

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI BOLOGNA
SEDE DI CESENA
FACOLTA' DI ARCHITETTURA
CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA A CICLO UNICO IN ARCHITETTURA

TITOLO DELLA TESI

Energia da fonti rinnovabili negli edifici esistenti
- Integrazione architettonica di captatori solari ed eolici -

Tesi in

Tecnologia dell'architettura

Relatore

Prof. Ernesto Antonini

Presentata da

Marco Ricci

Sessione III.
Anno Accademico 2009 - 2010.

A mio padre e mia madre

SOLTANTO PER RINGRAZIARE

A mio padre e mia madre dedico con il cuore i miei studi, nessuna parola renderebbe giustizia alla gratitudine che provo nei loro confronti per essere sempre stati al mio fianco.

Stendhal scriveva che la bellezza è una promessa di felicità, a Prisca va il tutto mio affetto, perché standomi accanto, ha reso meravigliosi questi ultimi anni di università.

Esprimo i più sentiti ringraziamenti al prof. Ernesto Antonini per la sua disponibilità a sostenermi e consigliarmi durante la stesura della tesi.

Un grazie sincero al prof. Alessandro Marata che mi ha accolto nel suo studio ed indirizzato alla stesura di questo lavoro.

Alla Facoltà di Architettura di Cesena "Aldo Rossi" va il mio riconoscimento per avermi, durante il percorso universitario, arricchito culturalmente ed umanamente.

Un grato e commosso pensiero lo rivolgo a tutti coloro che durante gli studi mi hanno sostenuto ed incoraggiato affinché raggiungessi la desiderata meta della laurea, indispensabile per la mia auspicata futura vita lavorativa.

SOMMARIO

Questa tesi tratta dell'applicazione agli edifici esistenti di dispositivi per la produzione energetica da fonte rinnovabile: solare fotovoltaica, solare termica ed eolica. Dopo aver analizzato i motivi economici ed ambientali che oggi inducono ad affrontare il tema complesso dell'integrazione di queste tecnologie anche negli edifici esistenti, vengono documentate alcune decine di recenti installazioni, reperite in ambito internazionale, costituendo così un piccolo repertorio di casi applicativi.

Il ricorso alle fonti di energia rinnovabili in architettura ed il concetto di sostenibilità applicato alla progettazione sono temi di interesse mondiale che coinvolgono la riqualificazione energetica del parco edilizio esistente.

Questo fenomeno sta generando una vera rivoluzione che, da una dimensione culturale promossa dalle politiche energetiche dei vari paesi, travolge svariati ambiti disciplinari, primo tra tutti l'architettura.

L'elaborato è idealmente diviso in quattro parti, come di seguito specificato.

Nel primo capitolo vengono trattate le problematiche che stanno portando alla diffusione delle energie rinnovabili nel mondo e descritte le varie forme e tecnologie con cui si utilizzano.

Nel secondo e terzo capitolo sono trattati i temi dell'energia negli edifici e la sostenibilità nel progetto per la riqualificazione energetica in architettura.

Negli ultimi tre capitoli si analizzano le caratteristiche, i componenti ed il funzionamento dei sistemi fotovoltaici, solari termici e micro/mini-eolici applicati ai manufatti edilizi. Si descrivono, inoltre, le tecnologie e le soluzioni per l'integrazione di detti impianti sugli edifici esistenti.

L'ultima parte, costituita dall'allegato che contiene le schede di analisi di alcuni casi studio, descrive la realizzazione di progetti di riqualificazione energetica in cui sistemi fotovoltaici, solari termici ed eolici vengono applicati ad edifici di vario genere.

INDICE

PREMESSA	13
1. PERCHE' RICORRERE ALLE ENRGIE RINNOVABILI	21
1.1 Mutamenti climatici del pianeta	22
1.2 La questione energetica	28
1.2.1 Panorama energetico globale	30
1.2.2 La situazione energetica italiana	36
1.2.3 Le principali strategie internazionali	40
1.3 Energia da fonti rinnovabili	44
1.3.1 Energia idraulica	46
1.3.2 Energia geotermica	49
1.3.3 Energia eolica	53
1.3.4 Energia solare	55
1.3.5 Energia da biomasse	57
2. IL BINOMIO EDILIZIA – ENERGIA	63
2.1 Il peso dell'edilizia sui cambiamenti climatici	66
2.2 I consumi energetici degli edifici	69
2.2.1 I consumi in fase di costruzione e demolizione	70
2.2.2 I consumi in fase di gestione	72
2.3 La questione energetica delle città	75
2.4 La questione energetica negli edifici pubblici	77
2.4.1 Lo studio di ENEA sul patrimonio edilizio pubblico	81
3. PROGETTAZIONE SOSTENIBILE E RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA	89
3.1 Aspetti culturali della riqualificazione	96
3.1.1 L'immagine della sostenibilità	101

3.2 Sole e vento nella riqualificazione sostenibile	107
3.3 Strategie per la sostenibilità nelle costruzioni	120
4. IL FOTOVOLTAICO NEGLI EDIFICI	127
4.1 L'impianto fotovoltaico ed il suo funzionamento	130
4.1.1 Impianti fotovoltaici grid connected	131
4.1.2 Impianti fotovoltaici stand alone	133
4.2 La cella fotovoltaica	135
4.2.1 Il processo produttivo di una cella fotovoltaica	137
4.2.2 Caratteristiche e tipologie del silicio	139
4.2.3 Particolari tipologie di celle fotovoltaiche	143
4.3 Progettazione del fotovoltaico per edifici	150
4.3.1 Grado di integrazione architettonica	155
4.3.2 Tipologie e tecnologie di integrazione su edifici	161
4.4 I moduli fotovoltaici	190
4.4.1 Schede di prodotti	198
5. IMPIANTI SOLARI TERMICI PER EDIFICI	203
5.1 L'impianto solare termico	206
5.1.1 Funzionamento e componenti dell'impianto	208
5.2 Gli impianti solari termici negli edifici	220
5.2.1 Sistemi per la produzione di acqua calda	221
5.2.2 Sistemi per il riscaldamento degli ambienti	225
5.2.3 Sistemi per il raffrescamento degli ambienti	230
5.2.4 Sistemi solari combinati	232
5.3 Il progetto dell'impianto solare per l'edificio	235
5.3.1 Integrazione dell'impianto solare	238
5.4 Pannello solare termico	249
5.4.1 Schede di prodotti	257

6. IMPIANTI EOLICI A DIMENSIONE DI EDIFICIO	263
6.1 L'impianto minieolico	265
6.1.1 Componenti e funzionamento di un impianto	265
6.2 Impiego ed installazione degli impianti	270
6.2.1 I vari aspetti dell'impianto	274
6.3 La turbina	278
6.3.1 Schede di prodotti	285
CONSIDERAZIONI FINALI	291
BIBLIOGRAFIA - SITOGRAFIA	297
ALLEGATO 1: SCHEDE DEI CASI STUDIO	301
ALLEGATO 2: TAVOLE RIASSUNTIVE	363

PREMESSA**• Necessità di ricorrere a fonti di energia alternative**

"Sostenibile" è l'aggettivo che negli ultimi anni, in modo imprescindibile, viene attribuito alla parola "sviluppo", rivoluzionandone in modo profondo il senso fino al punto di imporre una riflessione estremamente critica nei confronti dei fondamenti di questa parola che, dall'era industriale ad oggi, è stato il fulcro di un meccanismo che ha portato ad un continuo cambiamento delle condizioni e della concezione della vita di ogni individuo, senza tornare mai sui suoi passi.

Dal secondo dopoguerra, lo sviluppo ha interessato la totalità dei settori produttivi ed in particolare quello delle costruzioni, registrando una crescita iperbolica, suffragato dall'idea che la qualità della vita andasse di pari passo con la capacità di consumo. E' in quest'ottica che questo modello di società intendeva il progresso.

L'aumento dell'inquinamento, il consumo delle risorse naturali non rinnovabili e la scarsità di risorse energetiche tradizionali, generate da questo modello, sono entrate in conflitto con il livello di qualità della vita pregiudicandone presente e futuro, imponendo una riflessione e di conseguenza una revisione dell'intero sistema che si sta concretizzando in modo inarrestabile negli ultimi anni.

Come disse Gro Harlem Brundtland, presidente del WCED nel 1987: "*Sostenibile è lo sviluppo che soddisfa le esigenze del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare le proprie*", da

qui emerge quanto sia indissolubile il rapporto tra energia e sostenibilità, sulla base del quale economia, settori produttivi, politica e soprattutto persone, devono ripartire.

E' proprio dal Rapporto Brundtland del 1987¹ che nasce l'esigenza di una rivoluzione sostenibile, con la stessa importanza e dignità delle altre rivoluzioni che hanno segnato il corso della storie moderna.

Il binomio tra settore delle costruzioni ed energia è fondamentale, si pensi che, secondo dati forniti del rapporto dell'Unione Europea del 2010², la costruzione di edifici contribuisce a quasi la metà delle emissioni di anidride carbonica a livello globale e oltre 2/3 dei consumi totali di energia avvengono in fase di gestione degli edifici.

Il ricorso alle rinnovabili si sta diffondendo ad ogni livello: si va dalle grandi centrali eoliche, solari, idroelettriche, capaci di alimentare intere città, ai piccoli impianti, predisposti ed utilizzati direttamente dai singoli utenti. Al centro di questi estremi c'è un mare di situazioni diverse per dimensioni, tipologie e caratteristiche.

Questa diffusione così eterogenea porta al formarsi di un sistema di fornitori ed utenti, che spesso coincidono, estremamente diverso da quello delle tradizionali reti di distribuzione che, tolte le parziali e scarse politiche di liberalizzazione della fornitura di energia, mettono in un sistema monopolistico, governato e controllato da poteri forti di varia natura e con vari interessi, da una parte pochi grandi fornitori e gestori e dall'altra un'infinità di

utenti senza alcun potere decisionale e di contrattazione.

Il sistema energetico delle rinnovabili è estremamente democratico e si configura come una infinita serie di punti che rappresentano fornitori ed utenti ormai non più distinti ma, uniti da una rete di interconnessione; questo lo rende assimilabile alla rete WEB caratterizzata da una struttura orizzontale che, anche per cause di forze maggiori esterne, non potrà mai entrare in crisi.

In quest'ottica gli impianti di dimensione minore, a disposizione diretta dell'utenza, installati sugli edifici acquistano una notevole importanza consentendo di raggiungere un alto grado di autosufficienza agli utenti diretti, di ridurre interessi esterni di soggetti terzi come gestori o grandi produttori, di diminuire il consumo e l'impatto ambientale dei grandi impianti e, se inseriti in coerenti progetti di integrazione, di poter migliorare l'immagine architettonica.

- **Il tema energetico negli edifici**

La maggior parte dei consumi in edilizia è assorbito dal settore residenziale; la casa d'altra parte è considerata da sempre un bene primario ed irrinunciabile che determina fortemente la qualità della vita di una persona.

Inoltre, entrando più nello specifico di questo lavoro, la vivibilità degli edifici, oltre a dipendere dalle loro qualità funzionali, distributive ed estetiche, è determinata dalle caratteristiche termigrometriche degli ambienti e dalla loro illuminazione. Proprio su questi ultimi aspetti si deve intervenire

riducendo i consumi energetici, ma, soprattutto, mirando all'applicazione di sistemi che ricorrano alle energie rinnovabili per garantire il benessere interno degli ambienti stessi.

Per lungo tempo, nel settore delle costruzioni, questi aspetti energetici, che miravano alla riduzione del fabbisogno con l'applicazione di tecnologie rinnovabili, sono stati considerati troppo tecnici per rientrare nell'ambito della mera architettura, venendo così riservati agli addetti ai lavori in campo ingegneristico.

E' solo da poco che si parla diffusamente di quale immagine debba avere la sostenibilità in architettura, di quale debba essere il suo peso, del fatto che sistemi che generano energia da fonte rinnovabile debbano essere considerati nell'organismo edilizio al pari di ogni altro componente, inserendoli in maniera organica all'interno del progetto architettonico.

L'interesse verso il tema dell'applicazione degli impianti, che traggono energia da fonti rinnovabili, al patrimonio edilizio esistente, nasce dal fatto che proprio questa fetta dell'edilizia è quella che pesa di più sul bilancio energetico, sia per le caratteristiche proprie degli edifici esistenti, costruiti secondo criteri che non tengono conto degli aspetti energetici, sia perché essi rappresentano la stragrande maggioranza del parco edilizio.

Il problema della riqualificazione, con il passare degli anni, è diventato sempre più evidente poiché il tasso di crescita delle nuove costruzioni ha subito un inesorabile rallentamento dagli anni '80.

Gran parte del patrimonio edilizio è costituito da edifici realizzati nel dopoguerra, specie nel settore residenziale, dove esigenze logistiche impellenti, tempi stretti e necessità di contenere le spese, hanno portato alla realizzazione di manufatti privi di qualità architettonica, inefficienti dal punto di vista energetico e progettati senza attenzione alla vivibilità degli ambienti.

Questo genere di edilizia, nel giro di qualche decennio, è arrivata a creare dal nulla intere città nelle città già presenti; quartieri nati da zone rurali senza alcuna sensibilità ambientale e sociale che hanno dato origine a situazioni di degrado e scarsissima vivibilità e che a distanza di decenni, si protraggono tanto da farli diventare, ad oggi, un problema per chi li abita e per l'intera collettività.

La riqualificazione energetica con l'impiego di fonti rinnovabili è una delle misure ecologiche più significative rispetto alla costruzione ex-novo, anche perché riduce la spinta all'edificazione ad alto consumo di suolo ed energia.

Una grande fetta del costruito è costituita dal patrimonio edilizio pubblico: uffici, ospedali, sedi amministrative, edifici scolastici o strutture che ospitano le più disparate funzioni specie nell'ambito dei servizi e del terziario.

- **Benefici economici e sociali**

Da uno studio svolto dal CRESME per ENEA³, su un campione significativo di edifici pubblici italiani nel 2009, emerge come circa il 35% del totale necessita di interventi di riqualificazione mirati all'aumento

dell'efficienza energetica, anche con l'impiego di impianti ad energie rinnovabili; secondo i calcoli, il risparmio immediato sarebbe del 23% sul totale delle uscite per la gestione e si verrebbe a generare un valore aggiunto di 14 miliardi di euro oltre alla creazione di circa 150000 posti di lavoro.

Questo testimonia come il ricorso alle rinnovabili in ambito edilizio, specie su scala statale, offra l'opportunità di ottenere ingenti benefici economici e sociali anche su brevi periodi, senza contare al ritorno d'immagine positivo che ne conseguirebbe.

Su quest'ultimo aspetto, che riguarda l'immagine, puntano sempre più numerose aziende di ogni dimensione ricorrendo alle rinnovabili, mosse soprattutto dai notevoli sostegni e dalle politiche incentivanti per le categorie produttive; molto spesso, però, questo eccessivo ricorso alle rinnovabili con finalità autopromozionali ha dato luogo ad interventi insensati e di scarsa qualità, dove gli intenti propagandistici prevalgono su tutto.

Un'altra parte, non di minore interesse ai fini della riqualificazione energetica, riguarda gli edifici di valore storico-culturale che, nel nostro paese, costituiscono una parte importantissima del parco edilizio sia per il loro valore intrinseco ed identitario che per il loro numero.

Essi, in sostanza, rappresentano la quasi totalità degli edifici che compongono i centri storici delle nostre città dalle metropoli ai paesi più piccoli; la stragrande maggioranza necessita di urgenti interventi di riqualificazione perché inadatti agli standard energetici ed abitativi attuali.

Tra questi molti sono sottoposti a vincoli da parte delle Soprintendenze; ad ogni modo, anche prescindendo dai vincoli, interventi di riqualificazione con integrazione di impianti a fonti rinnovabili su questi manufatti presuppongono un approccio diverso da quello possibile sulle altre parti del patrimonio edilizio teso a non modificare o alterare le caratteristiche e l'architettura degli edifici. Tali interventi devono procedere ad integrazioni dal carattere mimetico e non invasivo che riducano al minimo l'impatto sul costruito.

Nel caso che un edificio significativo per il suo valore architettonico venga designato alla conservazione, i vincoli e le limitazioni riducono drasticamente le possibilità di intervento. Spesso, quindi, il ricorso a tecnologie da fonti rinnovabili risultano più facilmente applicabili ad edifici più comuni, dove c'è una maggiore libertà e possibilità di sperimentazione sul campo.

Come accennato, i tipi di approccio nell'ambito dell'integrazione architettonica su organismi edilizi preesistenti sono diversi. Essi variano da quelli mossi da intenti di tipo conservativo delle caratteristiche del manufatto, a quelli con un'inclinazione verso la sperimentazione tecnologica, passando per numerose possibilità intermedie di intervento rese possibili dalle diverse tecnologie disponibili e dalla moltitudine di prodotti presenti sul mercato. Tutto ciò incentiva ricerca, produttività e commercio.

- **Finalità della tesi**

Questo lavoro vuole approfondire i sistemi con tecnologia fotovoltaica, solare termica, micro e mini-eolica applicati all'architettura.

Il ricorso all'energia del sole e del vento appare fondamentale per riqualificare il nostro patrimonio edilizio, come lo era nelle architetture vernacolari dove il rapporto con l'ambiente costituiva la base del concepimento del manufatto.

In realtà esistono anche altri sistemi che traggono energia da fonti rinnovabili applicati agli edifici, come gli impianti geotermici, ma questi, non avendo un impatto rilevante dal punto di vista architettonico, sono stati trattati solo in maniera sommaria nella prima parte del lavoro.

¹AA.VV., *Costruire sostenibile l'Europa*, Firenze, Alinea, 2002

²Dati pubblicati sul sito www.europa.eu.

³Citterio Marco, Fasano Gaetano, Manna Carlo, Notaro Carmela, *Da ENEA una proposta per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio pubblico*, Riv. ArpaRivista n.3 anno 2009.

CAPITOLO PRIMO

PERCHE' RICORRERE ALLE ENERGIE RINNOVABILI

CAPITOLO 1

PERCHE' RICORRERE ALLE ENERGIE RINNOVABILI

Le attività umane hanno influenzato l'equilibrio ambientale del pianeta in maniera esponenziale a partire dall'età industriale fino ad assumere proporzioni tali da rendere indispensabili interventi per invertire la tendenza.

Il consumo scriteriato di combustibili fossili, in particolare, ha contribuito ad esaurire le riserve costituite in milioni di anni e sta provocando la modifica dell'effetto serra, compromettendo l'equilibrio dell'intero pianeta e conseguente rischio per la salute della popolazione.

Ogni ideologia ambientalista, sia essa radicale o meno, deve essere indirizzata, quindi, ad individuare soluzioni in grado di assicurare lo sviluppo sostenibile del genere umano.

Pur essendo necessario ed indispensabile mantenere elevati standard di benessere e di evoluzione tecnologica e culturale è, comunque, doveroso non impoverire le risorse del pianeta e la nostra stessa sopravvivenza.

La risoluzione delle difficoltà per raggiungere un equilibrio tra consumi e mantenimento dell'integrità del pianeta dipende oltre che dalla ricerca scientifica dalle strategie della politica; infatti le scelte sostenibili sono generalmente più costose di quelle attualmente in uso, basti pensare, nel settore automobilistico, alla difficoltà di trovare un

carburante alternativo al petrolio ed alla lentezza con cui procedono gli studi sull'uso dell'idrogeno, o quello delle costruzioni che è responsabile della maggior parte di emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera.

E' necessario, quindi, recuperare il tempo perduto, rimediare agli errori commessi senza tergiversare in problematiche sterili che potrebbero danneggiare in maniera irreversibile il futuro della Terra.

1.1 Mutamenti climatici del pianeta

Gli esperti del gruppo di lavoro WG1 (Working Group 1 dell' IPCC ovvero Intergovernmental Panel on Climate Change) che si occupano di scienza del clima hanno prodotto un rapporto¹ sullo stato delle conoscenze del clima e dei cambiamenti climatici e sulla possibile evoluzione futura del clima globale.

Nel rapporto l'IPCC affronta il problema dei cambiamenti climatici in atto in modo molto approfondito analizzando tutte le osservazioni sperimentali disponibili sulla base delle quali l'IPCC conclude che non solo è in corso un cambiamento climatico globale, ma che tale cambiamento, in questi ultimi anni, è in fase di progressiva accelerazione. Dopo l'analisi della situazione l'IPCC affronta il problema della possibile evoluzione futura.

Il lavoro del WG1 viene sintetizzato nelle seguenti conclusioni:

- le temperature medie della superficie terrestre sono aumentate dal 1860 ad oggi di 0,6°C;
- è sempre più evidente che gran parte del surriscaldamento rilevato negli ultimi 50 anni è da attribuire alle attività umane;
- la previsione di riscaldamento medio del globo è stimata, a meno che non si intervenga prima, ad un massimo di 6°C per la fine del prossimo secolo (previsione raddoppiata rispetto al rapporto del 1995);
- a causa di questo riscaldamento l'atmosfera diventerà energeticamente più attiva e in generale i valori climatici più estremi;
- i cambiamenti climatici saranno più accentuati sulla maggior parte delle terre emerse, con l'Europa meridionale, l'Asia centrale e buona parte dell'Africa tra le regioni più colpite;
- sussiste il rischio reale di un salto improvviso del sistema climatico nel giro di pochi anni, riconducibile alle pressioni che il riscaldamento globale impone sul sistema;
- la conseguenza di un salto climatico potrebbe essere l'arresto definitivo della corrente oceanica che garantisce all'Europa una temperatura invernale mitigata;
- l'innalzamento dei livelli marini continuerà per centinaia di anni, anche dopo che la temperatura dell'aria si sarà stabilizzata;

- la creazione di serbatoi per l'assorbimento dell'anidride carbonica, ad esempio la riforestazione, è una pratica di impatto trascurabile;
- per fermare la crescita costante delle temperature le emissioni dei gas serra dovrebbero essere mantenute al di sotto del livello attuale.

E' stato decretato dagli esperti il riscaldamento sensibile dello strato inferiore dell'atmosfera, con un'accelerazione nell'ultimo decennio, evidenziato dallo scioglimento dei ghiacciai e dalla serie di anni più caldi della media.

L'IPCC ha concluso che ci sono solide evidenze per attribuire la maggior parte del surriscaldamento degli ultimi cinquanta anni ad attività umane e specificatamente alla produzione di gas serra che imprigionano il calore in prossimità del suolo.

Responsabile dell'emissione di tali gas è il largo ricorso a combustibili fossili, causa di oltre il 70% della produzione di anidride carbonica negli ultimi venti anni (la deforestazione è responsabile della parte rimanente). La concentrazione di anidride carbonica aumenta dello 0,4% ogni anno e supera del 30% i livelli del periodo precedente l'industrializzazione.

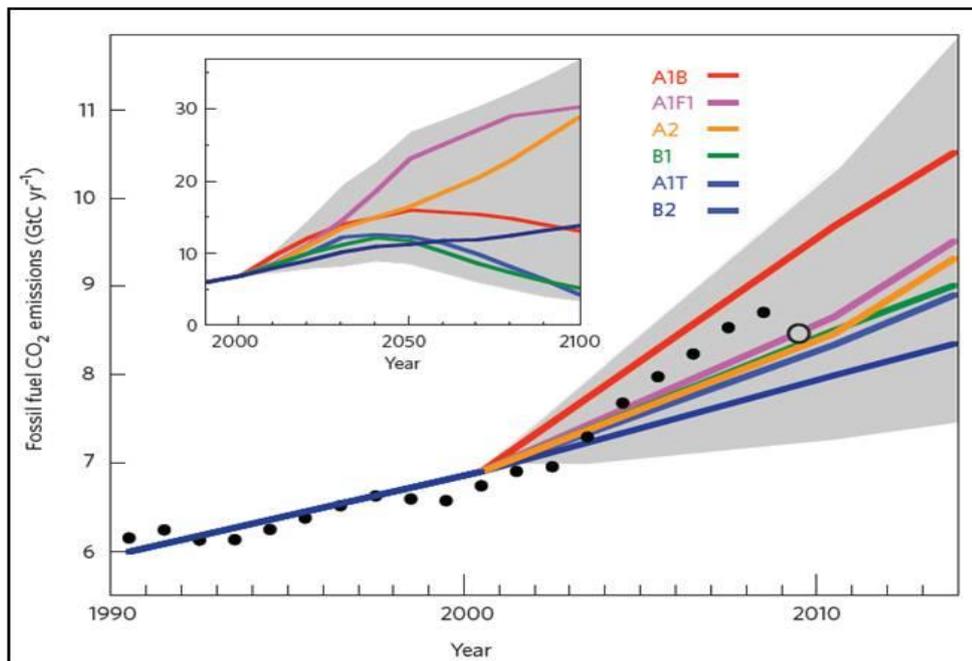


Fig.1.1 – Grafico delle emissioni di CO₂ in 6 diversi scenari (2008)- Fonte: IPCC.

