il fotovoltaico è una tecnologia molto costosa, la sua applicazione dovrà essere studiata e progettata in modo tale da ottenere i maggiori vantaggi possibili. E' proprio all'inizio in fase di progettazione che è opportuno valutare attentamente se ci sono delle condizioni favorevoli all'applicazione, quali le condizioni macro e microclimatiche, la presenza o meno di ostruzioni fisiche che possano ostacolare la radiazione solare. Il fotovoltaico dovrà quindi essere parte dell'idea iniziale del progetto e dovrà rispondere sia alle esigenze estetiche formali richieste dagli architetti, sia alle esi-

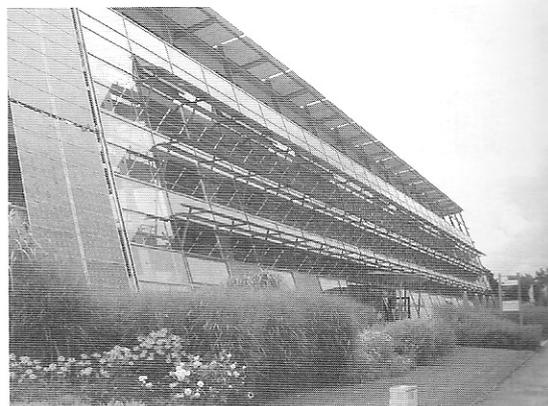


Fig.6,7- Solar Fabrick Friburgo Germania, moduli frangisole e in facciata fotovoltaici in policristallino

genze funzionali richieste dagli ingegneri. La sostituzione del materiale da costruzione con un prodotto fotovoltaico consente di ridurre il valore del primo dal costo totale dell'impianto fotovoltaico.

L'idea di integrare il fotovoltaico nell'edilizia ci porta, come primo risultato, a considerare l'impianto da un punto di vista completamente diverso:

- se l'impianto è parte integrante dell'edificio, i costi della sua struttura di supporto e del terreno su cui insiste sono già coperti;
- nel caso di tipologie di integrazione legate anche a soluzioni bioclimatiche, come gli elementi di ombreggiamento e le facciate ventilate, un componente costruttivo fotovoltaico può anche incidere direttamente sulla riduzione dei costi di gestione termica dell'edificio, ad esempio sul raffrescamento artificiale;
- esiste un beneficio economico particolarmente interessante legato al fotovoltaico in generale all'interno degli edifici, in particolare modo di quelli commerciali, il consumo della maggior parte dell'energia richiesta avviene durante il giorno, quando questa è più costosa; pertanto è possibile ridurre i costi di picco;
- il fotovoltaico integrato alla costruzione, invece, appartiene al proprietario dell'edificio. L'energia prodotta è integralmente di sua

proprietà e sarà in buona parte utilizzata direttamente dalle sue utenze.

Il nuovo sistema produttivo di energia potrà essere composto da medi, piccoli e piccolissimi generatori fotovoltaici strettamente integrati negli elementi edilizi e nelle infrastrutture urbane.

### 3. Posizione dell'impianto fotovoltaico

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

#### Le caratteristiche del sito

Il clima, la latitudine e le condizioni sismiche sono tutti fattori che influiranno sull'aspetto economico di un sistema fotovoltaico integrato in un edificio.

Per ottenere la massima efficienza dei moduli fotovoltaici, essi devono orientarsi a sud, non essere mai in ombra ed essere inclinati con un angolo equivalente alla latitudine locale meno circa  $10^\circ$ .

Le facciate degli edifici, invece, sono generalmente verticali, facciate orientate ad est ed ovest funzionano relativamente bene ad angoli vicini ai  $90^\circ$ , con una resa pari a  $60\%$  rispetto a quella ottimale a sud. Questo si deve



Fig.8- Residenze a Vauban, Friburgo, Germania - coperture fotovoltaiche in policristallino

all'inclinazione del sole la mattina ed il pomeriggio.