L'immissione nell'aria di sostanze tra cui polveri e fumo da combustione producono effetti refrigeranti, controbilanciando il surriscaldamento, ma creando ulteriori problemi ambientali.

Gli esperti dell'IPCC hanno preso in considerazione 35 differenti scenari per il prossimo secolo, dai più ottimistici ai più pessimistici, in ognuno di essi sono destinati ad aumentare sia la temperatura media globale che il livello dei mari.

I modelli matematici prevedono un aumento della temperatura atmosferica fra 1,4° e 5,8 °C entro il 2100².

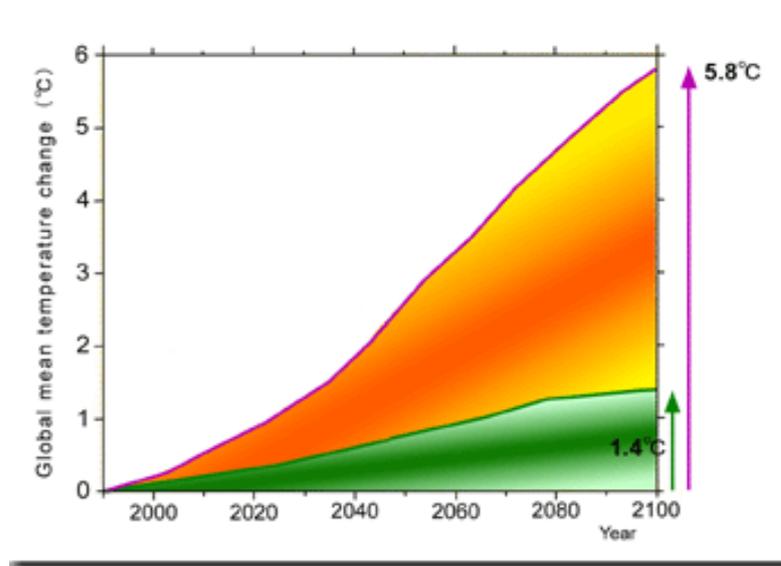


Fig. 1.2 – Grafico dell'aumento delle temperature (2006) – Fonte: IPCC

A causa del riscaldamento degli oceani, che rappresentano una massa enorme già in fase di surriscaldamento, questa tendenza in atto non potrà essere invertita neppure cessando la produzione di anidride carbonica. Il futuro è già determinato, resta da prendere una decisione sul livello di anidride carbonica in atmosfera che si ritiene accettabile, e successivamente di mettere in pratica le misure per rendere stabili le emissioni su tali valori.

I livelli del mare, che sono già cresciuti di 1,5 cm. per ogni decennio del XX° secolo, aumenteranno su scala globale, in parte per l'espansione termica dell'acqua surriscaldata ed in parte a causa dello scioglimento delle riserve di ghiaccio del pianeta. I modelli matematici adottati dall'IPCC prevedono un innalzamento delle acque tra i 14 e gli 80 cm. entro il 2100.

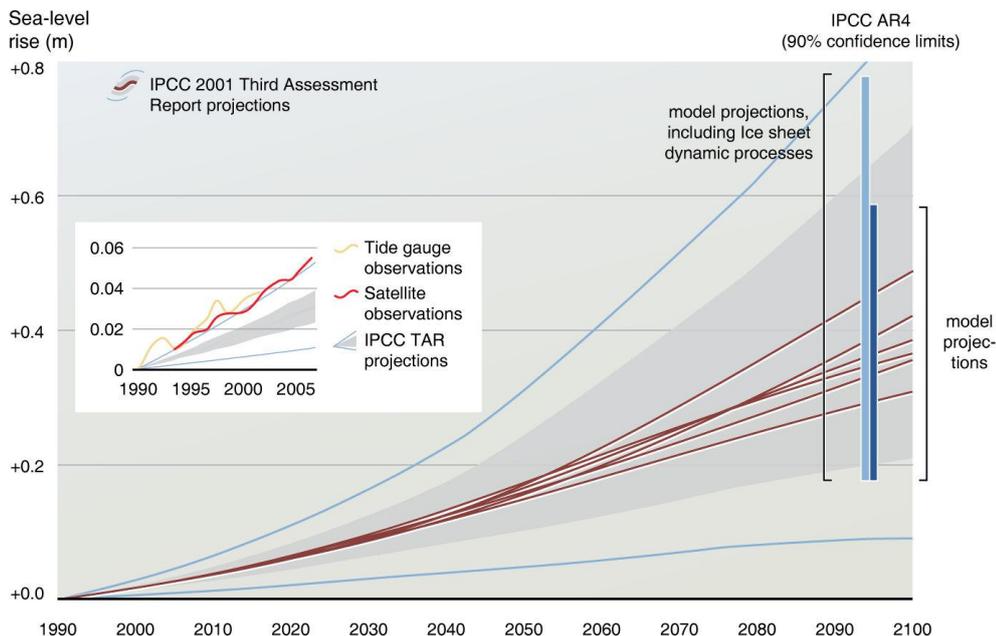


Fig. 1.3 – Grafico dell’innalzamento del livello marino (2008) – Fonte: IPCC

Altre gravi conseguenze dei mutamenti climatici riguardano lo sconvolgimento degli ecosistemi naturali e quindi la drastica diminuzione della biodiversità del pianeta, la mutazione degli attuali modelli di disponibilità di acqua potabile, la sopravvivenza di diversi insediamenti umani costieri e la resa delle superficie agricole in diverse aree del globo.

La stessa salute umana ne risentirà a causa di malattie correlate al caldo e allo smog fotochimico, queste conseguenze sono ancora più drammatiche se si pensa che le popolazioni più esposte sono proprio quelle più povere e che gli effetti economici dei mutamenti accresceranno le differenze di benessere tra i paesi sviluppati e quelli in via di sviluppo.

1.2 La questione energetica

L'energia influenza in maniera determinante la qualità della vita dell'umanità, è stato ampiamente dimostrato il rapporto fra il consumo di energia, la ricchezza di un paese e l'aspettativa di vita delle persone.

Le fonti energetiche adoperate hanno subito una totale rivoluzione nel corso della storia, per passare dall'uso dei mulini ad acqua e del lavoro animale, all'impiego delle energie fossili fino alle fonti energetiche rinnovabili.

Nei paesi sviluppati la maggiore disponibilità di energia ha migliorato la qualità della vita delle popolazioni ed il suo consumo ha consentito l'incremento di produzione e servizi. Di fatto si è verificato un aumento vertiginoso dei consumi energetici.

In Italia dal 1950 al 1970 l'aumento è stato di circa il 10% annuo procapite per poi stabilizzarsi su livelli di crescita inferiori, dato dal progredire delle tecnologie più efficienti rispetto al passato³.

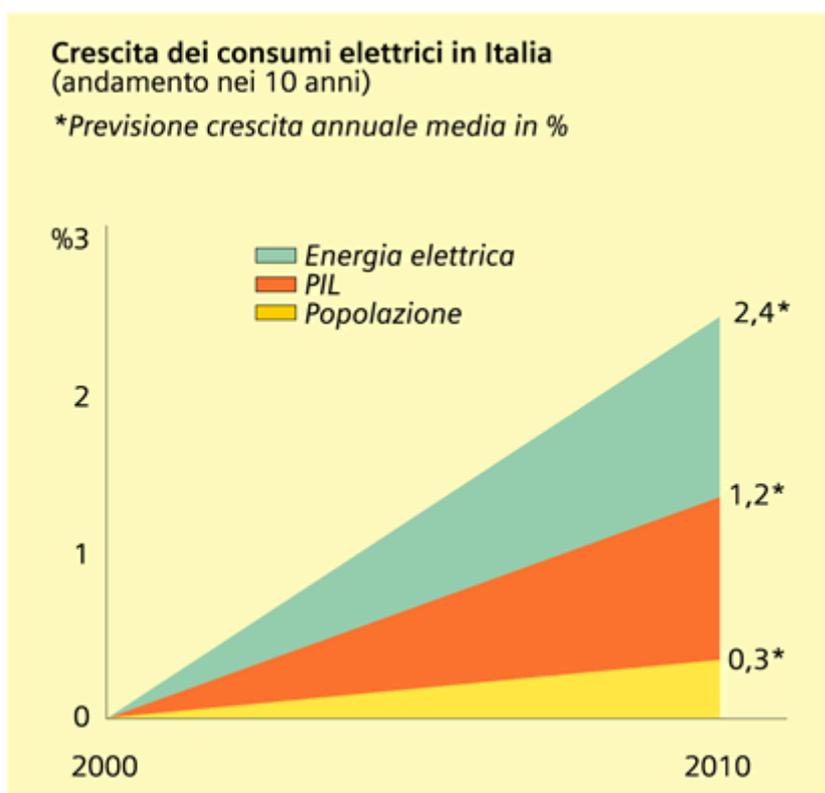


Fig. 1.4 – Rapporto tra consumi, PIL, crescita demografica (2010) – Fonte: ENEA

Le varie fonti energetiche sono comunque caratterizzate da difficoltà di reperimento e da ripercussioni ambientali negative. L'impiego di ogni fonte energetica va valutato in relazione al rischio sanitario ed ambientale che comporta, per studiarne le metodologie ottimali di applicazione.

La questione energetica è da sempre fondamentale per l'economia e lo sviluppo che non potranno prescindere dall'identificare i fabbisogni e la disponibilità globale delle risorse energetiche primarie.

Sarà il binomio tra politiche lungimiranti e potenzialità scientifico tecnologiche a coniugare il benessere dei cittadini e la preservazione dell'habitat futuro.

1.2.1 Panorama energetico globale

Lo studio WETO-H2⁴ (World Energy, Technology and climate policy Outlook) delinea uno scenario di riferimento del futuro sistema energetico, presupponendo una continuazione delle tendenze e dei cambiamenti strutturali mondiali in atto, in un contesto di evoluzione economica e tecnologica "normale". I risultati dello studio devono essere considerati come un punto di riferimento per la valutazione delle alternative esistenti, in particolare per quanto riguarda le risorse, le tecnologie e la politica ambientale. Per definire le priorità future di ricerca e sviluppo tecnologico nel campo dell'energia e dell'ambiente, è indispensabile una buona comprensione delle problematiche di lungo termine.

Lo studio ha elaborato una proiezione di riferimento del sistema energetico mondiale e due scenari di variazione, uno impostato sulla limitazione del carbonio e l'altro sullo sviluppo dell'idrogeno. Questi scenari sono stati utilizzati per esaminare le opzioni possibili in materia di politiche tecnologiche e climatiche nei prossimi cinquant'anni.

Tutte le proiezioni al 2050 sono state elaborate grazie ad un modello di simulazione del settore energetico mondiale - il *modello POLES* - che descrive l'evoluzione dei sistemi energetici nazionali e regionali e le loro interazioni con i mercati dell'energia internazionali, tenendo conto delle risorse limitate e delle politiche climatiche.

La proiezione di riferimento

- La proiezione di riferimento delinea un proseguimento delle attuali tendenze economiche e tecnologiche, con vincoli a breve termine sullo sviluppo della produzione di petrolio e di gas e politiche climatiche moderate, per le quali l'Europa dovrebbe mantenere un ruolo guida.

Consumo energetico mondiale

- Si prevede che il consumo totale di energia a livello mondiale passi dagli attuali 10 Gtep all'anno a 22 Gtep all'anno nel 2050. I combustibili fossili rappresentano il 70% del totale (il carbone e il petrolio il 26% ciascuno e il gas naturale il 18%) e quelli non fossili il 30%; quest'ultima percentuale è ripartita quasi esattamente fra energie rinnovabili ed energia nucleare.

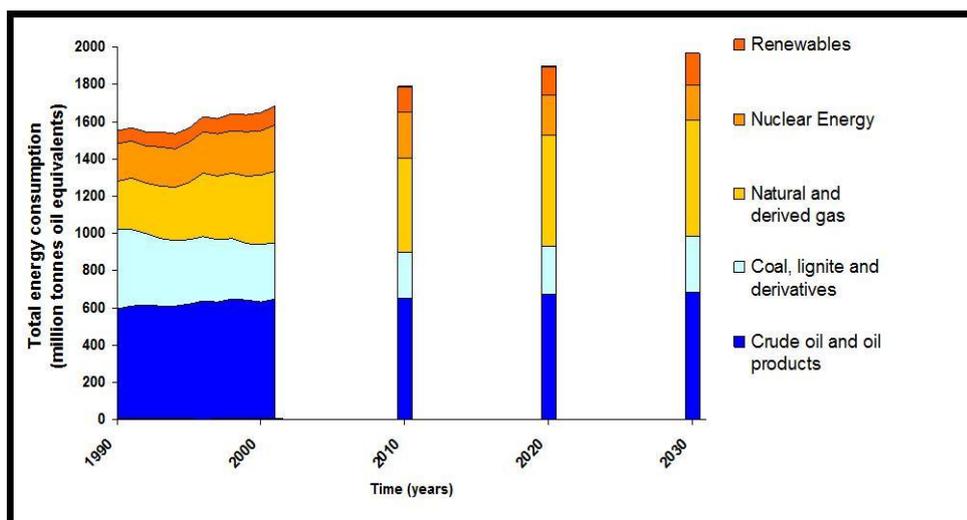


Fig. 1.5 – Consumo totale di energia mondiale (2010) – Fonte: EUROSTAT

Miglioramento dell'efficienza energetica

- Nel 2050 le dimensioni dell'economia mondiale sono quadruplicate rispetto a quelle attuali, mentre il consumo energetico mondiale è poco più che raddoppiato (fattore 2,2). Tale significativo miglioramento dell'efficienza energetica è riconducibile in parte ai cambiamenti tecnologici o strutturali che hanno luogo autonomamente nell'economia, in parte alle politiche di efficienza energetica e in parte alle conseguenze del forte aumento dei prezzi dell'energia.

Equilibrio nord-sud in materia di consumo energetico

- La domanda di energia aumenta nettamente nelle regioni del mondo in via di sviluppo, dove al momento le esigenze energetiche di base sono lungi dall'essere soddisfatte. Poco dopo il 2010 il consumo energetico in questi paesi supera quello del mondo industrializzato, per arrivare ai due terzi del consumo mondiale nel 2050.

Profili di produzione del petrolio e del gas

- La produzione di petrolio convenzionale si stabilizza dopo il 2025 intorno a 100 Mbl/g. Il profilo tende ad appiattirsi più che a formare il "picco" attualmente al centro di numerosi dibattiti. Gli idrocarburi liquidi aumentano fino a circa 125 Mbl/g nel 2050 grazie alla produzione di petroli non convenzionali. La stessa tendenza, con un ritardo di quasi dieci anni, si riscontra per il gas naturale.

Prezzi del petrolio e del gas

- I prezzi del petrolio e del gas naturale sul mercato internazionale continuano ad aumentare e nel 2050 raggiungono, rispettivamente, 110\$/bl e 100\$/bep. I prezzi elevati riflettono principalmente la scarsità crescente della risorsa.

Elettricità: ritorno del carbone, decollo delle energie rinnovabili e ripresa dell'energia nucleare

- L'aumento del consumo di elettricità procede di pari passo con la crescita dell'economia e nel 2050 la produzione totale di energia elettrica è quadruplicata rispetto a quella attuale. Il carbone ridiventa un'importante fonte di elettricità ed è convertito sempre di più utilizzando nuove tecnologie avanzate. Si prevede che il prezzo del carbone raggiunga circa 110 \$/t nel 2050. Le energie rinnovabili e l'energia nucleare conoscono una crescita veloce dopo il 2020 e si affermano ulteriormente dopo il 2030, con un rapido spiegamento delle nuove tecnologie energetiche, da ampi parchi eolici in mare a centrali nucleari "di quarta generazione".

Emissioni di CO₂

- Il ricorso a fonti di energia non fossili compensa in parte la reintroduzione del carbone per quanto riguarda le emissioni di CO₂, che aumentano quasi proporzionalmente al consumo energetico totale. Il profilo di emissioni risultante corrisponde, per il 2050, a una concentrazione atmosferica di CO₂

compresa fra 900 e 1000 ppmv. Tali valori superano ampiamente quello che oggi è considerato un intervallo accettabile ai fini della stabilizzazione della concentrazione.

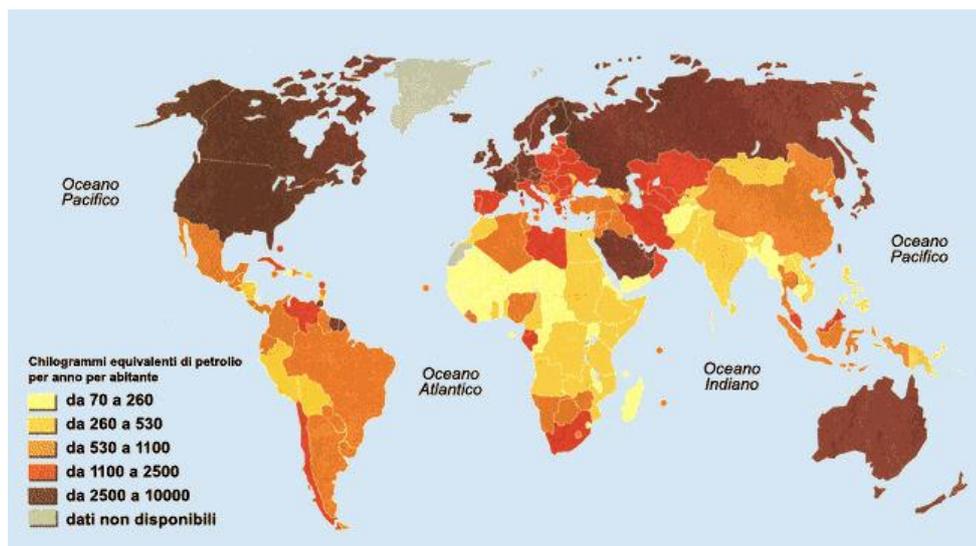


Fig. 1.6 – Consumo di petrolio procapite nel 2010 – Fonte: EUROSTAT

La domanda di energia finale aumenterà ad un ritmo analogo a quello del consumo interno lordo. Dal momento che tutti i settori dovrebbero registrare aumenti simili, la loro quota nella domanda finale rimarrà, in linea di massima, costante a livello mondiale: circa 35% per l'industria, 25% per i trasporti e 40 % per il settore residenziale e terziario. La domanda di energia per settore evidenzia tendenze diverse nelle varie regioni: nei paesi sviluppati, la domanda energetica del settore dei servizi registra la crescita più rapida, mentre nei paesi in via di sviluppo tutti i settori registrano un aumento costante annuale che oscilla tra 2/3%.

L'energia elettrica continua a diffondersi in tutte le regioni, in cui rappresenta circa un quarto della domanda finale di energia. Il consumo di carbone diminuisce nei paesi industrializzati, mentre quello della biomassa tradizionale sta progressivamente diminuendo nei paesi in via di sviluppo. Il petrolio rimarrà il combustibile più utilizzato, con una quota che varia dal 40% al 50% in funzione delle regioni.

La produzione di elettricità aumenta costantemente ad un ritmo medio del 3% l'anno. Dal 2030 oltre la metà della produzione sarà generata con tecnologie sviluppate dagli anni novanta in poi, come le turbine a gas a ciclo combinato, le tecnologie avanzate del carbone e le energie rinnovabili.

L'utilizzazione del gas per la generazione di energia elettrica aumenta costantemente nelle tre principali regioni produttrici (CSI, Medio Oriente e America latina) mentre la quota del carbone diminuisce ovunque, ad eccezione dell'America del Nord in cui si è stabilizzato e in Asia in cui aumenta notevolmente. Lo sviluppo dell'energia nucleare non procede allo stesso ritmo della produzione totale di elettricità: la sua quota di mercato arriverà al 10% nel 2030. Le nuove energie rinnovabili rappresentano 4 % della produzione (rispetto al 2% nel 2000), soprattutto grazie ad un rapido incremento della produzione di energia eolica.

1.2.2 La situazione energetica italiana

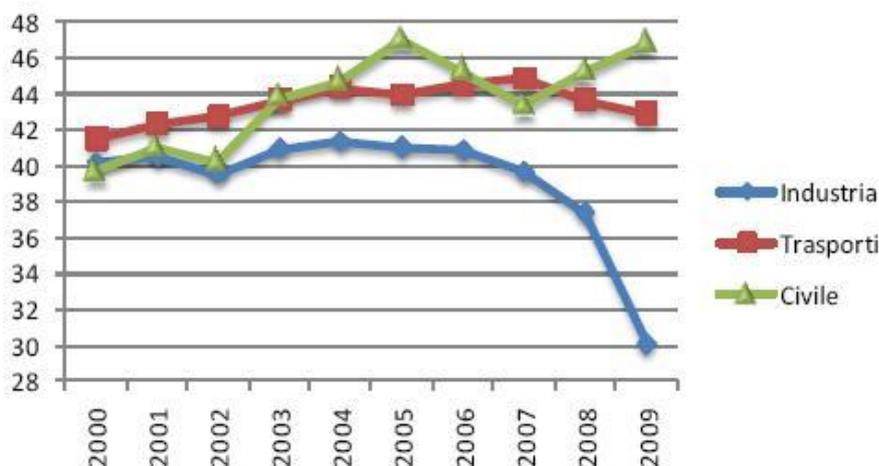
In Italia, a fronte di una diminuzione della popolazione, si è verificato un aumento del PIL costante nei decenni successivi al 1990.

La dipendenza energetica è stata, dopo il 2001, di oltre l'80%; i consumi di energia primaria sono aumentati di oltre l'1% annuo e dal 2001 si registrano un aumento della domanda di energia elettrica importata, di fonti rinnovabili e di carbone a fronte di una lieve diminuzione della domanda di combustibili liquidi e un consumo costante del gas.

La domanda di energia elettrica è aumentata nell'ultimo decennio di oltre il 2% annuo.

Negli usi finali si registrano un aumento dei consumi nel settore civile del 2,8%, un aumento minore del settore dei trasporti e un lieve aumento nel settore dell'industria⁵.

Nel settore civile l'aumento dei consumi può giustificarsi con le variazioni climatiche. Riguardo alla intensità dei consumi si ha un aumento dell'elettricità ed una diminuzione della intensità energetica.



Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

Fig. 1.7 – Consumi energetici italiani (2009) – Fonte: ENEA

Per quanto riguarda gli aspetti ambientali relativi ai cambiamenti climatici, le emissioni di anidride carbonica sono aumentate di oltre 5 punti percentuali nell'ultimo decennio.

Nel civile si hanno andamenti discontinui rispetto alle emissioni di gas serra dovuti essenzialmente alle variazioni climatiche, ma in ogni caso non si registra una tendenza alla diminuzione. La dipendenza dalle importazioni di energia elettrica ha subito un aumento continuo.



Fig. 1.8 – Consumi di elettricità in Italia (2010) – Fonte: TERNA

Dalla prima grande crisi petrolifera del 1973, in Italia manca ancora un approccio chiaro alla questione energetica improntato sulla diversificazione delle fonti primarie e sull'uso efficiente dell'energia nei vari settori di consumo finali. Le politiche energetiche si concentrano sugli obiettivi della riduzione della dipendenza energetica dall'estero, dell'aumento delle risorse energetiche interne, per la sicurezza degli approvvigionamenti e della garanzia di un accesso equo ed economico ai servizi energetici per le varie categorie di utenti finali.

Il forte peso che è stato assunto dalle fonti primarie non rinnovabili costituisce un grave elemento di vulnerabilità.

ELETTRICITÀ	2005		2007		2020 ¹		Potenziale	
	Power (MW)	Energy (TWh)	Power (MW)	Energy (TWh)	Power (MW)	Energy (TWh)	Power (MW)	Energy (TWh)
Idroelettrico	17.325	36	17.458	32,8	20.200	43,15	20.200 ²	43,15
Eolico	1.718	2,35	2.714	4,03	12.000	22,6	16.200 ³	27,2
Solare	34	0,03	86,8	0,04	9.500	13,2	28.200 ⁴	34,4
Geotermia	811	5,32	811	5,57	1.300	9,73	1.500 ⁵	10
Biomasse, Biogas, Biocomb.	1.201	6,16	1.336,9	6,95	2.415	14,5	2.415	14,5
Moto ondoso	0	0	0	0	800	1	800	1
Totale	20.989	50	22.407	49	46.215	104	69.315	130

Fig. 1.9 – Fonti rinnovabili in Italia (2008) – Fonte: APER

Nei prossimi anni le fonti rinnovabili probabilmente continueranno a rivestire un ruolo marginale in Italia, nonostante lo sviluppo di tali tecnologie sia fondamentale per il nostro paese, infatti se si trovasse il modo di diminuire i costi di produzione queste fonti potrebbero generare consistenti benefici economici, energetici ed ambientali.

Dal lato della domanda in Italia vi sono in primo luogo delle potenzialità non sfruttate nel solare, una fonte rinnovabile che è già oggi largamente competitiva dal punto di vista economico.

Quella delle rinnovabili per l'Italia è, inoltre, un'occasione per incrementare l'occupazione di oltre 175.000 unità nel prossimo decennio⁶.

L'eolico è in fase di crescita con oltre 1000 MW installati ogni anno, gli obiettivi previsti per il 2020 sono di incrementare di oltre 1/5 la produzione energetica da fonti rinnovabili in Italia⁷.

1.2.3 Le principali strategie internazionali

Le iniziative di politica energetica internazionali influiscono sempre più sulle singole politiche nazionali nel settore dell'energia, le grandi aree di intervento negli ultimi anni sulla politica energetica hanno determinato in maniera rilevante lo sviluppo delle tecnologie basate sulle fonti rinnovabili.

Dalle osservazioni degli esperti, quale il WG3, emerge con chiarezza la necessità di assumere decisioni in tempi rapidi sulla questione ambientale. Viene sostenuto con forza l'idea che non è necessaria una governance a livello planetario per fronteggiare la crisi legata ai mutamenti climatici, ciò che è indispensabile è una scelta politica sull'obiettivo di stabilizzazione da assumere.

Alla progressiva presa di coscienza delle problematiche ambientali ed energetiche da parte della comunità scientifica e della popolazione non corrispondono decisioni efficaci dal lato politico, bloccato da istinti di conservazione dei legislatori e da pressioni economiche più o meno potenti.

Il primo Summit della Terra, tenutosi a Rio de Janeiro nel 1992 sotto la supervisione dell'ONU (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development) ha ufficializzato definitivamente il concetto di sviluppo sostenibile a livello internazionale così come emerso dal citato rapporto Brundtland ed elaborato dagli esperti delle Nazioni Unite fin dalla prima conferenza internazionale

sull'ambiente umano di Stoccolma del 1972. Il documento finale redatto a Rio, sottoscritto da 183 paesi consiste nell'Agenda 21, dove vengono tratteggiate le strategie da compiere per promuovere lo sviluppo sostenibile nel mondo nel XXI° secolo.

Nel 1995 il CIB, una delle principali organizzazioni internazionali per lo sviluppo sostenibile nell'ambito delle costruzioni, sviluppa una parte dell'Agenda 21 per l'edilizia sostenibile che negli anni successivi verrà diffusa in modo capillare su tutto il territorio grazie alle amministrazioni locali; l'Agenda 21 dell'edilizia sostenibile offre un quadro che definisce i legami tra il concetto globale di sviluppo sostenibile e il settore delle costruzioni, consentendo anche alle altre Agende di interfacciarsi e diffondersi localmente. Di estrema importanza operativa è stato il successivo vertice di Kyoto, tenutosi nel 1997, sul tema dei mutamenti climatici. Nel documento finale 84 paesi riconoscendo l'urgenza di mitigare gli effetti negativi dell'immissione in atmosfera di gas serra si impegnano entro il 2012 a ridurre di almeno del 5% i livelli di emissione di anidride carbonica rispetto ai livelli del 1990 con modalità da stabilire caso per caso secondo declinazioni locali dell'Agenda 21.

Il Summit Mondiale sullo sviluppo sostenibile che ha avuto luogo a Johannesburg nel 2002 con lo scopo di fare il punto sul tema a 10 anni dal vertice di Rio e di rilanciare iniziative pratiche, si è chiuso con generiche dichiarazioni di intenti e una serie di azioni a livello locale.

Nel marzo del 2007 il Consiglio Europeo ha siglato un accordo che si è successivamente declinato nel cosiddetto pacchetto clima-energia-ambiente "20-20-20".

Nel gennaio del 2008 la Commissione Europea ha presentato una serie di proposte legislative miranti al contestuale conseguimento entro il 2020 di:

- obiettivi di riduzione obbligatori del 20% delle emissioni di gas serra;
- 20% di energie rinnovabili sul consumo energetico globale dell'Unione Europea;
- impiego di una percentuale di bio carburanti pari al 10% nel settore dell'autotrazione;
- obiettivo indicativo di aumento del 20% dell'efficienza energetica.

L'obiettivo europeo del 20% entro il 2020 è suddiviso in sotto obiettivi nazionali vincolanti per gli Stati membri. La Commissione Europea ha confermato per l'Italia come obiettivo la quota di energia rinnovabile nei consumi finali del 17%.

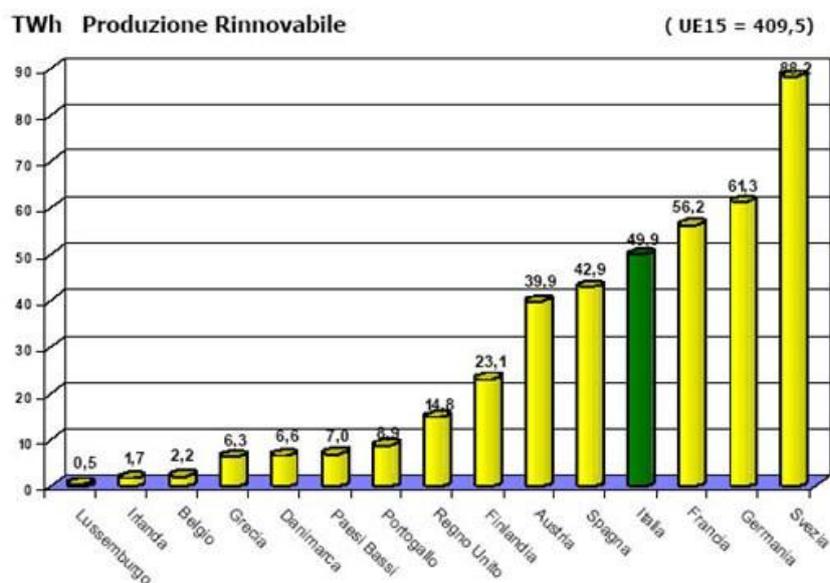


Fig. 1.10 – Produzione di energia da fonti rinnovabili (2010) – Fonte: ENERDATA

In quest'ottica, per promuovere un modello di sviluppo sostenibile, risultano di fondamentale importanza le fonti rinnovabili, tra cui figurano l'energia solare, eolica e idroelettrica, le biomasse e i biocarburanti. Attualmente le fonti rinnovabili rappresentano il 6% dell'approvvigionamento energetico dell'Unione Europea, cifra sostanzialmente stabile poiché l'aumento di produzione del petrolio è assorbito dall'incremento dei consumi globali. La Commissione Europea si era posta l'obiettivo di raddoppiare la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili investendo circa 165 mld. di Euro fino al 2010⁸.

L'impiego massiccio di energia solare, eolica e delle biomasse risulta quindi fondamentale nella strategia energetica complessiva dell'Unione Europea, ma assumerà un senso concreto soltanto a lungo termine in un quadro di razionalizzazione e riduzione del consumo

energetico che interessi tutti i settori, in particolar modo l'edilizia di nuova costruzione e gli interventi sul patrimonio edilizio esistente.

1.3 Energia da fonti rinnovabili

Le forme di energia generate da fonti capaci di rigenerarsi o non esauribili in tempi paragonabili al ciclo di vita umana e, il cui utilizzo, non pregiudica la disponibilità futura, sono considerate energie rinnovabili.

Le diverse fonti vengono definite con diversi criteri, non necessariamente scientifici, creando classificazioni non omogenei; la normativa di riferimento italiana considera rinnovabili: « ...il sole, il vento, le risorse idriche, le risorse geotermiche, le maree, il moto ondoso e la trasformazione in energia elettrica dei prodotti vegetali o dei rifiuti organici e inorganici ».

Spesso una differenziazione fatta, è quella tra fonti rinnovabili classiche, come idroelettrico e geotermia e fonti rinnovabili nuove, tra cui vengono generalmente incluse l'energia solare, eolica e da biomassa.

Le fonti rinnovabili, vengono inoltre classificate in "fonti programmabili" e "fonti non programmabili", a seconda o meno che possano essere programmate in base alla richiesta di energia elettrica. Il Gestore Servizi Elettrici, società per azioni italiana interamente

controllata dal Ministero dell'Economia e delle Finanze anche conosciuto come GRTN, fa rientrare nel primo gruppo (fonti programmabili) gli impianti idroelettrici a serbatoio e bacino, rifiuti solidi urbani, biomasse, impianti assimilati che utilizzano combustibili fossili, combustibili di processo o residui, mentre nel secondo gruppo (fonti non programmabili) si trovano gli impianti: di produzione idroelettrici fluenti, eolici, geotermici, fotovoltaici e a biogas.

L'energia nucleare non è tradizionalmente considerata rinnovabile poiché, per quanto riguarda l'energia nucleare da fissione e il ciclo di reazione che si basa sull'uranio-235 come combustibile, attualmente usato in maniera largamente diffusa, il suo impiego dipende comunque da riserve limitate di materiali. L'uranio-235 infatti costituisce solo lo 0,7% del totale dell'uranio presente in natura e, considerando le riserve conosciute fin'ora, si prevede che, con un consumo stabile prossimo a quello attuale ma a prezzi di estrazione via sempre più elevati, sia disponibile per altri duecento anni, nell'ipotesi più pessimistica.

Le fonti rinnovabili definite come classiche, sono quelle che vengono sfruttate per la produzione di energia elettrica fin dall'inizio dell'età industriale, due esempi sono l'energia geotermica e quella prodotta da fonte idroelettrica, quest'ultima ha avuto un ruolo fondamentale nel XIX e XX secolo per lo sviluppo delle reti elettriche. Le prospettive di uso futuro dipendono dall'esplorazione delle risorse potenziali disponibili,

in particolare nei paesi in via di sviluppo e dalle richieste in relazione all'ambiente e all'accettazione sociale.

La ricerca ed il sistema economico che gravitano intorno alle nuove fonti di energia rinnovabile, ovvero NFER, è forte e in crescita principalmente in paesi come la Germania, la Spagna, gli Stati Uniti e il Giappone. La sfida è allargare le basi di mercato per una crescita continuativa in tutto il mondo. Tra queste trovano posto il solare termico, il fotovoltaico e l'eolico, che, grazie alle ricerca tecnologica ed al ruolo determinante che hanno assunto nell'economia mondiale, sono diffusi a livello capillare per qualsiasi tipo e scala di utenza, in particolar modo nel settore delle costruzioni.

Il miglioramento delle prestazioni e la riduzione dei costi è strettamente correlata con la diffusione di una specifica tecnologia in un certo paese, da questo, in un sistema globalizzato, possono trarre vantaggi anche gli utenti di altri paesi.

1.3.1 Energia idraulica

L'energia idraulica, è una rinnovabile tra le più diffuse da oltre due secoli nella parte industrializzata del mondo, da essa si ricava l'energia idroelettrica; le centrali idroelettriche generano le più alte potenze tra quelle in uso tradizionalmente. Sono centinaia di anni che gli uomini utilizzano la forza portata dall'acqua di

torrenti e fiumi per mettere in moto i meccanismi dei mulini e delle macchine.

Negli impianti idroelettrici l'energia viene prodotta sfruttando un salto di quota della corrente liquida trasformando la sua energia da potenziale a cinetica. La potenza di una centrale idroelettrica può variare da pochi MW ad alcune migliaia, le centrali più diffuse sono quelle di dimensioni maggiori. L'energia idroelettrica primaria prodotta in tutto il mondo è stimata intorno ai 250 Mtep pari a poco più del 2% sul totale e al 16% di quella prodotta da fonti rinnovabili⁹.

Questa tecnologia nei paesi che presentano un maggior livello di industrializzazione è giunto alla quasi totale saturazione, negli ultimi anni ha iniziato a prendere piede una nuova classe di impianti di dimensioni ridotte: mini-hydro, di questa classe fanno parte gli impianti di potenza minore o uguale ai 10MW.



Fig. 1.11 – Impianto Micro-hydro da 10 KW

L'unico impianto capace di accumulare grandi quantità di energia elettrica generata dall'energia idraulica è la cosiddetta centrale di pompaggio, essa è costituita da due serbatoi posti a quota differente, normalmente funziona come un normalissimo impianto idroelettrico; in alternativa l'acqua viene trasferita dal serbatoio più basso a quello a quota superiore, la risalita dell'acqua viene effettuata quando i carichi energetici da alimentare sono ridotti sfruttando il surplus energetico generato da altre fonti. Attualmente la ricerca si sta concentrando su nuove soluzioni per trarre energia dal movimento del mare, mediante appositi meccanismi ad elica: le turbine marine. Questi studi si basano sullo sfruttamento delle correnti, del moto ondoso e le variazioni di marea considerevoli.

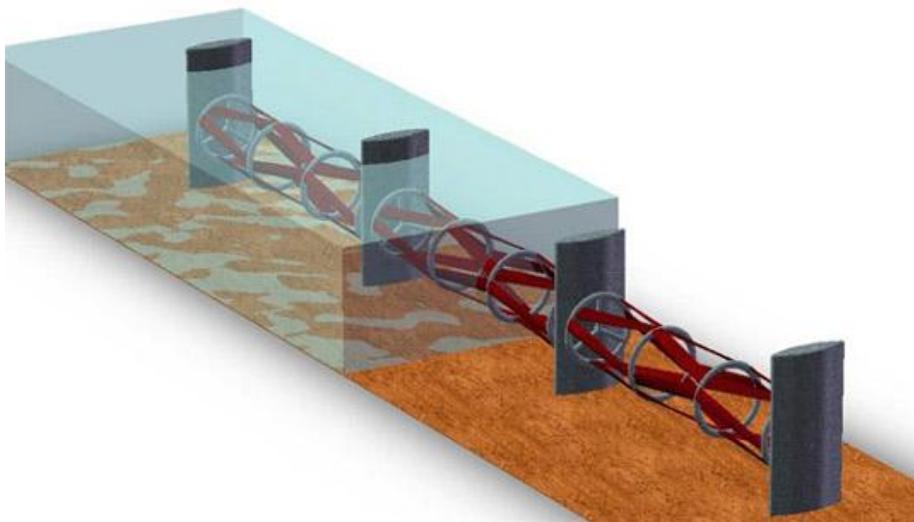


Fig. 1.12 – Render di un impianto a turbine marine

1.3.2 Energia geotermica

La storia della geotermia è cominciata in Toscana nel 1800, nella zona di Larderello veniva estratto il boro dalle acque geotermiche per l'industria farmaceutica dell'epoca, l'acqua che sgorgava liberamente dal sottosuolo veniva convogliata nelle vasche. Francesco de Larderel, proprietario dell'omonima ditta, ebbe l'idea di sfruttare il calore geotermico opportunamente incanalato per sostituire il calore sprigionato dalla combustione di legname. In seguito vennero realizzate le prime pompe a vapore e dal 1900 l'energia geotermica venne utilizzata per l'azionamento di macchinari e successivamente per la produzione di energia elettrica.

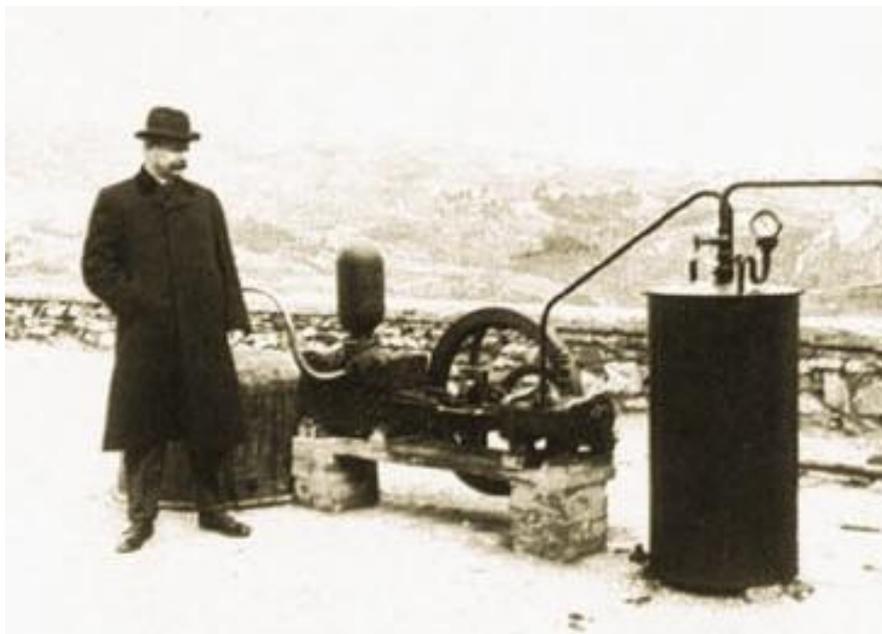


Fig. 1.13 – 1904: la prima macchina geotermica di De Larderel

L'energia geotermica è generata dallo sfruttamento del calore della terra. Esistono due tipi di geotermia: uno sfrutta il calore ad alta temperatura, dovuto ad anomalie geologiche o vulcaniche ed è utilizzato per la produzione di energia elettrica in grandi centrali; il secondo, definito a bassa entalpia, attinge al sottosuolo come ad un serbatoio termico da cui prelevare calore per il riscaldamento degli edifici in inverno e a cui cederlo per il raffrescamento degli stessi durante il periodo estivo.

La diffusione degli impianti geotermici del primo tipo è molto ridotta, poiché ridotto è il numero dei siti adatti alla loro realizzazione; centrali di questo tipo sono diffuse in Islanda ed in Nuova Zelanda.



Fig. 1.14 – La centrale geotermica di Larderello (Pisa)

Diversamente dagli impianti geotermici ad alta temperatura, quelli geotermici a bassa temperatura possono essere installati potenzialmente ovunque con grandi vantaggi per i consumi energetici degli edifici e per l'ambiente: sono infatti in grado di sostituire completamente il tradizionale impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria ed anche quello di condizionamento estivo.

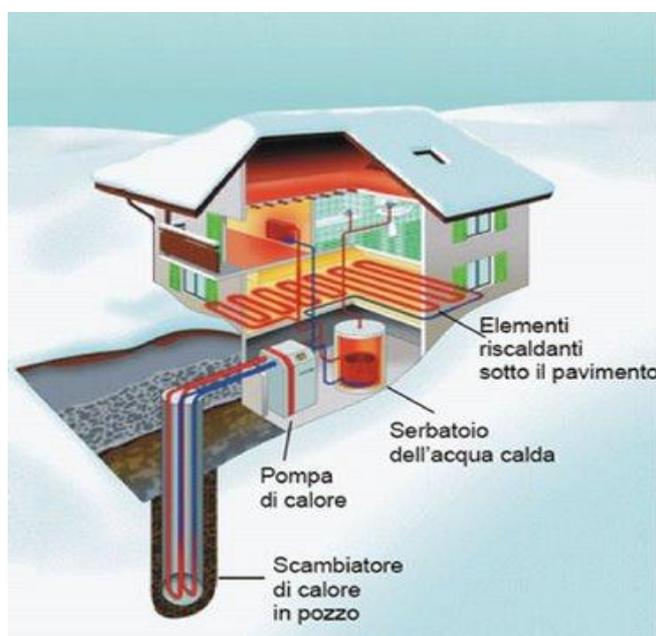


Fig. 1.15 – Schema di un impianto geotermico a bassa entalpia

L'impianto geotermico di un edificio è costituito da: un sistema di captazione del calore attraverso tubazioni chiamate sonde geotermiche (possono essere di tipo verticale o orizzontale), una pompa di calore elettrica, un sistema di distribuzione del calore. Le sonde sono l'elemento dell'impianto che permette lo scambio di calore con il terreno; quelle verticali richiedono perforazione del diametro di pochi centimetri e profonde da 50 a 150 metri; quelle orizzontali invece,

possono essere collocate a profondità di 1 o 2 metri al massimo, ma necessitano di superficie più estese. L'efficienza delle sonde deriva dalle caratteristiche geologiche del terreno.

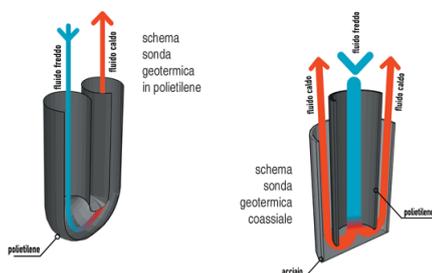


Fig. 1.16 – Sonde verticali



Fig. 1.17 – Sonde orizzontali

Sia per gli impianti verticali che per quelli orizzontali il funzionamento è lo stesso: un fluido additivato di antigelo in percentuale variabile a seconda della zona climatica viene fatto circolare nelle sonde; durante il periodo invernale questo liquido assorbe calore dal terreno, in estate invece, il fluido cede il calore proveniente dagli ambienti dell'abitazione al terreno che in questo caso oltre una certa profondità conserva una temperatura costante minore rispetto all'aria. La pompa di calore utilizza energia elettrica per portare il calore assorbito dal terreno a una temperatura più elevata e per trasferirlo attraverso il sistema di distribuzione all'interno degli ambienti. La pompa di calore compie questo lavoro con un'efficienza molto elevata, può arrivare a produrre 4KW termici per ogni KW elettrico in ingresso.

Il numero dei paesi produttori di energia geotermica nel mondo sono in aumento; nel 2010 l'energia totale prodotta è stata di 10715 MW, negli ultimi 5 anni c'è stato un aumento del 20%, le previsioni per il 2015 sono di 18500 MW di potenza installata nei vari paesi del mondo¹⁰.

1.3.3 Energia eolica

Dal vento viene ricavata energia da ormai diversi secoli, inizialmente per spingere le imbarcazioni a vela e successivamente sfruttata con i mulini a vento. Gli impieghi del presente avvengono invece attraverso l'utilizzo degli aerogeneratori, ovvero dei componenti tecnici che permettono di convertire l'energia cinetica del vento in energia elettrica.

Queste macchine sono composte da un rotore ad elica montato su una struttura a torre, il vento imprime la sua forza sul rotore che girando attorno al proprio asse trasmette l'energia da trasformare in elettricità.

La tecnologia eolica ad oggi risulta talmente avanzata che i Kwh elettrici prodotti dagli aerogeneratori sono paragonabili ai Kwh prodotti da fonte tradizionale.

Il problema tecnico dell'energia eolica è che non fornisce una quantità di energia standard, ma è una fonte intermittente; inoltre la progettazione di parchi eolici trova più difficoltà a svilupparsi nelle regioni a bassa densità abitativa in quanto l'impatto visivo degli impianti sui paesaggi naturali non può essere accettato.