#### Posizionamento

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

In aree urbane ad alta densità, particolare attenzione deve essere posta per evitare le ombre proiettate da edifici vicini sulla superficie dei moduli fotovoltaici, che portano alla diminuzione dell'efficienza del sistema. E' per questo motivo che sono le superfici più alte ed essere le più adatte a ospitare i moduli, perché sono le meno soggette ad essere ombreggiate.

#### 4. Tipologie di integrazione

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'impat-

to sull'intero bilancio energetico e l'efficienza energetica dell'intero sistema.

L'integrazione dei sistemi fotovoltaici negli edifici può essere classificata in due modi diversi:

- a. nelle ristrutturazioni
- b. nell'integrazione su edifici di nuova costruzione

Le diverse applicazioni dei sistemi fotovoltaici possono poi avvenire:

- 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

Oltre a ciò ci sono un numero maggiore di aspetti da considerare, associati alla produzione di elettricità.

- l'ombreggiamento dei pannelli fotovoltaici;
- produzione di calore e ventilazione dei

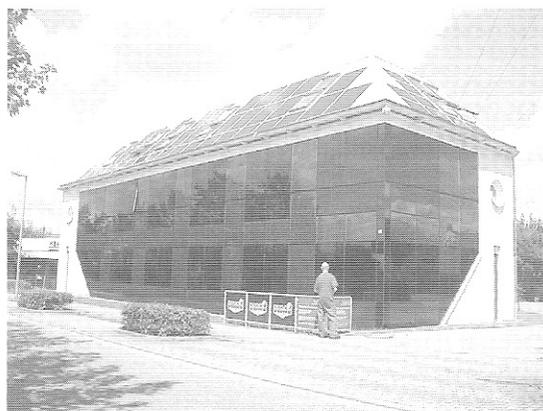


Fig.9 - Solar house Friburgo, Germania - copertura e facciata fotovoltaiche



Fig.9- Biblioteca di Matarò in Spagna

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

## 5. Temperatura dei moduli

La potenzialità delle elevate temperature prodotte dai moduli associate alle caratteristiche bioclimatiche dell'edificio necessita una accurata considerazione. 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. Normalmente il calore prodotto dalle celle fotovoltaiche 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

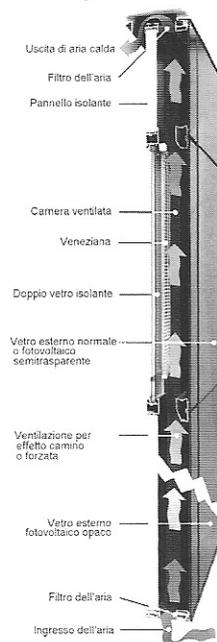


Fig10 Biblioteca di Matarò in Spagna, facciata e copertura FV

effettuata una ventilazione maggiore dei moduli fotovoltaici, creando dispositivi adatti a questa necessità e inserendoli nel contesto architettonico.

### Ventilazione dei moduli

La temperatura dei moduli dovrebbe essere tenuta sempre bassa in modo da ottimizzare l'efficienza del sistema fotovoltaico.

Ciò può essere fatto in diversi modi, regolando la ventilazione attraverso bocchette di areazione oppure con altri sistemi di ventilazione integrati agli altri sistemi di ventilazione dell'edificio.

### Riutilizzo del calore prodotto dai moduli

Il calore di ritorno dei pannelli fotovoltaici può essere riutilizzato nelle stagioni fredde per riscaldare l'edificio, mentre nei periodi caldi dell'anno è necessario dissipare all'esterno il calore dei moduli.

Per riutilizzare il calore prodotto dai moduli fotovoltaici per riscaldare l'edificio, possono essere utilizzate diverse tecnologie, tra le quali



Fig.11 Impianto a celle colorate a Barcellona

l'uso di condotti di areazione che spostano l'aria calda da una parte all'altra dell'edificio. Oppure il calore può essere utilizzato per trasmissione diretta sull'involucro edilizio e reimmesso nei sistemi di riscaldamento sia di tipo passivo che attivo.