Esistono generatori eolici ad asse orizzontale o verticale; gli impianti eolici sono anche classificati in base alla loro potenza: il microeolico sprigiona potenza inferiore a 20 KW, il minieolico va dai 20 KW ai 200 KW, le turbine eoliche impiegate nelle centrali e negli impianti off-shore raggiungono potenze di 3 MW.

La ricerca più avanzata nel settore è attualmente concentrata sullo sviluppo dell'eolico da alta quota che sfrutta i venti presenti a un'altezza rilevante dal suolo, il suo funzionamento è ispirato a quello della kitesurfing, questo sistema elimina i problemi statici e il vento è catturato dai profili alari.



Fig. 1.18 – Schema di un impianto eolico ad alta quota

Nelle pagine successive verrà trattato l'eolico di piccole dimensioni o minieolico, poiché questa è la taglia degli impianti impiegata nel settore delle costruzioni e nello specifico per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente.

1.3.4 Energia solare

Quella solare è forse la più diffusa tra le energie ricavate dalle cosiddette nuove fonti rinnovabili, sicuramente essa è la più impiegata nell'ambito dell'edilizia. Dell'interazione tra sistemi solari ed architettura verrà trattato specificatamente nei successivi capitoli, di seguito sarà esposta una breve e sommaria descrizione.

E' possibile ricavare dal sole due forme di energia primaria: quella termica e quella elettrica. La tecnologia dei pannelli è completamente diversa a seconda di quale delle due forme si intenda ottenere.

L'energia solare può essere sfruttata per ottenere energia termica primaria mediante l'utilizzo di collettori solari. Il calore generato da tali sistemi fornisce acqua calda ad uso sanitario, industriale, riscaldamento, può inoltre essere trasformato a sua volta in energia elettrica. Questa tecnologia prende il nome di solare termico, che ad oggi viene declinato per ogni tipo di utenza ed in infiniti formati presenti sul mercato.

In alternativa l'energia solare può essere utilizzata per generare direttamente energia elettrica primaria sfruttando l'effetto fotovoltaico che hanno alcuni materiali semiconduttori di generare una differenza di potenziale quando illuminati dalla radiazione solare. Questa tecnologia fu studiata originariamente a partire dagli anni 50 per l'uso sui satelliti spaziali.

L'industria del solare crea dai 200 ai 400 posti di lavoro nella ricerca, nello sviluppo e nella produzione ed installazione per ogni 10 MW di energia solare prodotta annualmente.

Attualmente l'energia solare fornisce solo lo 0,5% della capacità elettrica installata a livello globale. La domanda dell'energia solare è cresciuta nel mondo di circa il 30% all'anno negli ultimi 15 anni¹¹. Nello specifico in Italia hanno registrato un'impennata negli ultimi 3 anni.

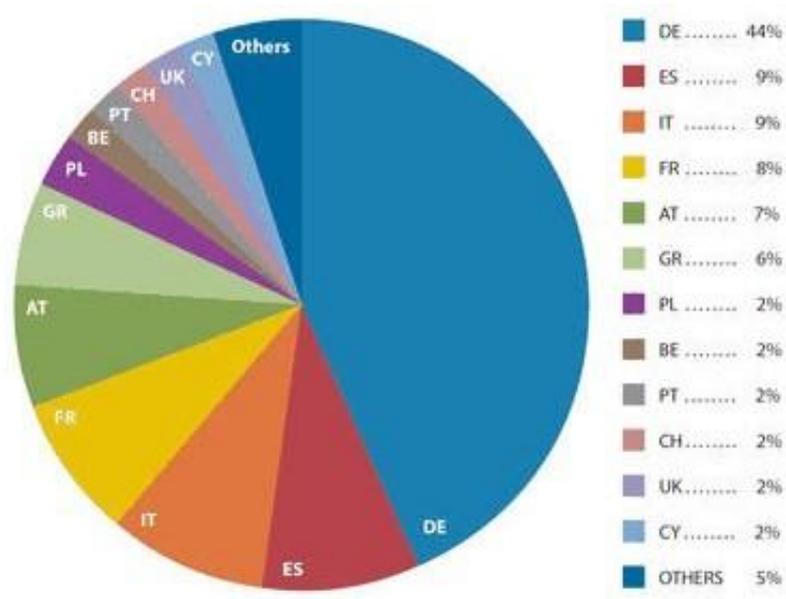


Fig. 1.19 – Mercato dell'energia solare in Europa (2009) – Fonte: ESTIF

1.3.5 Energia da biomasse

La categoria delle biomasse comprende materiali estremamente vari tra loro che hanno in comune il fatto di avere una matrice organica, tra essi troviamo: residui delle coltivazioni, residui di piante, scarti di attività industriali di natura organica quali il legno, scarti di aziende zootecniche e rifiuti urbani (frazione umida). Essenzialmente questi materiali vengono adoperati per ottenere energia attraverso due diversi procedimenti: conversione biochimica e conversione termochimica. Da entrambi i processi si ottengono delle sostanze combustibili chiamate biocombustibili, questi possono alimentare i comuni motori a scoppio o altri progettati appositamente.

Non vi è immissione di anidride carbonica nell'atmosfera utilizzando biocombustibili poiché la quantità di anidride carbonica rilasciata durante la decomposizione è equivalente a quella assorbita durante la crescita della biomassa. Essa è dunque una energia completamente pulita.

I processi termochimici sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie per trasformare la materia in energia, per essi sono utilizzabili quei materiali il cui contenuto di umidità non superi il 30%, alcuni esempi di biomasse adatte a subire questo tipo di conversione sono: la legna e tutti i suoi derivati.

I processi biochimici permettono di ricavare energia per reazione chimica dovuta al contributo di enzimi,

funghi e microorganismi che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni. Le biomasse impiegate presentano un'umidità alla raccolta superiore al 30%. Risultano idonee alla conversione biochimica le colture acquatiche, alcuni sotto prodotti colturali, i reflui zootecnici ed alcune tipologie di scarti urbani ed industriali.

Le tecnologie più valide per l'utilizzazione energetica delle biomasse sono le seguenti:

- combustione diretta con conseguente produzione di calore da utilizzare per il riscaldamento o per la generazione di vapore;
- trasformazione in combustibili liquidi di particolari categorie di biomasse coltivate, per la produzione di carburanti quali il biodiesel e l'etanolo;
- produzione di biogas mediante fermentazione anaerobica dei rifiuti organici, in questo caso l'aspetto energetico riveste un ruolo complementare rispetto a quello più propriamente ambientale;
- produzione di gas combustibile a partire da legno, residui agricoli o rifiuti solidi urbani da utilizzare per la conversione energetica.

Impianti di riscaldamento a biogas sono particolarmente in uso nell'Europa settentrionale dove vengono installati nel patrimonio edilizio esistente pubblico e privato in sostituzione dei vecchi impianti inefficienti.

Una biomassa molto diffusa per usi domestici è il pellet, essa si distingue per la bassa umidità e per la sua elevata densità, è ricavata da residui legnosi non trattati pressati in apposite macchine a forma di cilindretti. Vengono impiegati per impianti di riscaldamento di dimensioni ridotte.



Fig. 1.20 – Produzione di pellet



Fig. 1.21 –Pellet

¹⁻⁵ Masera Gabriele, *Residenze e risparmio energetico*, Milano, Il Sole 24 ore, 2004.

² www.ipcc.wg2.gov

³ www.scienzagiovane.unibo.it

⁴ ec.europa.eu

⁶ AA.VV., *Libro Bianco "Energia, Ambiente, Edificio"*, Milano, Il Sole 24 ore, 2004.

⁷ www.anev.org

⁸ europa.eu

⁹ www.terna.it

¹⁰ www.iea.org

¹¹ www.isesitalia.it

CAPITOLO SECONDO

IL BINOMIO EDILIZIA - ENERGIA

CAPITOLO 2

IL BINOMIO EDILIZIA - ENERGIA

Nel consumo energetico mondiale e nelle relative emissioni di gas serra il settore delle costruzioni riveste un ruolo fondamentale; quello dell'edilizia rimane comunque un ambito caratterizzato da ampi margini di miglioramento dell'efficienza energetica e in generale della compatibilità ambientale.

Gli esperti del Working Group 2 dell'IPCC, nel loro rapporto¹ relativo alle analisi degli impatti dei singoli settori sul mutamento climatico, stimano che a livello mondiale gli edifici residenziali sono responsabili del 21% delle emissioni di anidride carbonica e quelli terziari del 10,5%; la maggior parte dei consumi è determinata dalla necessità di riscaldamento degli ambienti. L'utilizzo di energia tende a crescere costantemente a ritmo del 3% l'anno dal 1971 ad oggi, ad eccezione dell'Europa orientale dove il crollo dell'economia sovietica ha determinato una significativa riduzione dei consumi. Al contrario, si è verificata una tumultuosa crescita della domanda energetica nei paesi in via di sviluppo dell'Asia sud occidentale a ritmo del 5,5% annuo da quarant'anni a questa parte.

Le emissioni totali nel settore delle costruzioni dovute sia al consumo di combustibili che alla produzione di energia elettrica, si stima siano il 43% delle emissioni totali di anidride carbonica.

Solo nei paesi più industrializzati si è registrato un aumento di emissioni inferiore al consumo assoluto di energia primaria grazie al passaggio graduale a fonti meno inquinanti ed al migliore isolamento termico degli edifici.

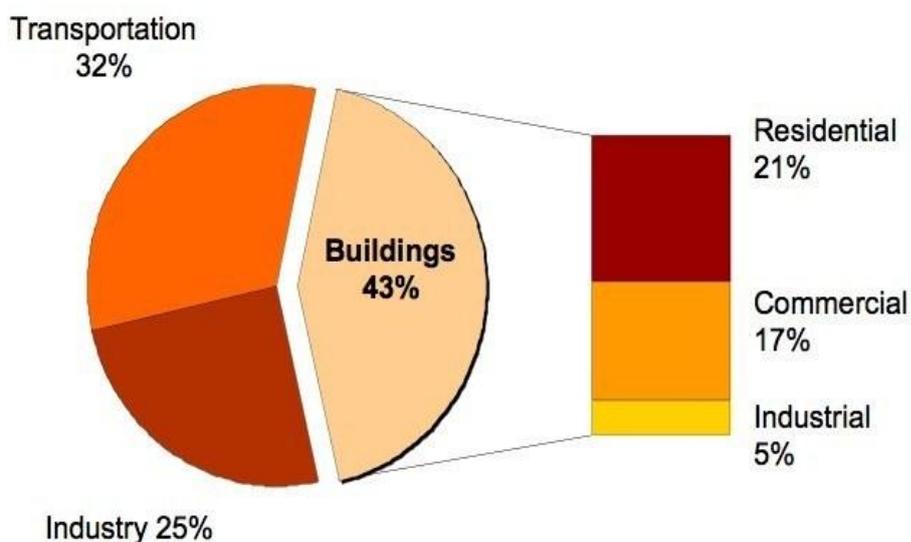


Fig. 2.1 – Le emissioni di CO₂ dei vari settori nel 2010 – Fonte: IEA

Per quanto riguarda la situazione europea, l'unione indica che il 40,7% dei consumi totali deriva dai settori residenziali e terziario, di cui il 10% proveniente da fonti rinnovabili². Anche in questo caso il riscaldamento degli ambienti è di gran lunga l'uso finale più importante per gli edifici residenziali, seguito dal riscaldamento dell'acqua a fini igienici e sanitari e da elettrodomestici da illuminazione. Per gli edifici terziari l'importanza del riscaldamento degli ambienti e dell'acqua è minore, mentre sono maggiori i consumi per illuminazione, macchinari e raffreddamento.

Gli esperti hanno prospettato che il consumo di energia degli edifici su scala planetaria raddoppierà in assenza di misure significative, nel 2020 sarà il doppio di quello del 1990.

Tuttavia i consulenti dell'ONU e quelli dell'Unione Europea concordano sulla possibilità di ridurre in percentuale importante i consumi del settore con l'uso, in larga scala, di tecnologie sempre più innovative che permettano, in primo luogo, di limitare il fabbisogno e, quindi, di integrare l'uso di fonti rinnovabili specialmente nel settore delle costruzioni; è su questi due binari che si muovono le principali strategie per la soluzione dei problemi.

L'attenzione verso l'ambiente nella gestione degli edifici porta a ridurre gli effetti negativi attraverso il risparmio delle risorse, la messa in opera di sistemi passivi atti alla riduzione dei consumi ed alla produzione di energia rinnovabile con sistemi integrati ed autonomi.

2.1 Il peso dell'edilizia sui cambiamenti climatici³

Il settore edilizio incide significativamente sul totale dei consumi e l'aumento di questi ultimi è direttamente connesso con l'incremento delle emissioni di gas serra nell'atmosfera. Negli anni 90 gli usi energetici degli edifici abitativi e commerciali rappresentavano il 36% dei consumi totali di energia primaria; attualmente la media a livello europeo dell'energia usata per il funzionamento di un edificio convenzionale contemporaneo è di 150 KWh/mq/a, dieci volte superiore a quella impiegata nella produzione dei materiali utilizzati per la sua costruzione.

Nei paesi industrializzati avanzati 2/3 dell'energia viene assorbita per modificare le condizioni climatiche interne agli edifici, attraverso il riscaldamento ed il raffrescamento e, maggiore è la differenza delle condizioni esterne, maggiore è il contributo energetico necessario.

Il settore edile mostra un'incidenza ambientale e sociale determinante; ad esempio, nell'Unione Europea, oltre il 50% del consumo totale di energia e circa il 40% dei rifiuti afferiscono agli edifici ed il suddetto settore produce circa l'11% del prodotto interno lordo totale.

Inoltre va considerato che parte dell'impatto ambientale dovuto al settore delle costruzioni si manifesta ancor prima che gli utenti entrino nelle abitazioni: circa il 40% dei materiali utilizzati ogni anno dall'economia mondiale, pari a 3 mld di tonnellate di materie prime, viene trasformato per le costruzioni.

Intervenire sulla riduzione dei consumi energetici appare fondamentale; nei soli Stati Uniti d'America alzare in estate di 3°C la temperatura interna delle abitazioni taglierebbe i consumi per l'aria condizionata del 18% nel periodo di massimo consumo.

I consumi energetici del settore non sono trattabili separatamente dal sistema in cui l'edificio si situa. Attualmente metà della popolazione mondiale è urbanizzata e bisogna aggiungere che l'insediamento delle persone, a parità di condizioni dei sistemi naturali locali, avverrà nelle aree con un clima meno favorevole. Nei paesi ricchi lo spazio abitativo pro-capite è raddoppiato, dunque l'aumento della climatizzazione di spazi interni necessiterà di maggiori consumi energetici connessi.

L'intervento finalizzato al miglioramento dell'efficienza energetica e alla riduzione dell'impatto ambientale degli edifici non può essere limitato al manufatto in sé, ma va esteso anche alle città.

Gli edifici fanno parte, infatti, di un sistema insediativo che spesso non ha alcun interesse a considerare le sue relazioni con l'ambiente, ma che, fino alle società industriali, ha mostrato una forte capacità di adattamento alle condizioni del contesto. L'Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente ha condotto uno studio dal quale emerge che l'impiego di tecnologie più efficienti e il ricorso alle rinnovabili nel settore edile ridurrebbe la domanda di elettricità di oltre il 40% su un periodo di 15-20 anni. La maggior parte degli edifici esistenti è costruita senza porre attenzione all'ambiente e all'energia

nonostante le innumerevoli soluzioni tecniche che ogni giorno sono disponibili sul mercato.

E' evidente che la questione energetica è centrale all'interno del settore edile, ma il problema energetico degli edifici va risolto intervenendo sulle singole componenti; la qualità ambientale dell'edificio è determinata dall'interazione di componenti e materiali in un sistema organico e l'edificio deve risultare strettamente connesso alle modalità di abitare i luoghi e, quindi, alla cultura dei fruitori per migliorare le loro condizioni e rispettare l'ambiente che li ospita.

2.2 I consumi energetici degli edifici⁴

L'edilizia svolge un ruolo decisivo per qualsiasi ragionamento che guardi al tema energia. I consumi legati agli usi civili rappresentano circa il 50% dei consumi elettrici e il 33% dei consumi energetici totali in Italia. La questione dell'edilizia è dunque un nodo fondamentale da affrontare nel nostro paese.

La maggior parte del nostro patrimonio edilizio è stato costruito dopo la seconda guerra mondiale (circa il 61% degli edifici ad uso abitativo) ed ancora oggi si continua a costruire troppo e con tecniche e attenzioni progettuali che relegano la questione energetica in secondo piano.

I due grandi campi di intervento sono dunque da un lato la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente, dall'altra il rinnovamento del modo di costruire (ricostruire dopo aver demolito).

I fabbisogni per la gestione del civile sono sette volte più alti di quelli per la costruzione-ristrutturazione degli edifici. In Italia il totale delle tonnellate di petrolio impiegate nelle costruzioni rappresenta il 45% del fabbisogno energetico nazionale e quindi delle emissioni che alterano il clima.

Il problema più spinoso è legato alla gestione dell'edificio visto che, tra le altre cose, oltre il 60% del parco abitativo europeo è di costruzione anteriore ai quadri normativi sull'isolamento degli edifici e la gestione dei loro impianti.

La vita utile delle abitazioni è di almeno 30 anni, di conseguenza, continuando con l'attuale ritmo, i costi energetici della gestione degli edifici supereranno, nella vita utile, di dieci volte quelli della costruzione.

2.2.1 I consumi in fase di costruzione e demolizione

La costruzione di un'abitazione di medie dimensioni, cioè 100 mq., in uno stabile comporta il consumo di 5 tonnellate di petrolio. Questa valutazione deriva dal computo di circa 100 tonnellate di materiale necessario alla costruzione: cemento, calce, laterizi, rivestimenti e metalli. Per ciascun prodotto, mediante processi differenti, si impiegano alte quantità di energia, oltre a quella impiegata per trasporto e logistica.

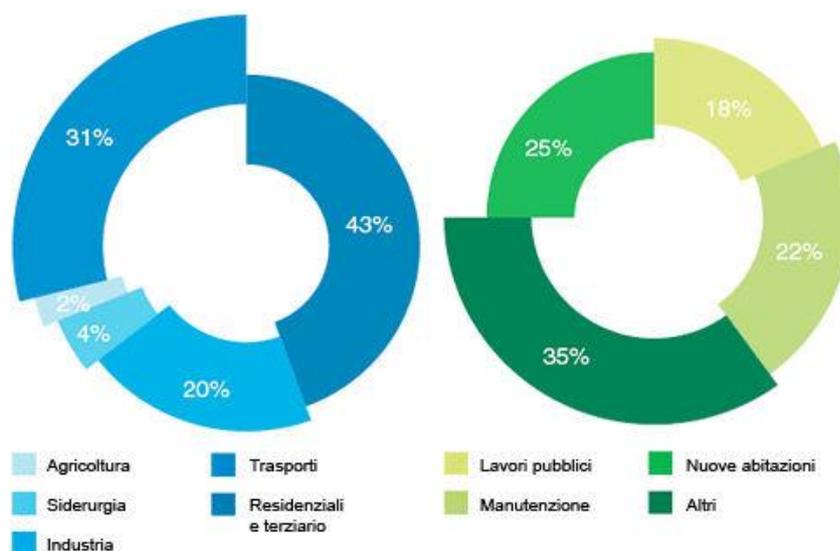


Fig. 2.2 – Consumi nel settore delle costruzioni nel 2010 in Europa - Fonte: IEA

La quantità di energia utilizzata nei cantieri appare trascurabile se paragonata a quella dei processi produttivi dei materiali impiegati.

Questi consumi, ad ogni modo, appaiono modesti se confrontati ai costi energetici di gestione degli edifici. A fronte di 20,5 milioni di famiglie, esistono infatti in Italia oltre 26 milioni di abitazioni, di queste circa 19 milioni sono stabilmente riscaldate nella stagione invernale e molte vengono raffrescate nella stagione estiva.

Per abbattere i costi dei processi di costruzione e ristrutturazione dell'ingente patrimonio edilizio esistente, va migliorata l'automazione e ridotto l'impiego di sostanze inquinanti, incrementando l'uso di combustibili meno pregiati o di recupero.

Occorrerebbe, soprattutto, innovare tutti i prodotti impiegati in costruzione che risultano spesso inadeguati per i parametri normativi di fonte europea e che interessano con una certa importanza le ristrutturazioni.

La somma degli input energetici necessari lungo tutto il processo produttivo per la realizzazione di un edificio è detta energia incorporata. Il suo studio viene svolto con i metodi LCA (Life Cycle Assessment), suddividendo i consumi in base a differenti fasi di costruzione: l'estrazione di materie prime, il processo di trasformazione, il trasporto in cantiere e la messa in opera nell'edificio.

In un comune edificio l'energia per il funzionamento e la gestione raggiunge quella incorporata dopo 3-4 anni di vita utili. La situazione cambia radicalmente se

l'edificio è realizzato o riqualificato energeticamente in modo conforme agli standard più restrittivi di consumo energetico: ipotizzando che l'energia incorporata resti invariata sui valori prima considerati, in questo caso, il pareggio con l'energia di funzionamento richiede tra i 20 e i 27 anni.

Un manufatto edilizio giunge al termine del suo ciclo di vita una volta verificato che non ne sia possibile o conveniente il suo riutilizzo. A questo punto si rende necessaria la demolizione; anche questa fase ha un impatto rilevante sul bilancio energetico totale perché produce dei materiali il cui smaltimento necessita di altri consumi energetici.

L'idea migliore per affrontare questa fase è quella della completa dematerializzazione dell'edificio, nel senso di ottenere dal suo smantellamento un insieme di elementi e materiali che possono essere riutilizzati o riciclati con l'immissione in altri sistemi produttivi.

2.2.2 I consumi in fase di gestione

Questa è la fase nella vita di un edificio più dispendiosa, come già detto, in termini energetici. Uno studio dell'IEA (Agenzia Internazionale per l'Energia) dimostra che gli edifici italiani spiccano fra quelli dei paesi industrializzati per i bassi consumi per il riscaldamento. Se questi dati vengono divisi per i gradi-giorni (indice proporzionale alla rigidità del clima) ne risultano valori comparativamente molto alti. Quello che deve essere chiaro è che i bassi consumi per metro quadro sono frutto della mitezza del clima, mentre

gli alti valori per metro quadro per gradi-giorni, dipendono dai cattivi involucri e dalla cattiva gestione dei nostri edifici.

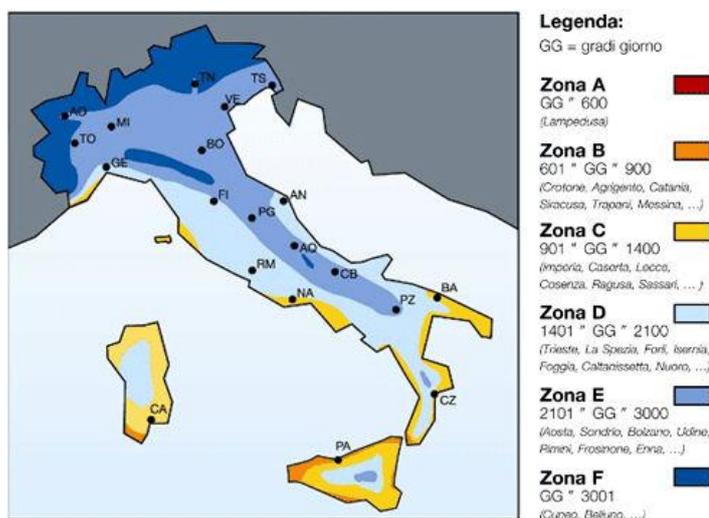


Fig. 2.3 – Consumo energetico degli edifici –Direttiva 2002/91/CE

Nel corso della vita utile dell'edificio, si presentano più volte necessità di interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria che richiedono una certa quantità di risorse producendo rifiuti. Le normali operazioni di manutenzione sono necessarie per mantenere i livelli prestazionali previsti in sede di progetto e per i vari elementi tecnici. Inoltre, si può presentare un'esigenza di aggiornamento prestazionale dovuta ad evoluzione normativa o al mutamento delle necessità dell'utenza. Particolari necessità possono portare ad un cambiamento della distribuzione interna o ad una rifunionalizzazione dell'immobile. Ognuna di queste operazioni implica un pesante consumo di energia più o meno costante nel tempo. Le conseguenze di un'errata soluzione costruttiva possono trascinarsi con le loro inefficienze energetiche per decine di anni.

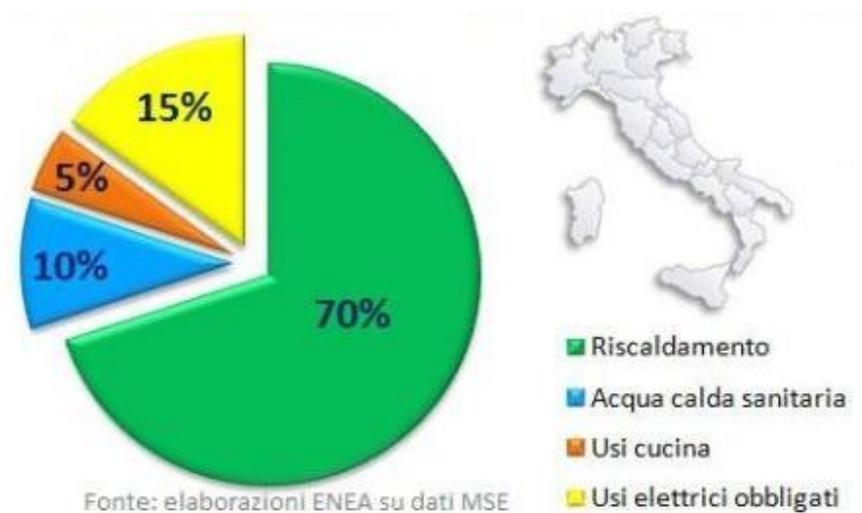


Fig. 2.4 – Consumo energetico per usi finali nel 2010 – Fonte: ENEA

2.3 La questione energetica delle città

Nei prossimi dieci anni l'adozione di una strategia urbana sul clima consentirebbe una riduzione delle emissioni di CO₂ superiore al 25%. In Italia è facile comprendere la dimensione di questo contributo considerando che 2/3 degli spostamenti delle persone avviene nelle aree urbane e che oltre il 40% dei consumi energetici proviene dagli usi civili⁵; lo scenario città- clima potrebbe produrre una serie di effetti positivi ed incidere a cascata su aspetti cruciali delle politiche urbane a cominciare da quelli economici, sanitari e sociali.

Il modo di ripensare e riprogettare le città dovrebbe essere totalmente rinnovato. Per ridurre significativamente i consumi energetici e le emissioni di CO₂ occorre realizzare case e quartieri in cui si viva bene e consumando meno energia per il riscaldamento d'inverno, grazie ai migliori sistemi di isolamento e a soluzioni progettuali capaci di valorizzare i naturali contributi del sole, dei venti, delle ombre e dei corsi d'acqua per trarre energia.

In ambito urbanistico un ruolo fondamentale per la questione energetica ed ambientale sta nel rendere finalmente competitivo il trasporto pubblico e di favorire negli spostamenti urbani la mobilità pedonale e ciclabile; interi quartieri concepiti per uno spostamento esclusivamente automobilistico andrebbero riprogettati. Accanto a queste sfide c'è poi

l'altrettanto fondamentale aspetto che riguarda la produzione e la gestione dei rifiuti, anch'essa legata al tema energetico.

Negli ultimi 15 anni le aree urbane italiane hanno visto un aumento delle temperature di circa un grado superiore alla media nazionale, con differenze di temperature che possono arrivare fino a 4-5 gradi tra aree edificate e libere. Ripensare le città significa perciò intraprendere con decisione la sostenibilità energetica e allo stesso tempo prevenire gli effetti del surriscaldamento.

Lo spazio urbano è uno spazio specifico per l'abitazione e, quindi, la sua progettazione deve avere come obiettivo prioritario l'incremento della qualità di chi lo abita. Il riscaldamento e il raffreddamento passivo degli spazi pubblici aperti offrono un importante contributo al risparmio energetico se legati ad un'attenta riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente; essi possono migliorare anche le condizioni climatiche del sottosistema edificio-impianto riducendo il loro fabbisogno energetico e migliorando la vivibilità. Un effetto indiretto della migliore qualità della vita urbana è una riduzione della richiesta di mobilità per l'allontanamento dai centri nel tempo libero.

Il progetto e la costruzione dello spazio urbano sensibile a questi aspetti è supportato dalla disponibilità di soluzioni tecnologiche ed innovative presenti sul mercato e dai sempre più precisi strumenti di calcolo e di analisi urbanistica ambientale.

2.4 La questione energetica negli edifici pubblici

Le scuole, gli ospedali, gli edifici municipali e gli altri edifici pubblici costituiscono, in Italia come in Europa, uno degli ambiti di maggiore inefficienza dal punto di vista energetico.

Le amministrazioni locali hanno perciò enormi margini di intervento per riqualificare il patrimonio edilizio pubblico che gestiscono, questo deve essere fatto anche applicando standard più stringenti di quanto richiesto per l'edilizia abitativa.

Una semplice gestione più oculata degli impianti di riscaldamento potrebbe consentire un taglio netto sui consumi e sulle bollette energetiche.

L'ENEA stima che attraverso la sola regolazione della temperatura ambientale sui 20° permetterebbe una riduzione dei consumi del 5-10 per cento.

Per arrivare di qui ai prossimi dieci anni, nel termine fissato per il 2020, ad una radicale razionalizzazione dei consumi del patrimonio pubblico, le amministrazioni pubbliche in Italia stanno classificando energicamente tutto il loro edificato, individuando i punti più critici e valutando interventi di riqualificazione complessivi.

Gli interventi di ristrutturazione devono risultare organici e programmati o associati a specifiche occasioni di manutenzione ordinaria, tutto ciò al fine di ridurre al minimo la spesa.

Il nostro patrimonio edilizio pubblico è costituito in prevalenza da edifici scolastici, uffici, ospedali e edifici ricreativi.

Da dati elaborati nel 2010 dal CRESME⁶ (Centro Ricerche Economiche Sociologiche e di Mercato nell'Edilizia) emerge che la classe energetica media di questi edifici risulta compresa tra la E e la G.

Anche in Italia, come in Europa, circa il 54% dell'attività edilizia è dedicata alle ristrutturazioni ed al recupero del patrimonio edilizio esistente, gli edifici pubblici a confronto con altre tipologie, rappresentano una tra le categorie che da sempre costituisce una fonte di elevati consumi energetici correlati alle attività cui sono destinati.

Per tale motivo, nel panorama complessivo della sfida alla riduzione dei consumi energetici e delle emissioni globali di CO₂, questo settore costituisce un asse di azione prioritario in cui la ricerca europea trova campo fertile.

Nei paesi dell'area mediterranea i problemi legati al consumo dell'energia negli edifici si manifestano soprattutto nel periodo estivo a causa di un uso spesso incondizionato degli impianti di raffrescamento.

La questione è ancor più rilevante nell'ambito del recupero degli edifici pubblici in cui l'esigenza di garantire il comfort termo-igrometrico si scontra con una complessità impiantistica esistente e una difficoltà di gestione dell'intero sistema.

In particolare, le strategie generali di progettazione sostenibile e di recupero energetico acquistano particolare rilievo negli interventi di

riqualificazione di strutture sanitarie e scolastiche; infatti, i fattori di controllo delle condizioni climatiche, di risparmio energetico e della qualità dell'aria interna, così come la qualità dei materiali impiegati, costituiscono aspetti rilevanti dal punto di vista funzionale e tecnologico-impiantistico, oltre che sociale e psicologico.

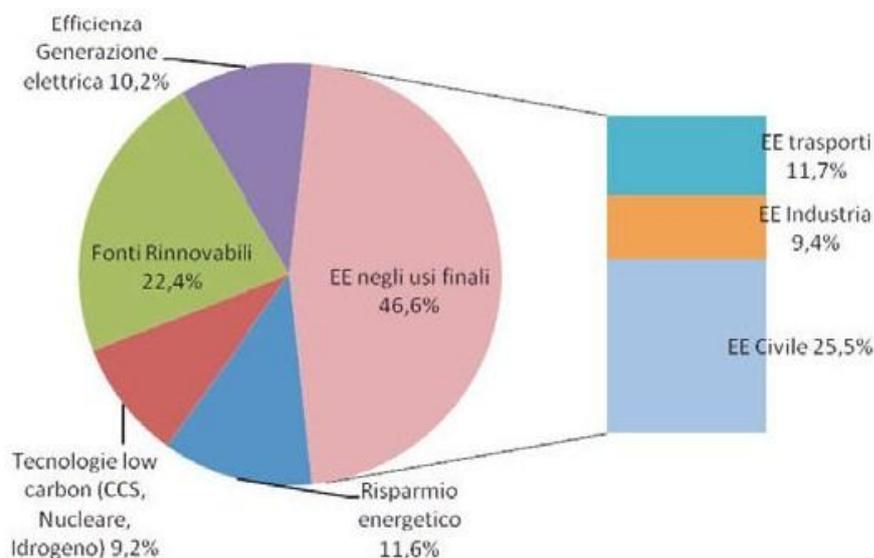


Fig. 2.5 – Peso delle diverse tecnologie per la mitigazione di CO₂ (2010)

Fonte: ENEA

Gli ambienti di supporto alle svariate attività svolte in scuole, sedi amministrative ed ospedali (uffici, ambulatori, laboratori, nonché gli spazi di accoglienza e attesa), costituiscono un interessante campo di sperimentazione per l'applicazione di tecnologie verdi.

Risparmio energetico, protezione dal surriscaldamento estivo, controllo della ventilazione naturale, contenimento dei consumi con riduzione dell'uso dei sistemi per il condizionamento estivo e,

soprattutto, ricorso alle fonti rinnovabili sono le strategie operative a cui si tende per aumentare il comfort degli ambienti e ridurre i consumi in questo settore composto in larga parte anche da edifici di valore storico-culturale; é su questi che gli interventi devono essere ponderati con estrema cautela e nel rispetto della preesistenza.



Fig. 2.6 – Ospedale Meyer, Marco Sala, Careggi (FI), 2008

La riqualificazione energetica negli edifici pubblici, oltre a migliorare lo stato dei manufatti ed a ridurre l'inquinamento, comporta meno spese per i cittadini e per le amministrazioni; queste, infatti, ricavano un guadagno economico nel tempo mediante la cessione di energia prodotta da eventuali impianti

istallati con fonti rinnovabili ed ottengono un importante ritorno in termini di immagine, aspetto questo fondamentale nell'ambito pubblico.



Fig. 2.7 – Ministero dell'Ambiente, Bornschlegel & Kurt, Monaco, 2003

2.4.1 Studio di ENEA sul patrimonio edilizio pubblico⁷

L'ENEA (agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) nel 2009 ha presentato una proposta che, sottolineando la rilevanza dell'efficienza energetica per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei gas serra, individua nell'efficientamento del patrimonio edilizio pubblico un primo obiettivo di portata nazionale per avviare concretamente una politica in campo energetico e, nel contempo, creare le condizioni per un rilancio di settori produttivi che hanno una forte incidenza sull'economia nazionale.

Gli scenari Enea finalizzati al conseguimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni serra al 2020,

mostrano come gli interventi per l'efficienza energetica negli usi finali dell'energia concorrano alla riduzione delle emissioni di gas serra per oltre il 45%.

Si inserisce in questa logica la proposta presentata dall'Enea.

Lo studio eseguito su un campione di riferimento costituito da edifici direzionali pubblici e scuole, ha consentito di identificare, in prima approssimazione, tipologie, tecnologie e costi con ricadute dirette e indirette sul sistema economico nazionale.

L'analisi tecnico-economica, compiuta con il ricorso a modelli energetici, è stata quindi integrata con modelli economici di equilibrio generale, quali le matrici di contabilità sociale.

Lo studio è rivolto a enti pubblici non economici, enti di ricerca, regioni, ministeri, agenzie fiscali, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Monopoli di Stato e scuole (con esclusione degli edifici universitari).

Sono esclusi ospedali, caserme e carceri, poiché, questi edifici sono in deroga alle normative energetiche per ovvi motivi di utilità.

Nell'indagine relativa agli uffici, sono considerati solo gli edifici totalmente occupati da enti riconducibili alla pubblica amministrazione, valutati da uno studio condotto dal Cresme per Enea in 13.580 unità; gli edifici scolastici sono stimati in circa 43.200 unità.

Le strategie di intervento, prese in considerazione dalla ricerca, prevede interventi di efficientamento su un campione costituito, tra scuole e uffici, da circa 15.000 unità immobiliari, corrispondenti al 35% circa degli edifici considerati, selezionati tra quelli con le maggiori potenzialità di risparmio e tra quelli che necessitano comunque di interventi di tipo strutturale.

Gli interventi proposti includono: azioni sull'involucro, isolamento delle pareti e sostituzione degli infissi, installazione di elementi schermanti, sostituzione degli impianti di illuminazione e climatizzazione con componenti di ultima generazione e ricorso alle energie rinnovabili con impianti solari termici e fotovoltaici.

Il costo complessivo di tali interventi è stato stimato in 8,2 miliardi di euro.

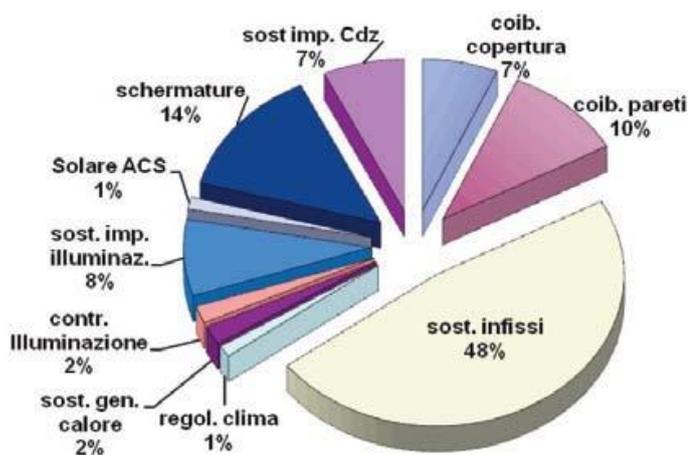


Fig. 2.8 – Incidenza dei costi per tipo di intervento su uffici (2010)- Fonte: ENEA

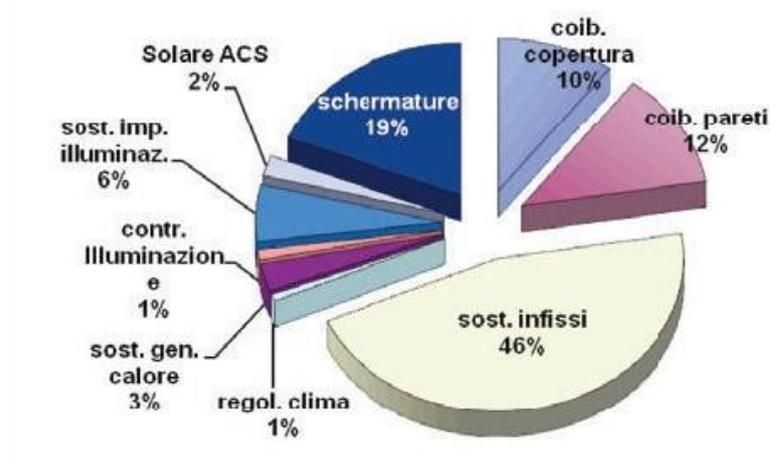


Fig. 2.9 – Incidenza dei costi per tipo di intervento su scuole (2010) – Fonte: ENEA

I risparmi ottenuti a seguito degli interventi previsti sono valutati in circa il 18% di energia termica e il 23% di energia elettrica, complessivamente il 20% in termini di energia primaria.

Il costo della bolletta energetica per i servizi tecnologici di climatizzazione e illuminazione subirebbe una contrazione da 1,79 a 1,37 miliardi di euro, pari a 419 milioni di euro in meno ogni anno, con una riduzione del 23% rispetto alla bolletta attuale.

A fronte di una spesa di 8,2 miliardi di euro, ci si può attendere una crescita della produzione attivata di 19 miliardi di euro, la creazione di valore aggiunto per 14 miliardi di euro e un incremento complessivo del Pil nell'ordine dello 0,6 punti percentuali in un anno.

I maggiori consumi e la crescita della produzione sarebbero, inoltre, in grado di attivare un incremento della domanda di lavoro di circa 150.000 unità.

¹⁻⁴ Masera Gabriele, *Residenze e risparmio energetico*, Milano, Il Sole 24 ore, 2004.

² www.europa.eu

³ Paoletta Adriano e Minucci Rita, *Cambiamenti climatici ed edilizia*, Riv. Attenzione n.19 anno 2003.

⁵ *Le città alla sfida dei cambiamenti climatici*, Milano, Rapporto Legambiente, 2010.

⁶ www.cresme.it

⁷ Citterio Marco, Fasano Gaetano, Manna Carlo, Notaro Carmela, *Da ENEA una proposta per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio pubblico*, Riv. ArpaRivista n.3 anno 2009.

CAPITOLO TERZO

PROGETTAZIONE SOSTENIBILE E RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

CAPITOLO 3

PROGETTAZIONE SOSTENIBILE E RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

In Italia e nel resto d'Europa oltre la metà dell'attività edilizia è dedicata alle ristrutturazioni ed al retrofit energetico del patrimonio esistente; il tema del recupero edilizio appare, dunque, come una della priorità per ridurre i consumi energetici nel settore delle costruzioni, in linea con gli obiettivi di contenimento delle emissioni di gas serra prefissati con il protocollo di Kyoto.

L'interesse verso questo tema è cresciuto e con esso anche tecnologie, normative e finanziamenti per il suo conseguimento. Il lavoro da compiere sul patrimonio edilizio è quasi sterminato e dai dati dell'ENEA emerge come le scelte politiche, la formazione dei tecnici e gli approcci differenti e discordanti in questo settore non permettono l'ottimizzazione delle attività da svolgere.

La complessità del tema del recupero edilizio si configura come una somma di interventi, appartenenti a differenti ambiti disciplinari.

In genere le operazioni di ripristino degli aspetti funzionali e tecnici, attraverso la messa a punto di nuovi impianti e nuove soluzioni costruttive, sono accompagnati da operazioni di restyling dell'immagine complessiva del manufatto.

Molto spesso questi tipi di intervento non si fermano al singolo edificio, ma riguardano il sistema insediativo che lo contiene, fino a giungere alla

riqualificazione di intere aree di città dove il tema energetico andrà a costituire l'aspetto peculiare per il miglioramento architettonico e per la qualità di vita di chi lo abita.



Fig. 3.1 – Quartiere Gardsten, CNA, Goteborg (Svezia), 2000.

Il livello di manipolabilità della maggior parte degli edifici realizzati nel dopoguerra, caratterizzati da degrado tecnologico, energetico e funzionale e da scarsa qualità architettonica, è molto alto e lascia

ampi margini di intervento sia sotto il profilo tecnico che formale.



Fig. 3.2 – Complesso di Rhone, SJ Architect Bioclimatic, Lione (Francia), 2001.

A differenza, tutti quei manufatti di più elevato valore architettonico e con una valenza storico-culturale, presenti in enorme quantità in Italia, permettono una possibilità d'intervento limitata da vincoli di varia natura, che impongono il rispetto delle caratteristiche originali della costruzione.



Fig. 3.3 – Flexren, Plan 1 Architects, Vejle (Danimarca), 2002.



Fig. 3.4 – Brandaris, BNA, Zaandam (Olanda), 2000.

In questi casi, l'integrazione di impianti per lo sfruttamento delle risorse naturali vengono eseguiti prevalentemente con un approccio teso alla mimetizzazione, in modo da rendere i captatori ininfluenti sull'immagine dell'edificio.



Fig. 3.4 – Aula Paolo VI, F.Viola e L. De Santoli, Città del Vaticano (Italia),2008.

Le tecnologie per lo sfruttamento delle energie rinnovabili, sia attive che passive, possono far fronte allo spreco di risorse energetiche ed alla mancanza di connotazione formale degli edifici.

I principali passi del progetto di riqualificazione energetica degli edifici sono:

- la valutazione dell'efficienza energetica prima dell'intervento;
- la valutazione dei limiti tecnici, normativi e delle caratteristiche costruttive;
- la scelta degli interventi da eseguire;
- la verifica dei risultati ottenuti.

Considerando l'edificio come organismo capace di interagire con tutti i fattori esogeni ed endogeni, gli obiettivi che un intervento di riqualificazione si pone, sono:

- l'ottimizzazione della sua qualità ambientale;
- la capacità di preservare le risorse naturali;
- la facoltà di soddisfare le esigenze di comfort degli ambienti;
- la riduzione del consumo energetico.

L'obiettivo della qualità ambientale deve essere integrato in ogni tappa: programmazione, progettazione, realizzazione, uso, poi, eventualmente, riqualificazione o demolizione.

Un intervento di retrofit deve garantire non solo stabilità, funzionalità ed estetica, ma anche fare tutto ciò assicurando il soddisfacimento di nuove esperienze

espresse dall'utenza; infatti, la ricerca tecnologica e la trasformazione dei modelli di fruizione, hanno influito anche sulla formazione di una diversa concezione del bene edilizio ed una maggiore consapevolezza da parte degli utenti.

Sostenibilità si coniuga, quindi, con il benessere dell'abitare, perseguito sotto il profilo del comfort termico, del risparmio energetico, della qualità dell'aria, del benessere luminoso ed acustico.

Fra questi aspetti un ruolo prioritario è rivolto al comfort termo-idrometrico, che richiede un adeguato controllo progettuale sul sistema ambientale e tecnologico, con lo scopo di ottenere un adeguato livello di prestazioni, riducendo al tempo stesso i consumi.

A differenza della progettazione di nuovi organismi edilizi, il progetto di retrofitting energetico opera entro certi limiti, non potendo il progettista intervenire sul sistema ambientale già conformato (scelta del sito, esposizione, forma e dimensione degli ambienti, disposizione delle aperture), le variazioni di ciascun parametro termofisico si ottengono principalmente operando sul sistema tecnologico.

Il problema si sposta dunque su principi e strategie bioclimatiche e sulle scelte tecniche capaci di migliorare le prestazioni dell'edificio.

3.1 Aspetti culturali della riqualificazione

Con l'esaurimento delle condizioni che hanno determinato l'urgenza di avere nuovi edifici, con il miglioramento della qualità media della vita, con l'emergere di necessità di adeguamento del patrimonio edilizio a standard qualitativi e tecnologici più elevati e, infine, con la creazione di nuove ed impreviste situazioni sociali, gran parte del patrimonio edilizio prodotto fino agli anni '80 si trova in una situazione di necessità di riqualificazione energetica, tecnologica e funzionale.

Queste trasformazioni riguardano tanto gli immobili privati quanto quelli pubblici, in genere datati, spesso di valore storico-culturale e di dimensioni maggiori.

Non di rado sono gli enti pubblici che promuovono i progetti di riqualificazione energetica, incrementando così il valore dei manufatti; in molti casi, questo genere di interventi ha visto la partecipazione di costruttori ed investitori privati, attratti dalle potenzialità di questo mercato, che, specie con l'impiego di fonti rinnovabili, garantisce il ritorno degli investimenti in breve tempo.

Tra le motivazioni che portano allo svilupparsi della tendenza all'integrazione delle energie rinnovabili in edilizia ed alla riqualificazione energetica degli edifici, c'è la maturazione di una spiccata sensibilità ecologica, che, a partire dai paesi del nord Europa, si sta diffondendo in tutto il vecchio continente.

Si assiste al moltiplicarsi di iniziative di carattere politico ed economico, rivolte a singoli edifici o a parti di città, da un lato caratterizzate da interventi sul patrimonio edilizio con finalità sperimentali energetiche-ecologiche, dall'altro da episodi di riqualificazione del costruito, dove gli eccessi tecnico-formali degli apparati di captazione dell'energia sono stemperati nel rapporto con l'esistente.