Un altro sistema è quello utilizzato in certi pannelli che incorporano una serpentina di tubi di acqua collegati alle condutture di acqua calda, il calore prodotto dalle celle viene ceduto all'acqua utilizzata per uso domestico.

## 6. Elementi di rivestimento

In alcuni casi l'integrazione del fotovoltaico nell'edilizia può essere direttamente legata agli elementi di rivestimento dell'edificio. Il modulo fotovoltaico viene utilizzato, ad esempio, in sostituzione di lastre di rivestimento in pietra naturale, o di componenti metallici, o di qualsiasi altro materiale venga utilizzato per il rivestimento esterno di un edificio. I moduli dovranno poggiare sulla stessa sottostruttura concepita 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.

## 7. Considerazioni costruttive conclusive

Al fine di ottenere la migliore integrazione architettonica dei sistemi fotovoltaici negli edifici e ridurre al minimo la manutenzione degli impianti è necessario:

- Utilizzare materiali facili da mantenersi e anti corrosivi: in modo da evitare fenomeni di corrosione
- Prevedere una facile sostituzione dei singoli moduli.
- Prevedere la pulizia delle superfici dei moduli.
- Prevedere un cablaggio semplice.
- Manipolare al minimo i pannelli in cantiere.
- Prevedere una accurata ventilazione del sistema per moduli in silicio policristallino.

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 uti-

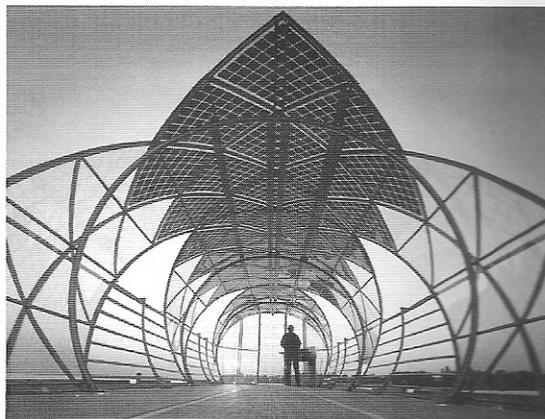
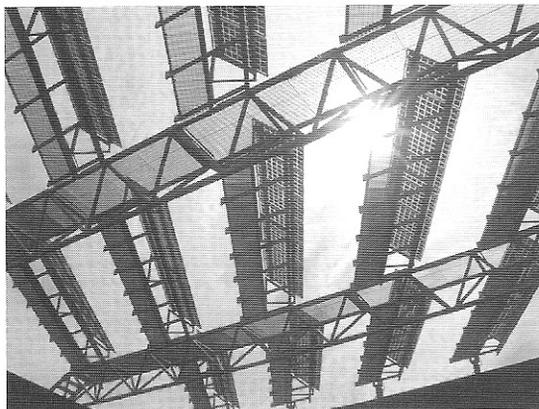


Fig.12 - Copertura di una imbarcazione che naviga sul fiume Aster, Amburgo Germania.

lizzata 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.



Riferimenti bibliografici:

1. Lucia Ceccherini Nelli (a cura di), Impianto fotovoltaico integrato nell'edificio aule e biblioteca al Polo Scientifico universitario di Sesto Fiorentino, Alinea, Firenze, 2004.
2. Marco Sala (a cura di) Integrazione Architettonica del fotovoltaico. Casi studio di edifici pubblici in toscana, ed. Alinea, Firenze, 2002.
3. Lucia Ceccherini Nelli e Marco Sala, CD rom "PV-PuBliSh" ricerca europea Altener Programme, Alinea, Firenze, 2002.

Sito Web: <http://web.taed.unifi.it/abitaweb/sesto/FVsesto.htm>

Fig. 13, 14, 15 Integrazione fotovoltaica per l'edificio aule e biblioteca al Polo Scientifico di Sesto Fiorentino (FI).