Si tratta di una motivazione, in molti casi, quasi ideologica, a volte limitata alla semplice ricerca di soluzioni dirette al risparmio energetico, più spesso rivolta ad un naturale desiderio di rinaturalizzazione dell'ambiente costruito in corrispondenza di utenti o promotori dotati di disponibilità economiche e di un livello culturale medio-alto.

Le operazioni di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio sono sostanzialmente rivolte al miglioramento della qualità della vita all'interno degli ambienti, al contenimento dei consumi energetici ed all'innalzamento delle prestazioni termiche ed acustiche dell'involucro edilizio. L'adozione di soluzioni tecnologiche spesso coniugano l'impiego di impianti che traggono energia da fonti rinnovabili con l'applicazione di sistemi energetici passivi e sistemi costruttivi che abbattano l'emissione di anidride carbonica.

Il problema della riqualificazione si afferma con maggiore evidenza in questi anni poiché, con la fine dell'emergenza abitativa, il tasso di sostituzione del vecchio con il nuovo tende a diminuire sempre di più, tanto è vero che, a partire dagli anni '80, la

percentuale annua di edifici di nuova costruzione, rispetto al parco edilizio di abitazioni esistenti, è scesa al di sotto dell'1% (fonte CRESME).

Paesi come il nostro conoscono, in periodi di crisi economica la stasi del mercato delle nuove costruzioni; ciò spinge alla ricerca di soluzioni mirate alla trasformazione, al riadeguamento tecnologico ed al riutilizzo dei manufatti edilizi preesistenti.

Gran parte del patrimonio edilizio realizzato prima degli anni '70 è stato progettato e costruito con poca o nessuna attenzione nei confronti del clima, sia dal punto di vista termico, che dal punto di vista dell'illuminazione naturale e della ventilazione, facendo affidamento, per il mantenimento di buoni livelli di comfort, solo sull'impiego di energia da fonti rinnovabili.

L'emergenza energetica in edilizia è, dunque, un problema sempre maggiore. Da dati pubblicati dall'ENEA nel 2009¹, emerge che, solo in relazione ai consumi energetici per illuminazione, riscaldamento e raffrescamento, non considerando quindi i consumi industriali per la produzione dei materiali impiegati nel settore delle costruzioni, si supera un terzo dell'energia globale dissipata ogni anno.

Il problema è particolarmente rilevante per l'edilizia residenziale, prima di tutto per la grande dimensione del patrimonio di abitazioni costruite ed in secondo luogo per il fatto che la residenza ha una conduzione continuativa a differenza della maggior parte degli edifici.

Da ormai trent'anni l'emergenza energetica comporta tutta una serie di ricerche che hanno coinvolto architetti di fama, i quali hanno potuto esprimere, proprio in relazione alle grandi possibilità espressive che l'approccio poteva fornire, un nuovo modo di progettare e di valutare l'architettura non universalmente accettato.



Fig. 3.5 – Oskar von Miller Forum, Thomas Herzog, Monaco di Baviera, 2009.



Fig. 3.6 – Design Center, Thomas Herzog, Linz, 1993.

Il processo edilizio, inoltre, non produce un ricambio di prodotto confrontabile con quanto avviene in ambito industriale; il rinnovamento è lento e, fino a qualche anno fa, non tutti i promotori accettavano soluzioni innovative dal punto di vista tecnologico.

La riqualificazione energetica del parco costruito spesso, avviene in forma discontinua nonostante il suo grado di obsolescenza impiantistica. Una parte consistente di questo parco, quello considerato di valore storico-architettonico, non può tollerare aggiornamenti che entrino in conflitto con gli aspetti che lo caratterizzano poiché il valore degli edifici deve essere considerato superiore a quello rappresentato dall'energia necessaria al loro uso e mantenimento.

Gli episodi di riqualificazione che utilizzano tecnologie basate sulle fonti rinnovabili di edifici nel settore terziario sono più frequenti e con risultati più evidenti; in questi casi le risorse economiche disponibili sono maggiori e più sentiti i motivi per gli investimenti che hanno un ritorno di immagine immediato e sono accuratamente calcolati sulla base dell'ammortamento delle spese sostenute in un determinato arco temporale.

Per quanto riguarda l'edilizia residenziale del dopoguerra, soprattutto quella sociale, molti sono i problemi economici che ostacolano gli interventi di retrofitting energetico con integrazione di generatori a fonte rinnovabile.

Quando viene eseguita una riqualificazione energetica su abitazioni di questo tipo, essa si risolve con applicazioni grossolane preconfezionate, poco dispendiose economicamente e fattibili in poco tempo, che portano a rimedi poco efficienti e solo temporanei.

3.1.1 L'immagine della sostenibilità

Gran parte del patrimonio edilizio necessita di un intervento di riqualificazione energetica, qualora non sia stato eseguito. L'intervento sul patrimonio recente ha, però, un interessante vantaggio: le costruzioni degli ultimi cinquant'anni si trovano in generale in una condizione di malleabilità che può suggerire metodi e tecniche di intervento libere da vincoli culturali e storici che caratterizzano il costruito più antico.

Dall'analisi delle esperienze progettuali compiute in Europa emerge che l'edilizia del secondo dopoguerra offre, pur nella diversità dei tipi e dei sistemi costruttivi che la caratterizzano e nella diversità dei problemi che la affliggono, ampie possibilità di intervento e di modifica, che, dal piano tecnico, può condizionare anche quello formale.

La riconosciuta bruttezza di molta edilizia sociale prodotta dal degrado mai controllato e dal precoce decadimento tecnologico, sembra autorizzare interventi di riqualificazione energetica che portano a totali restyling dei manufatti.

Nell'esecuzione di un progetto di riqualificazione energetica con l'impiego di fonti rinnovabili, il concetto chiave attorno a cui ruota la filosofia d'intervento è la sostenibilità; in essa vi convergono interessi legati alla tutela dell'ambiente, all'applicazione di tecnologie innovative per il risparmio energetico, ma anche alle istanze regionaliste della cultura del costruire rispettando la storia e, quindi, le origini degli edifici.

Specie nelle architetture vernacolari infatti, ogni soluzione costruttiva realizzata è un tentativo di sfruttare o di compensare, con approcci e mezzi diversi, la maggiore o minore disponibilità di risorse energetiche di un ambiente climatico, al fine di mantenere una certa condizione termostabile, è necessaria per il benessere dei fruitori.

Paradossalmente con il progredire delle società e delle capacità costruttive si è fatta sempre meno attenzione al contesto ed al carattere dell'ambiente in

cui viene edificato, in particolar modo nel mondo occidentale; il concetto di architettura sostenibile sta facendo tornare al centro del progetto un termine fondamentale: il Genius Loci.

Dalle architetture spontanee al movimento moderno, l'attenzione al contesto ambientale ed agli aspetti climatici si è tradotta in soluzioni tecniche e compositive che hanno determinato linguaggi architettonici ben precisi, criteri di valutazione e progettazione. Questo sembra essersi smarrito nelle costruzioni più diffuse a partire dal secondo dopoguerra, ma, soprattutto, a lungo, parte del panorama intellettuale che si occupa di architettura ha considerato la concezione del progetto in funzione dell'ambiente naturale come una sottocultura modaiola, ritenendo, inoltre, che i sistemi tecnologici per lo sfruttamento delle rinnovabili non avessero la dignità di qualsiasi altro componente del progetto, tale da diventare parte integrante di un linguaggio architettonico.

Bisogna riconoscere che il fanatismo di certa architettura solare e il paradossale accostamento di alcuni progettisti high-tech in determinati contesti, hanno prodotto una concezione del costruire assimilabile ad una tendenza che lascia il tempo che trova.

Riqualificare energeticamente con principi bioclimatici dovrebbe palesare l'uso, per quanto la tecnologia rende possibile, di tutte le conoscenze tecniche e scientifiche disponibili, reinterprestando il buon senso di quell'approccio con cui, in passato,

nell'arco dei secoli, sono state codificate in regole costruttive le soluzioni adottate in risposta al clima locale, senza cercare di riproporre soluzioni storiche, ma andando all'origine del confronto tra clima naturale e costruzione artificiale.

La "qualità estetica" del parco edilizio costruito dal dopoguerra potrebbe essere così rivisitata e migliorata da nuovi contenuti: le operazioni di riqualificazione energetica potrebbero così comportare anche la risoluzione di problemi legati all'immagine dell'edificio.

In quest'ottica gli interventi potrebbero essere valutati non solo in termini di benefici economici ed ecologici, ma anche funzionali e formali.

Ora che la concezione sostenibile dell'architettura si è diffusa più o meno omogeneamente in tutto il mondo, fondamentale è la riflessione sull'immagine architettonica che un'edilizia di questa estrazione deve avere, tanto più quando si tratta di interventi di riqualificazione del patrimonio edilizio, in cui il progetto deve confrontarsi con gli aspetti formali preesistenti.

Nel caso di edifici progettati da architetti noti, è evidente come il parametro ambientale e il ricorso alle rinnovabili vengano assorbiti e metabolizzati dalle diverse inclinazioni progettuali, dando risultati dal punto di vista formale ben diversi e riconoscibili.

Si possono ottenere risultati uguali e con le stesse prestazioni bioclimatiche pur ricorrendo a formalizzazioni architettoniche diverse; appare tuttavia stilisticamente uniforme ed anonima quell'edilizia italiana composta da edifici multipiano riqualificati

con integrazione di sistemi solari; questi edifici, appartenenti a periodi diversi dal dopo guerra in poi, rappresentano la maggior parte del patrimonio edilizio da riqualificare e su cui si sta intervenendo in modo grossolano e disattento all'immagine architettonica.

Nella maggior parte dei casi, agli interventi di riqualificazione più diffusi, si sono semplicemente aggiunti elementi attivi o passivi per lo sfruttamento delle energie rinnovabili, ma un vero e proprio progetto è inesistente.

Appare evidente come in questo campo non si siano fatti grossi sforzi progettuali per integrare degli schemi tipologici sperimentali piuttosto usati, quali quelli nell'edilizia popolare, con i concetti di funzionamento bioclimatico.

E' con l'immagine che si manda il messaggio culturale e, per questo, appare determinante la riflessione sulle caratteristiche formali di architettura che veicolano e si basano su dei veri e propri principi ideologici.



Fig. 3.7 – Castello di Groenhof, Samin & Partners, Flounders, 2001.

3.2 Sole e vento nella riqualificazione sostenibile

Il ricorso alle energie rinnovabili ha giocato da sempre un ruolo fondamentale nell'ambito delle costruzioni; però è, solo di recente che il sole ed il vento vengono considerati fulcro del progetto nell'ambito della riqualificazione del parco edilizio esistente. Da quando l'energia ha iniziato ad assumere un peso determinante nell'ambito delle costruzioni, la necessità di ridurre i consumi, rendendo anche più confortevoli gli edifici, è diventata impellente ed irrinunciabile.

Per raggiungere dei buoni risultati intervenendo su edifici di concezione tradizionale, i sistemi di generazione energetica, come il solare o l'eolico, da soli non bastano, ma vanno impiegati in un complesso progetto che consenta l'abbattimento delle dispersioni, agendo sull'involucro edilizio.

Va sottolineato che l'uso di fonti rinnovabili per generare energia ha senso, soprattutto, in un quadro di riduzione del fabbisogno; questo significa che un buon isolamento termico, ma anche un sapiente ricorso a sole e vento che consenta lo sfruttamento passivo delle loro potenzialità, può integrare gli apporti benefici dati dagli impianti tecnologici.

Il fotovoltaico solare termico ed eolico applicato all'architettura viene trattato nei successivi tre capitoli in modo diffuso e specifico dal punto di vista tecnologico; in questo paragrafo viene invece evidenziato come il sole ed il vento possono essere impiegati in modo attivo e passivo nell'ambito

progettuale di riqualificazione energetica degli edifici esistenti.

Un intervento di recupero edilizio diventa una reale opportunità per l'integrazione di sistemi a guadagno solare diretto; gli interventi che prevedono l'inserimento di sistemi solari attivi e passivi possono aiutare a riqualificare l'immagine architettonica dell'edificio alzando il livello di comfort interno, migliorando il comportamento termico di tutto l'organismo edilizio, aggiungendo nuovi elementi che diventano nuovi segni di connotazione architettonica dell'edificio stesso.

Tra le più evidenti ragioni a sostegno dell'applicazione delle tecnologie solari per la riqualificazione degli edifici residenziali vi è che il loro involucro necessita, per la maggior parte dei casi, di forti interventi di recupero e miglioramento delle prestazioni dal punto di vista termico, della durabilità e, non ultimo, dal punto di vista architettonico.

Ulteriori elementi a sostegno dello sfruttamento di sistemi solari nel recupero edilizio sono: la necessità di adeguamenti impiantistici e le numerose politiche di incentivazione e sostegno economico agli interventi di recupero energetico.

Il maggior requisito per l'adozione di sistemi solari, quando un edificio deve essere rinnovato, è la presenza di un'estesa superficie in facciata o in copertura rivolta a sud; un orientamento sud-est o sud-ovest, ovviamente, è considerato accettabile.

Il fatto che molti degli edifici costruiti nel dopoguerra siano il risultato dell'applicazione

razionalista secondo la quale l'orientamento migliore per gli edifici in linea è quello che segue l'asse elioterminico, con i fronti principali orientati ad est, costituisce indubbiamente un grosso vincolo poiché le superfici esposte a sud sono fortemente limitate.

Un aspetto molto importante che deve essere preso in considerazione, è se l'involucro della costruzione dove sono installati gli impianti solari è ombreggiato. Il progetto dovrà valutare e prendere in considerazione tutti gli elementi del contesto e scegliere la strada più praticabile.

Va comunque sottolineato che il recupero, come ogni altro approccio progettuale, dovrebbe sempre prendere avvio dai requisiti richiesti e non dalle tecnologie.

In un'ottica di incremento generale delle prestazioni dell'involucro e dell'edificio in senso lato, il progetto di riqualificazione, facente uso delle tecnologie solari, deve essere sviluppato prendendo in considerazione le problematiche che riguardano complessivamente l'edificio, comprese quelle inerenti la qualità funzionale-spaziale e formale.

In questa prospettiva, gli interventi tesi a migliorare la fruibilità dell'organismo edilizio o ad adattarlo alle nuove esigenze abitative degli inquilini attraverso parziali demolizioni o ricostruzioni, o più spesso attraverso la giusta apposizione di nuovi volumi in facciata o in copertura, possono fornire l'occasione per creare condizioni più ottimali, soprattutto per quanto riguarda l'orientamento per applicare le tecnologie solari.

L'esigenza di realizzare ampliamenti dello spazio domestico o di dotare quest'ultimo di uno spazio di mediazione con l'esterno per far fronte alle carenze funzionali e spaziali degli edifici, se opportunamente progettati, diventa un elemento di controllo microclimatico che permette di sfruttare gli apporti di calore gratuito.

La riqualificazione con integrazione di sistemi solari offre i seguenti vantaggi: consente di ottenere significativi risparmi energetici, incrementa il comfort termico e visivo, riduce il degrado dell'involucro edilizio, migliora l'immagine architettonica ed aumenta l'utilità dello spazio.

Gli investimenti per un intervento di recupero del genere sono estremamente variabili dai casi di applicazione, nel recupero solare una parte della spesa sostenuta va a sostituire i costi che comunque si avrebbero in un recupero convenzionale.

Per quanto riguarda il solare termico, nei progetti di recupero, l'applicazione più comune riguarda collettori solari piani ad acqua o aria per il preriscaldamento di ACS, in abbinamento con sistemi di ventilazione controllata per riscaldare l'aria di ventilazione.

Il loro utilizzo può avvenire creando una sinergia tra efficienza energetica ed architettura, generando energia termica e sfruttando il sistema per sostituire i materiali delle parti dell'edificio su cui sono integrati i captatori.

L'impiego di collettori solari in modo sapiente può contribuire notevolmente al miglioramento dell'immagine

di un manufatto, ma risulta particolarmente interessante per i casi in cui c'è disponibilità di vaste superfici inclinate ed orientate correttamente che necessitano di essere ristrutturare.

Per quanto riguarda l'inserimento nelle coperture inclinate o in facciata, nei casi di totale rifacimento delle superfici, sono da privilegiare sistemi prefabbricati che inglobano il collettore solare in moduli predisposti per svolgere le normali prestazioni di un sistema di tamponamento; queste soluzioni permettono di razionalizzare le operazioni di cantiere e risparmiare oltre il 20%.

Le superfici delle coperture piane negli edifici da riqualificare costituiscono ottimi supporti sui quali installare impianti solari termici indipendentemente dall'orientamento.

I sistemi solari termici ad acqua, vengono impiegati prevalentemente per la produzione di ACS negli interventi di riqualificazione; l'efficienza dei captatori aumenta con le basse temperature, di conseguenza vengono impiegati nei casi in cui, per riscaldare gli ambienti, sono installati pannelli radianti in parete o sul pavimento poiché questi dispositivi lavorano con fluido a basse temperature; nel caso di necessità di rifacimento di pavimenti o tamponature è frequente e conveniente procedere all'installazione di pannelli radianti.

I tradizionali impianti di riscaldamento con corpi scaldanti a termosifone funzionano con fluido a temperature elevate, di conseguenza è difficile montare

un impianto solare che garantisca un funzionamento ottimale di questi sistemi di riscaldamento.

Per quanto riguarda i sistemi solari ad aria, le applicazioni più frequenti, nei casi di recupero, riguardano: la realizzazione di sistemi sottofinestra ventilati per il riscaldamento dell'aria di rinnovo in cui l'aria esterna circola attraverso il collettore direttamente nello spazio da ventilare senza alcun accumulo specifico o di sistemi a doppio involucro realizzati per la riqualificazione delle pareti perimetrali prive di isolamento.

In quest'ultimo caso l'aria scaldata del collettore circola tra la parete esistente e quella esterna isolata, creando un'intercapedine che riduce le dispersioni termiche verso l'esterno. Tale soluzione permette la riqualificazione energetica dell'edificio dotando lo stesso di un nuovo rivestimento delle facciate; una nuova pelle che, se progettata opportunamente, incrementa il valore d'immagine delle facciate.

Anche per il fotovoltaico i principali vincoli per l'applicazione sull'esistente riguarda l'orientamento, l'inclinazione e la dimensione delle superfici disponibili.

Per questi sistemi però, il progettista dispone di un margine maggiore per scelta di applicazione dei captatori in relazione all'efficienza.

Le possibilità di applicazione sono numerose: si va dalle coperture di ogni tipo, alle facciate, ai lucernari, alle pareti vetrate, ai frangisole, agli elementi secondari del manufatto edilizio come i

balconi. I prodotti e le tecnologie d'integrazione disponibili sul mercato sono infiniti e si adattano ad ogni specifica esigenza.

Nei casi di retrofit, risulta interessante l'applicazione del fotovoltaico in facciata abbinata alla realizzazione di pareti ventilate.

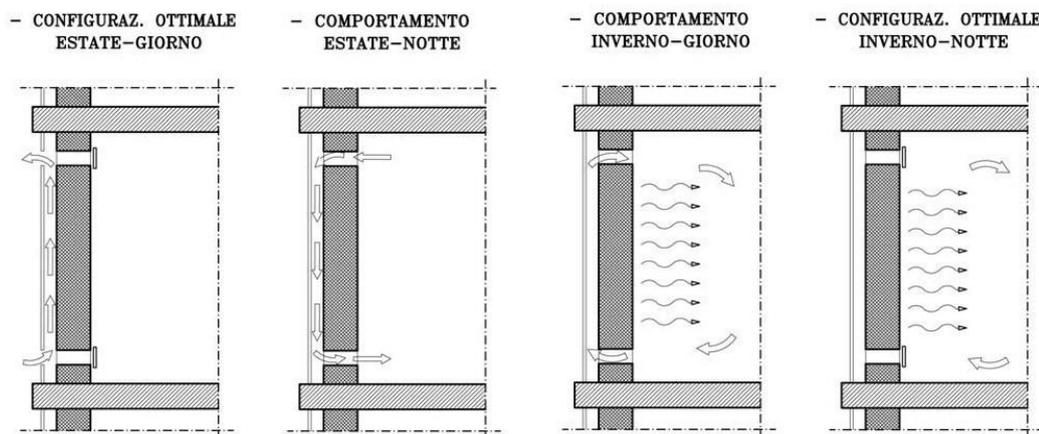


Fig. 3.8 – Schema di funzionamento del muro di trombe in estate ed inverno

Negli interventi di recupero, ove questi presuppongono il rifacimento di ingenti porzioni murarie, molto praticati sono i sistemi che sfruttano passivamente l'energia del sole. I più impiegati, anche negli edifici pluripiano di dimensioni rilevanti, sono: il muro massiccio, il muro di trombe e la creazione di spazi tampone come logge e serre solari; queste ultime influiscono notevolmente sulla funzionalità, sull'immagine e sulla volumetria degli spazi e sono particolarmente indicati negli interventi di rifunzionalizzazione.

Spesso i muri massicci sono presenti già nell'edilizia del dopoguerra, specie in quella residenziale queste pareti perimetrali, se orientate

verso sud, anche quando prive di isolamento, hanno caratteristiche sufficienti a funzionare come elementi di accumulo termico. I rendimenti ovviamente non sono enormi.

La strategia di chiudere logge esistenti formando logge vetrate, per sfruttare il calore del sole gratuitamente e ridurre le dispersioni termiche, presenta il vantaggio non soltanto di risolvere molti problemi dell'involucro edilizio, ma anche di migliorare la qualità estetico-funzionale del manufatto, dotandolo di uno spazio fruibile tutto l'anno e fornendo un'occasione per movimentare i prospetti.

Una serra è uno spazio tampone addossato ad una parete rivolta a sud con una tolleranza di 45°, a differenza delle logge vetrate, è un elemento costruito ex-novo sull'edificio su cui si interviene.

Nella creazione delle serre vengono privilegiate le soluzioni che combinano le caratteristiche dei sistemi a guadagno diretto (per la presenza della aperture finestrate per accedere alla serra) e isolato (utilizzo della parete esistente come elemento di accumulo del calore e sfruttamento dei moti convettivi dell'aria calda).

Nella realizzazione delle logge, l'elemento parapetto è solitamente integrato in un sistema sottofinestra ventilante con la circolazione dell'aria attivata dalla depressione creata dai sistemi di estrazione dell'aria dai locali.

Gli edifici più adatti per questo tipo di intervento sono quelli con balconi allineati o integrati nella

costruzione, in modo da minimizzare la superficie vetrata per la chiusura.

Un uso non appropriato da parte degli utenti di serre o logge vetrate può portare facilmente ad un aumento dei consumi energetici invece che ad un risparmio energetico.

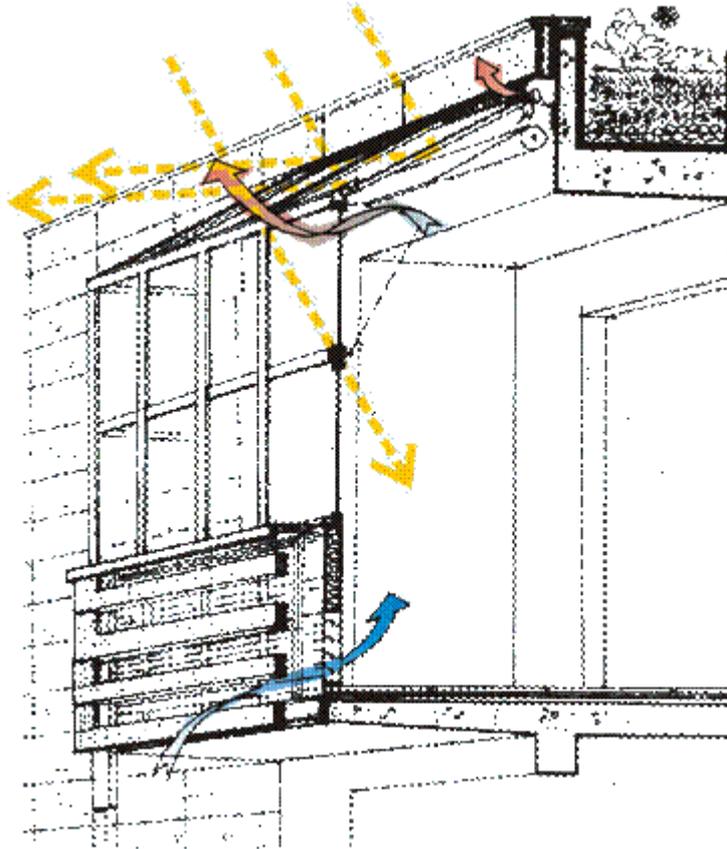


Fig. 3.9 – Schema di una serra solare con sottofinestra ventilante

Nell'ambito della riqualificazione sostenibile, il vento, cioè lo spostamento di masse d'aria, gioca all'interno del progetto un ruolo fondamentale come quello del sole.

Il vento può essere impiegato per generare energia attraverso turbine eoliche di cui viene specificatamente

trattato nel sesto capitolo. Questo tipo di impianti, specie nell'ambito degli interventi di retrofit, sono poco diffusi e generalmente considerati in una dimensione non strettamente appartenente all'architettura.

Ciò accade perché, nella maggior parte dei casi di installazione di impianti mini o micro eolici su edifici esistenti, il progetto si risolve in un semplice montaggio di dispositivi captanti, in copertura o in facciata, senza una vera integrazione.

La maggior parte di queste riqualificazioni, si configura come semplici applicazioni di dispositivi standard, scelti in base alle esigenze di tipo tecnico ed economico tra l'infinità dei prodotti presenti sul mercato.

L'integrazione architettonica di turbine eoliche viene trattata approfonditamente, fin dalla fase progettuale, nei casi di installazione su nuove costruzioni in cui la forma ed il tipo di edificio vengono concepiti tenendo conto dell'integrazione delle turbine e, quindi, del comportamento dei flussi d'aria sulle superfici dell'edificio stesso.

Per quanto riguarda gli interventi sull'esistente, un approccio progettuale di questo tipo porterebbe ad un totale stravolgimento del manufatto, assolutamente poco conveniente dal punto di vista economico e tecnico, che ne comprometterebbe la funzionalità e l'immagine.

Come nel caso dell'irraggiamento solare, le ventosità possono però essere sfruttate anche in modo passivo; la qualità dell'aria e del comfort interno infatti non dipendono solo dalla temperatura, ma anche

dalla ventilazione che, in un'ottica sostenibile, può essere naturale. Essa gioca un ruolo chiave nel raffrescamento e riscaldamento passivo e nel controllo dell'umidità dell'aria.

Sia i moti convettivi dati dal calore che la ventilazione possono spostare quantità d'aria anche negli ambienti più interni degli edifici, perciò il guadagno termico solare e la ventilazione possono essere strettamente connessi.

Generalmente i metodi utilizzati sono:

- la ventilazione passante o incrociata, collocando aperture su pareti contrapposte per favorire il movimento dei flussi d'aria;
- la ventilazione verticale o effetto camino, questa soluzione favorisce l'estrazione dell'aria da aperture collocate nella parte alta dei locali; a volte sono collegate ad un condotto verticale d'estrazione; la differenza di densità d'aria legata alla temperatura fa sì che l'aria calda, meno densa, esca da queste aperture alte.

Di solito, entrambi questi sistemi di ventilazione consentono una riduzione dei carichi di raffrescamento dell'ordine del 50%, ma la ventilazione verticale può portare a benefici anche superiori.

Nell'ambito della riqualificazione degli edifici esistenti è importante, sia per lo sfruttamento attivo che passivo del vento, individuare ed analizzare le caratteristiche delle ventosità proprie del sito nelle varie stagioni.

La pressione del vento sulle facciate sopravvento è considerata positiva, viceversa per quelle sottovento: mentre le caratteristiche sulle altre parti di una struttura edilizia preesistente sono da considerarsi, di volta in volta, in base alla morfologia della costruzione.

Detta pressione tende ad uniformarsi, ma solitamente varia da quella massima delle zone interne delle parti alte dell'edificio a quella minima delle parti più basse; ai fini progettuali è determinante stabilire il livello neutro, cioè dove la pressione del vento assume livelli medi.

Il livello neutro è utile per il posizionamento ed il dimensionamento delle aperture in sistemi di ventilazione naturale dove l'aria calda esce dalle aperture più alte, mentre quella fredda entra da quelle più basse.

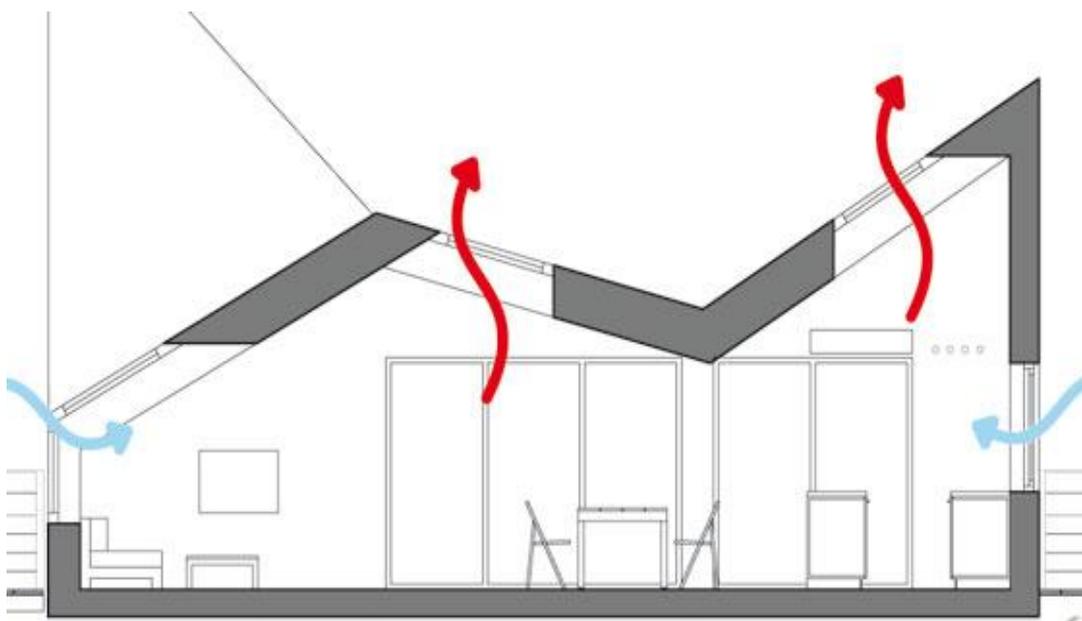


Fig. 3.10 – Schema dei flussi nella ventilazione verticale (a camino)

Anche la presenza di un gradiente di temperatura interno, negli strati delle pareti (frequente nei muri spessi delle vecchie strutture), tende a spostare verso l'alto il livello neutro.

Nei casi di retrofit, l'uso della ventilazione come strategia per un raffrescamento interno dell'edificio può essere limitata e ristretta a piccole variazioni delle dimensioni delle aperture o di suddivisioni interne.

In generale i sistemi passivi, come la ventilazione naturale e il controllo della radiazione solare, se abbinati in modo organico e ponderato a sistemi attivi, consentono la generazione di energia da sole e vento e permettono di raggiungere livelli di risparmio energetico e benessere termo-igrometrico estremamente alti anche su edifici che presentano forti problematiche.

3.3 Strategie per la sostenibilità nelle costruzioni

Appare evidente come la vera sfida in ambito edilizio sia il risparmio energetico che passa attraverso numerosi aspetti tecnico-progettuali, di ricerca ed innovazione nel settore produttivo, culturali e di tipo politico-strategico.

L'impatto ambientale generato dal settore delle costruzioni e dagli edifici in genere ha determinato nel corso degli ultimi decenni una marcata attenzione nei confronti della sostenibilità in architettura.

Attorno a questo ambito ruotano infatti gran parte dei dibattiti a livello mondiale, europeo e nazionale sul tema della eco-compatibilità.

Si consideri che oltre 2/3 del parco edilizio italiano risale al periodo precedente al 1976 ed il 30% di questo è in cattivo o pessimo stato conservativo, con le conseguenti caratteristiche prestazionali energetiche².

Otto abitazioni su dieci in Italia risalgono al periodo antecedente l'emanazione della Direttiva Europea 2002/91, che ha imposto agli stati membri il recepimento di norme inerenti le tecniche costruttive e le caratteristiche che gli edifici devono avere per garantire consumi ridotti ed impianti efficienti, fissati in determinati standard.

In Italia l'attuazione alla Direttiva Europea è stata data con il Dls 192 del 2005, successivamente integrato e modificato dal Dls 311 del 2006.

Questi due decreti stabiliscono i criteri per il miglioramento delle prestazioni energetiche degli

edifici e promuovono lo sviluppo e la competitività negli ambiti di ricerca e produzione tecnologica sul campo energetico.

L'elemento più innovativo di questa disciplina riguarda l'obbligo di dotare gli edifici, nuovi e quelli che vengono riqualificati, di un attestato di certificazione energetica in riferimento a valori stabiliti per legge; questo va anche nella direzione di poter fissare degli standard per la valutazione della "bontà" di un progetto architettonico.

Da qui emerge come il progetto di riqualificazione deve far fronte ad un insieme di temi che non ammettono dimenticanze come: benessere, illuminazione, forma, funzionalità, rapporto con l'esistente, ecc., caratteristiche che non possono esulare dal porsi il problema dei consumi e dell'energia.

Cospicua parte del patrimonio edilizio europeo è ben lontano da qualsiasi tema legato alla sostenibilità architettonica, nella maggioranza de quale, solo ricorrendo a gravosi interventi, è possibile ottenere buoni risultati di miglioramento in termini energetici e di consumo. In alcuni casi è meno dispendiosa la ricostruzione, ma questa è una fatto che con il progredire delle soluzioni tecnologiche tende a ridursi. *"Se non possiamo continuare a costruire e riqualificare come si faceva decenni fa è altrettanto vero, considerando la situazione italiana che non possiamo farlo come cinque anni fa"*³, così asserisce l'architetto Paolo Assenti.

La Commissione Europea per ottemperare agli impegni presi in ambito energetico sul settore delle costruzioni punta sul: ridurre oneri burocratici ed amministrativi per le procedure, migliorare e standardizzare le normative, migliorare la sensibilità dei cittadini, disporre fondi e porre standard per i prodotti atti anche a stimolare il mercato; gli standard ISO specie della serie 9000 vanno in questa direzione.

Con il Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica, la Commissione Europea ha adottato nel 2007 un programma che prevede misure volte al miglioramento dell'efficienza energetica di prodotti, servizi e soprattutto edifici ed è in quest'ultimo settore che, secondo uno studio presentato dalla Commissione, si concentrano enormi potenzialità di risparmio; entro il 2020, infatti, da questi dati emerge che nel settore abitativo i consumi verrebbero ridotti del 27% e nel terziario del 30%.

In Italia il Ministero per lo Sviluppo Economico, in riferimento alla Direttiva Europea 28/2009, ha deciso e pubblicato il Piano d'Azione per le Energie Rinnovabili che porterebbe entro il 2020 il passaggio da circa il 6% attuale al 17% di energia prodotta da fonti rinnovabili. Questo piano prevede un'azione mirata nel settore edilizio ed in particolare nell'ambito dell'integrazione impiantistica sull'esistente.

Nel nostro paese, ai sensi del Titolo V della Costituzione, quella energetica è materia concorrente tra Stato e Regioni che hanno definito norme autonome per il recepimento delle Direttive Europee; questo rafforza il concetto che la sfida per la riduzione dei

consumi deve essere affrontata con cambiamenti radicali che dallo Stato centrale deve diffondersi capillarmente al livello locale.

Per la promozione delle rinnovabili e la loro applicazione, sostenuta specie nel campo dell'edilizia da singoli privati, di fondamentale importanza è il coinvolgimento del settore bancario che agisce creando, in convenzione con il GSE (Gestore Servizi Elettrici), linee di credito agevolate a chi intende installare questi impianti e cedendo le tariffe del conto energia per il fotovoltaico.

Per l'attività nel settore edilizio, gli incentivi per il risparmio energetico e la produzione di energia da fonti rinnovabili si identificano prevalentemente in: Certificati per l'Efficienza Energetica, il Nuovo Conto Energia ed il Progetto Efficienza Energetica Industria 2015.

In Italia con il Nuovo Conto Energia in vigore dall'inizio del 2011, vengono applicate delle modifiche al Conto Energia del 2007, cambiando, salvo alcune proroghe, le categorie in cui vengono suddivisi gli impianti fotovoltaici per ottenere gli incentivi per la realizzazione.

Con la finanziaria del 2007 sono stati introdotti degli incentivi che consentono di detrarre il 55% delle spese per gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici a carico dei beneficiari; una misura ancora oggi in atto che ha rappresentato un forte impulso per i proprietari, volto a rendere efficienti gli immobili, fissando inoltre un tetto massimo di detrazione in base al tipo di intervento sull'esistente.

Il Conto energia prevede, inoltre, tra i tanti aspetti trattati, il riconoscimento di tariffe agevolate aggiuntive a quelle di mercato per i produttori di energia elettrica fotovoltaica; la vendita dell'energia prodotta dagli impianti costituisce infatti per i privati un forte input a favore degli investimenti sulle rinnovabili; attualmente l'Italia è uno dei paesi Europei che gode di incentivi ed agevolazioni maggiori per l'installazione di impianti ad energie rinnovabili.

¹ www.enea.it

² Novi Fausto, *La riqualificazione sostenibile*, Firenze, Alinea, 1999.

³ Trio Oronzo, *Innovazione e risparmio energetico*, Milano, Franco Angelo Editore, 2008.

CAPITOLO QUARTO

IMPIANTI FOTOVOLTAICI SUGLI EDIFICI

CAPITOLO 4

IL FOTOVOLTAICO SUGLI EDIFICI

L'effetto fotovoltaico consiste in un fenomeno fisico responsabile della conversione di energia solare in energia elettrica.

Fu scoperto da Edmond Becquerel, scienziato francese che visse dal 1820 al 1891; egli presentò all'Accademia delle Scienze di Parigi una relazione sugli effetti elettrici derivanti dall'irraggiamento solare.

Degli effetti simili vennero ottenuti con il selenio anche dai tre scienziati Adam, Day e Smith alla fine del IX secolo. Il rendimento del selenio, però, era molto basso, di circa il 2%. Solo tra il 1940 ed il 1950 iniziò la produzione di silicio cristallino molto puro con il metodo Czochralski, questo permise la produzione della prima cella fotovoltaica negli USA nel 1954.

Negli anni '60 il fotovoltaico venne sviluppato nel campo aerospaziale ed è a partire dalla prima crisi petrolifera degli anni '70 che si iniziarono a produrre tecnologie da diffondere poi sul mercato.

Attualmente il mercato del fotovoltaico registra in media un incremento del 40% annuo; a questo è associata una crescita della varietà di prodotti e soluzioni progettuali per l'architettura capaci di soddisfare le più diverse esigenze applicative.

Il costo della produzione di tecnologie fotovoltaiche è ancora abbastanza alto, il materiale maggiormente impiegato è il silicio cristallino, mentre silicio amorfo e film sottili rappresentano solo il 30%

del mercato. Altri tipi di celle e tecnologie sono in fase di sperimentazione per rendere disponibile una gamma di prodotti con forma, colore e sistemi di integrazione sempre più evoluti per il settore delle costruzioni.

A livello mondiale, negli ultimi anni si assiste ad una crescita vertiginosa dei volumi di produzione dei moduli fotovoltaici, infatti, tra le energie rinnovabili impiegate sugli edifici, questa è probabilmente la tecnologia più diffusa.

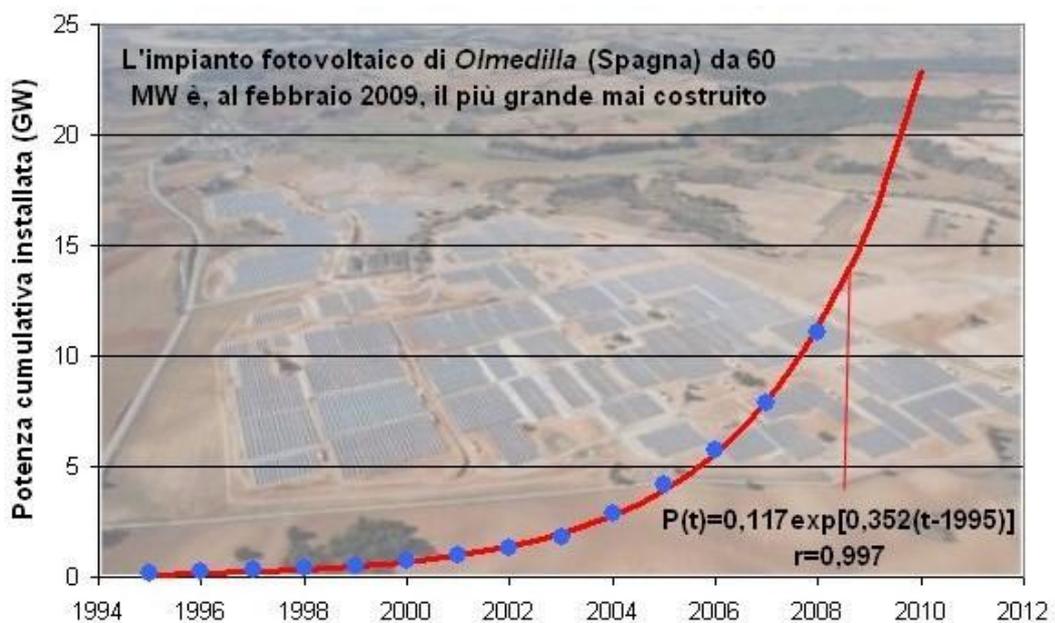


Fig 4.1 – La crescita del fotovoltaico nel mondo – Fonte: BP

Nonostante ciò la frazione di energia elettrica prodotta con questo sistema è ancora del tutto marginale; oltre ai problemi ambientali e climatici, a quelli derivanti dal limite di disponibilità di fonti fossili ed a quelli socio-economici, l'esigenza che più sta portando alla diffusione del fotovoltaico a livello

capillare sui singoli edifici è quella di dislocare la produzione elettrica presso i luoghi di consumo, riducendo l'inquinamento dei centri urbani e portando verso l'autosufficienza energetica i vari utenti, che, oltre a risparmiare possono contribuire in modo positivo non inquinando e cedendo in rete una parte della loro energia.

Questa nuova concezione della rete energetica su scala globale, già teorizzata da tempo da diversi studiosi, si sostituirebbe ad un sistema estremamente labile e precario, in quanto fondato sulla dipendenza energetica collettiva ed estremamente costoso per gli utenti. Detta rete avrebbe una configurazione simile a quella della rete WEB formata da tanti punti autonomi, ma collegati tra loro in modo da cooperare.

4.1 L'impianto fotovoltaico ed il suo funzionamento

I sistemi fotovoltaici permettono di produrre energia elettrica in corrente continua o alternata.

A differenza di altri sistemi di produzione elettrica, questi impianti sono caratterizzati dalla produzione dipendente dalla radiazione solare incidente; pertanto, si presenta come indispensabile esigenza la possibilità di avere un accumulo di energia elettrica durante le ore di produzione che sia in grado di immagazzinarla per renderla disponibile all'utenza nei tempi richiesti, indipendentemente o meno dalla radiazione solare.

Il materiale semiconduttore usato negli impianti fotovoltaici è il silicio, un elemento abbondante nella terra. La conversione in elettricità avviene all'interno della cella grazie ad un particolare trattamento del silicio; alla struttura di questo materiale viene aggiunta una certa quantità di semiconduttore in piccole percentuali che non fa parte del silicio stesso, questo permette di modificare le qualità elettriche del materiale; il termine tecnico per indicare il silicio così trattato è "drogato".

L'esposizione alla luce del sole determina la generazione di cariche elettriche e l'applicazione di un utilizzatore crea un flusso di elettroni.

Le cariche vengono poi raccolte da una griglia metallica frontale, mentre sul lato posteriore della cella viene posto il contatto elettrico per elettrodeposizione o serigrafia.

L'accumulo viene realizzato negli **impianti isolati** con una serie di batterie, mentre negli impianti **connessi alla rete elettrica**, la funzione di accumulo viene svolta dalla rete stessa, che opera come una grande batteria in grado di assorbire la produzione elettrica in eccesso, così come poter restituire energia nelle ore di scarsa o nulla insolazione.

4.1.1 Impianti fotovoltaici grid connected

Gli impianti grid connected sono quelli connessi alla rete di distribuzione, essi sono installati dove c'è la possibilità di connessione alla rete elettrica con bassi costi e dove il fabbisogno energetico è consistente, perciò si tratta della stragrande maggioranza di realizzazioni in contesto urbano.

Questi sistemi, quindi, non necessitano dei costosi ed ingombranti banchi di batterie, ma devono essere dotati di sistemi elettrici ed elettronici che consentano di produrre energia elettrica e scambiarla in rete, quindi in corrente alternata in regime monofase o trifase a seconda della tipologia di utenza che vanno a servire.

I componenti principali di questo tipo di sistemi sono:

- i **captatori fotovoltaici**, che dopo essere disposti in una posizione ottimale, raccolgono l'energia dal sole;

- l'**inverter**, dispositivo con il compito di stabilizzare l'energia raccolta, convertirla in corrente alternata ed immetterla in rete;
- **dispositivi di controllo e sicurezza**, posti tra l'inverter e la rete, hanno il compito di controllare e comunicare il funzionamento dell'impianto, nonché di bloccarlo in caso di malfunzionamento;
- **I cavi di connessione**, che devono avere un'adeguata resistenza ai raggi UV ed alle alte temperature.

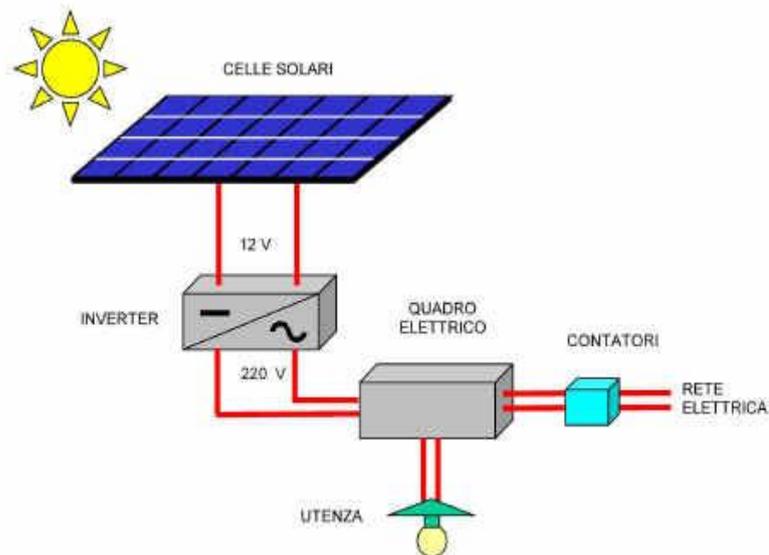


Fig 4.2 – Schema di un impianto fotovoltaico Grid Connected.

Gli inverter, che ricevono la corrente e la trasformano in alternata a 220 Volt, sono alloggiati in locali appositi che possono trovarsi anche all'esterno dell'edificio che ospita i captatori.

La connessione alla rete dell'edificio avviene a livello del **quadro generale**, dove c'è il contatore dell'utente o in un quadro secondario di distribuzione.

In Italia dal 2000, in base alle disposizioni dell'Autorità per l'energia elettrica ed il gas, è attivo il regime di scambio sul posto: nei momenti in cui l'impianto produce più energia di quanta ne consumi l'utente, l'energia in eccesso viene ceduta alla rete a parità di prezzo con quella consumata; quando invece l'utente richiede una quantità di energia che l'impianto non riesce a fornire, sarà la rete a fornire elettricità.

4.1.2 Impianti fotovoltaici stand alone

Gli impianti fotovoltaici stand alone sono i sistemi isolati. Questa tipologia è connessa con la rete elettrica e, dunque, il sistema deve essere in grado di coprire il fabbisogno intero dell'utenza.

In questi impianti, il sistema di accumulo di energia riveste un ruolo fondamentale. Bisogna, comunque, evidenziare che il costo più alto dell'impianto, deriva dal banco di batterie e dalla manutenzione. Sono inoltre caratterizzati da un periodo di vita utile dimezzata rispetto a quella dei captatori.

Le componenti principali di questo impianto sono:

- i **captatori fotovoltaici**, uguali a quelli degli altri impianti con la differenza che per gli impieghi su singoli dispositivi (come macchinari o lampioni) vengono montati pannelli di dimensioni e peso molto ridotti;

- il **regolatore di carica**, che ha il compito di stabilizzare l'energia prodotta e gestirla all'interno del sistema;
- l'**inverter**, che ha la solita funzione di trasformare la corrente da continua ad alternata;
- le **batterie di accumulo**, che possono essere connesse in serie o in parallelo ed hanno il compito di conservare l'energia prodotta per renderla disponibile quando necessario; questi accumulatori sono costituiti da monoblocchi o singoli elementi progettati specificatamente per cariche e scariche profonde e cicliche.

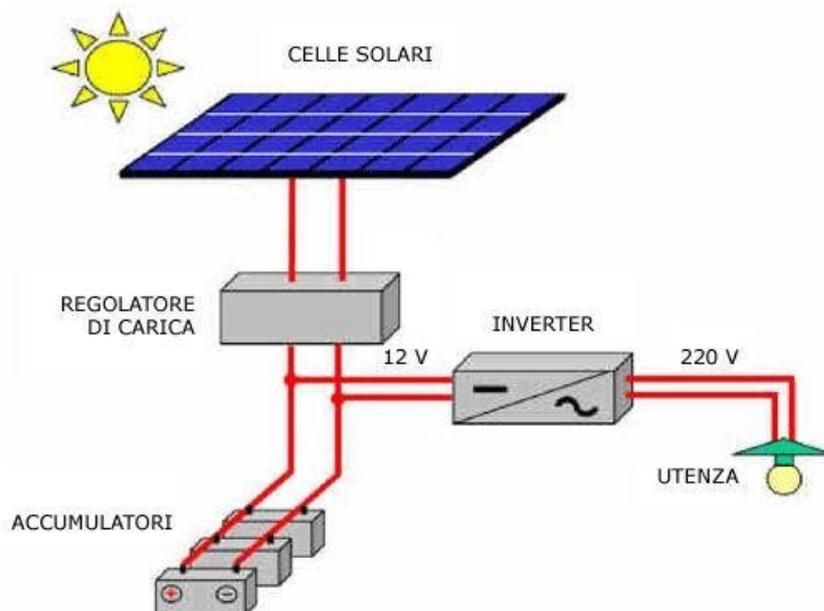


Fig 4.3 – Schema di un impianto fotovoltaico Stand Alon

Questo tipo di impianti vengono installati su edifici isolati, zone rurali prive di connessione elettrica o su dispositivi alimentati elettricamente che si desidera rendere autonomi dal punto di vista energetico quali lampioni, semafori, macchinari o addirittura mezzi trasporto come macchine, natanti o velivoli.

4.2 La cella fotovoltaica

La cella è il dispositivo più elementare capace di operare la conversione fotovoltaica, il silicio è il prodotto base per la realizzazione delle celle fotovoltaiche e, come accennato, è utilizzato sia per la sua disponibilità quasi illimitata sulla terra sia perché, dopo essere impiegato nelle lavorazioni dell'industria elettronica, può essere riciclato e riusato nell'industria fotovoltaica.

Una cella tipo ha una dimensione di 100 x 100 mm o 125 x 125 mm e può produrre, in condizioni ottimali di irraggiamento, una potenza di circa 1,5 W, i rendimenti sono proporzionali alla purezza del silicio impiegato.

La cella, realizzata dalla giunzione di due strati di silicio drogato con segni opposti, genera un campo elettrico. Essa è fatta in modo da far sì che la luce penetri nella giunzione e produca, con un effetto fotoelettrico, il maggior numero di elettroni che, accelerati dal campo elettrico, superino gli strati di silicio e vengano catturati dai contatti metallici.

Dal punto di vista costruttivo risulta necessario massimizzare la quantità di luce che colpisce lo strato utile della cella, cercando di minimizzare la quantità di luce che viene riflessa.

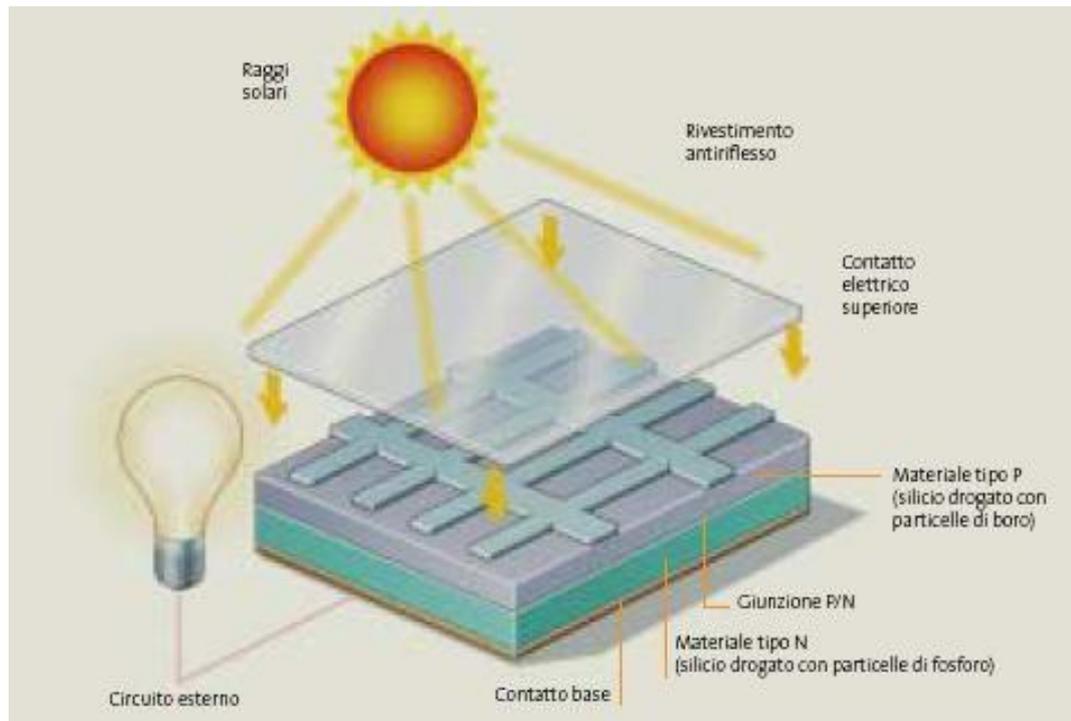


Fig 4.4 – Struttura di una cella fotovoltaica

Per questo si procede coprendo la cella con uno o più strati di ossido di silicio che riduce al 4% circa le perdite per riflessione.

Un altro metodo consiste nel praticare sulla superficie della cella delle micro incisioni che riducano al minimo le riflessioni.

Per valutare le prestazioni di una cella fotovoltaica si considerano valori standard di temperatura ed insolazione: 25°C e 1000 W/mq, considerando che il sole la colpisca con un'angolazione di 48°; tutti i moduli fotovoltaici vengono valutati in questo modo.

Il tipo di silicio impiegato, la sua purezza e la temperatura della cella determinano il suo rendimento.

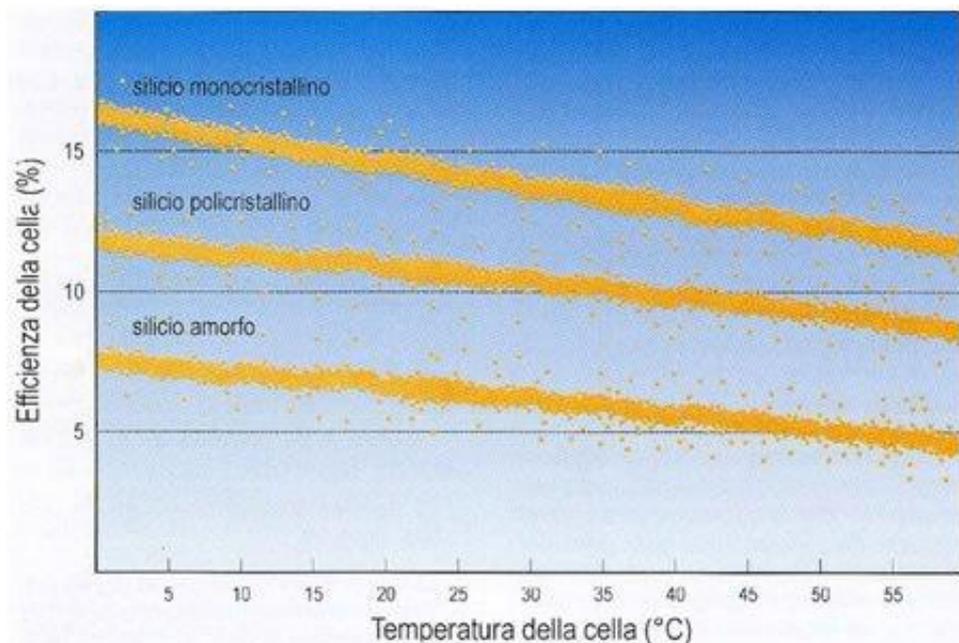


Fig 4.5 – Grafico del rendimento di una cella fotovoltaica – Fonte: BP

4.2.1 Processo produttivo di una cella fotovoltaica

La produzione di una cella fotovoltaica prevede diversi passaggi nei quali si fa riferimento a processi di diversa natura, dalla chimica dei materiali, alla fisica. Con l'evolversi della tecnologia e l'aumento vertiginoso della richiesta le tecniche di produzione si sono standardizzate abbattendo i costi.

Qui sotto sono stati elencati i vari passaggi.

- Nella **pulizia** il wafer di silicio viene liberato da tutte le sue irregolarità tramite processi abrasivi o chimici; sullo strato superficiale vengono configurate delle piccole piramidi di altezza comprese tra i 3 ed i 15 μm , che consentono poi di ottimizzare l'assorbimento dei raggi solari.

- Il wafer è già drogato con boro dalla produzione. Nella fase di **diffusione degli atomi di fosforo**, il wafer viene immesso in forni dalla temperatura prossima a 900°C, qui, sulla superficie vengono diffusi, tramite la nebulizzazione di un liquido drogato di ossicloruro di fosforo, atomi di fosforo che si liberano reagendo con l'ossigeno. L'alta temperatura consente la diffusione degli atomi in profondità nello strato superficiale. Ciò permette di creare il secondo stato con carica opposta al primo, ottenendo la **giunzione pn**.
- Per evitare che la parte posteriore della cella, dove vanno i contatti posteriori, venga influenzata dal fosforo, **le celle vengono unite insieme** prima dell'introduzione nel forno con una macchina che accelera le particelle di fosforo;
- Durante la fase di **plasma - etching**, le celle vengono impilate e le facce alle estremità sono inserite in una macchina che elimina uno strato sottile di silicio, garantendo il massimo di permeabilità elettrica alla cella;
- Durante la fase di **metallizzazione**, vengono inseriti i contatti: fili metallici in genere serigrafati in superficie. Quelli superiori sono in argento - palladio, quelli inferiori possono essere più larghi perché non creano ombreggiamento e sono in alluminio - argento. E' possibile realizzare anche un reticolo di contatti con incisione laser, creando solchi che verranno riempiti in rame; questo ultimo processo produce celle più efficienti;

- L'**applicazione dello strato antiriflesso** può avvenire prima o dopo la deposizione dei contatti. In questa fase, tramite la polverizzazione ionica o l'evaporazione, viene realizzato sulla cella, altrimenti altamente riflettente, uno strato che può essere di ossido di titani, perossido di titanio, solfito di zinco o nitrito di silicio.

4.2.2 Caratteristiche e tipologie del silicio

Il silicio è il materiale più usato dall'industria fotovoltaica, ogni anno vengono lavorate circa 11.000 tonnellate di questo materiale per produrre celle fotovoltaiche, viene ricavato dalle aziende produttrici o dagli scarti di materiale elettronico.



Fig 4.5 – Un lingotto di silicio

Fino a qualche anno fa le celle erano di dimensione circolare per via del profilo dei lingotti cilindrici di silicio da cui venivano ricavate; ora, per aumentare lo sfruttamento della superficie, sono realizzate quadrate, al limite con gli angoli smussati.

Le tre tipologie di silicio impiegate nell'industria del fotovoltaico sono **monocristallino, policristallino ed amorfo**.

- Il **silicio monocristallino** è ottenuto attraverso un procedimento costoso che consente la formazione di un reticolo molto regolare fatto di grani cristallini. Il materiale, prodotto in lingotti di 12/20 cm di lato e fino a 2 metri di lunghezza, viene poi tagliato per formare le celle; questo tipo di silicio consente di ottenere una resa elettrica molto alta, che va dal 12 al 15%, ciò significa che per installare un kW di potenza dovrò avere 7/8 mq di pannelli. Una cella di questo materiale ha mediamente un lato di 10/12 cm.

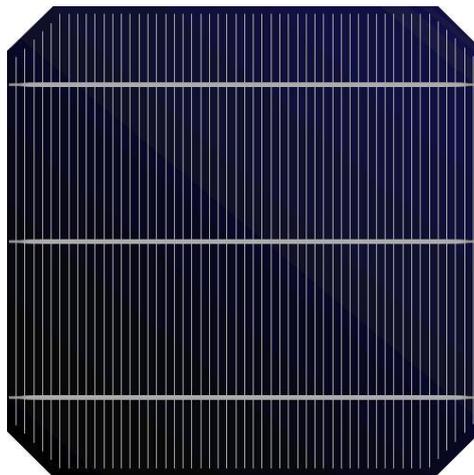


Fig 4.6 – Una cella silicio monocristallino

- Il **silicio policristallino** è un materiale del tutto simile al precedente. Il suo processo costruttivo consiste nella solidificazione di tanti cristalli di piccole dimensioni, questo conferisce al materiale un aspetto non uniforme.

L'efficienza complessiva risulta ridotta a causa dell'alta probabilità di ricombinazione degli elettroni e delle lacune negli spazi tra i singoli cristalli.

I valori di efficienza vanno dal 10 al 12%, dunque, per produrre 1 kW di potenza ci sarà bisogno di 8/10 mq. di pannelli; il costo del materiale è comunque ridotto rispetto a quello monocristallino, tanto da renderlo preferibile in molti casi. Generalmente le celle di questo materiale hanno un lato che va dai 13 ai 20 cm.

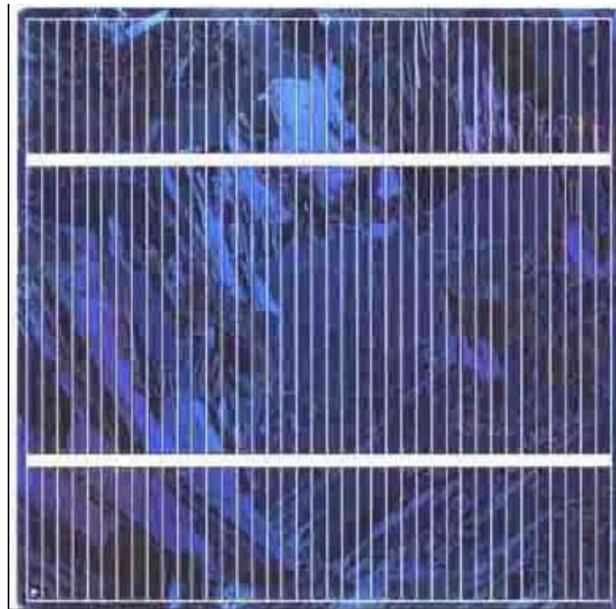


Fig 4.7 – Una cella silicio policristallino

- Il **silicio amorfo** viene utilizzato per la produzione di film sottili. Questi materiali hanno spessori di 4/5 micron contro i 300 micron delle altre celle cristalline. Il silicio in questo caso non viene raffreddato per formare una struttura cristallina, ma vaporizzato su un substrato. In questo modo il materiale avrà una struttura più disordinata con un'efficienza minore di circa il 5/8%. Tutto ciò ha il vantaggio di poter scegliere la superficie sulla quale depositare il silicio. Possono essere anche supporti non rigidi e flessibili e con superfici molto più ampie di quelle dei pannelli standard. Con questo sistema si possono ottenere moduli più apprezzabili dal punto di vista estetico, con una colorazione uniforme, flessibili, adatti all'integrazione su strutture curve o su oggetti come tegole appositamente realizzate. I prezzi di produzione del silicio amorfo sono più bassi, ma sono soggetti ad un calo di oltre il 10% della loro potenza nominale dopo le prime 300/400 ore di funzionamento.



Fig 4.8 – Una cella silicio amorfo

4.2.3 Particolari tipologie di celle fotovoltaiche

Le **celle ad elevato rendimento**, nascono a partire dal '94 dalla grande azienda, leader nel fotovoltaico, BP Solar in collaborazione con l'Università di South Weles di Sidney. Per queste viene impiegato silicio monocristallino. La peculiare caratteristica di questo tipo di celle sono le sottili linee di contatto che non vengono stampate sulla superficie come nei normali casi, ma risultano 8 volte più piccole perché incise con un laser; sono realizzate in nickel e rame. Questo tipo di scanalatura provoca meno ombreggiamento permettendo di assorbire fino al 5% in più di radiazione solare.

La superficie esterna è strutturata come tante piramidi, sopra viene posto uno strato di nitrato di silicio. Le piramidi diminuiscono del 3% la riflessione.

La parte posteriore della cella è positiva e drogata con alluminio, essa è coperta da uno strato di nickel e rame, questo le permette di agire come uno specchio che, passando attraverso la cella, assorbono più energia dallo spettro luminoso.

Queste celle misurano 125 x 125 mm. ed hanno un'efficienza del 18,3 %.

Un altro tipo di celle ad alto rendimento, molto diffuso sul mercato, è prodotto dalla giapponese Sanyo ed hanno il nome di FV HIT. Dette celle sono formate da due sottilissimi strati di silicio monocristallino, solo il wafer superiore è drogato su entrambe le superfici, coperte da nitrato per prevenire la fuoriuscita degli elettroni eccitati dai fotoni, c'è un sottile reticolo di argento che fa da conduttore.

L'efficienza di queste celle è del 19,5%, vengono realizzati moduli da 200 W con questo tipo di materiale.



Fig 4.9 – Moduli ad alto rendimento FV HIT SANYO

Le **celle fotovoltaiche trasparenti** hanno da 0 a 30% di trasmissione luminosa e raggiungono un'efficienza dell'8%, le caratteristiche elettriche sono equivalenti a quelle delle tradizionali celle solari in silicio cristallino.

Sono costituite da silicio di colore blu scuro ed hanno una dimensione di 10 x 10 cm, attraverso un'ulteriore fase meccanica del processo produttivo, si creano dei piccoli buchi dal diametro di 0,1 mm. per renderle parzialmente trasparenti ed ampliarne le possibilità applicative.



Fig 4.10 – Modulo fotovoltaico trasparente vetro-vetro PHOTO SOLAR

Nel mercato del fotovoltaico per l'integrazione sugli edifici, sono molto diffusi anche i moduli realizzati con **celle colorate**.

Generalmente sono realizzati con silicio monocristallino. L'efficienza di questi prodotti, benché più bassa rispetto alle celle non colorate, può raggiungere valori compresi tra il 12 ed il 15%.

I colori disponibili vanno dai diversi tipi di blu, al bronzo, ai rossi, ai verdi, all'argento.

Le celle sono anche disponibili in silicio policristallino. Esse presentano un'efficienza ridotta, ma sono caratterizzate da colorazioni più particolari e meno omogenee; in genere i prodotti di questo tipo vengono impiegati per la realizzazione di tegole fotovoltaiche.

Le celle colorate consentono di ottenere delle integrazioni architettoniche molto interessanti riducendo l'impatto visivo dovuto alla differenza di colorazione o sfruttandolo per la creazione di superfici mosaicate o scritte.

Le applicazioni negli impianti connessi in rete comportano l'installazione di alcuni kWp, mentre le applicazioni ad isola possono comprendere generatori fotovoltaici di pochi watt di picco; la Solartec produce moduli in celle colorate monocristalline che superano i 110 watt di potenza.

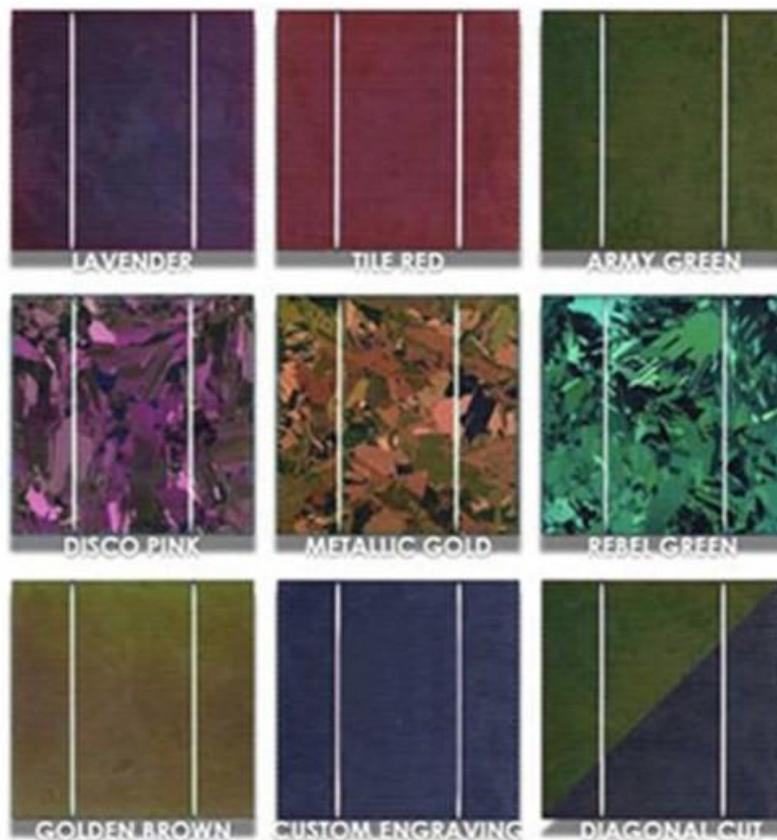


Fig 4.11 – Celle fotovoltaiche colorate SOLARTEC

Un altro tipo di celle fotovoltaiche molto usate sono quelle in **thin film**, ovvero film sottile.

L'efficienza è più bassa, ma la quantità di conduttore è molto minore ed ha uno spessore di qualche micron.

Questa tecnologia consente la creazione di captatori monolitici con grandi aree e costi di produzione inferiori.

Le celle fotovoltaiche a film sottile sono realizzate depositando il silicio su supporti come vetro, polimeri in alluminio o basi flessibili.

La tecnologia che ha dato più progressi in questo campo è quella che impiega silicio amorfo. La materia prima si presenta in forma gassosa da spruzzare sui supporti. Data la scarsa quantità necessaria di silicio per realizzare questi prodotti, la materia prima è reperita dagli scarti delle industrie elettroniche.



Fig 4.12 – Rotolo di film sottile

Le celle organiche nascono dal chimico svizzero Graetzel nel '90 che si ispirò alla fotosintesi naturale per convertire la luce in corrente, ponendo sulla superficie di un semiconduttore uno strato di molecole organiche trattate per consentire l'assorbimento della luce.

Questa cella è conosciuta come Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), essa usa un pigmento organico fotosensibilizzatore per assorbire e convertire la luce.

Attualmente la ricerca è molto concentrata su questo settore per produrre celle organiche a basso costo, di forme e dimensioni differenti, che possano formare i pannelli più diversi e versatili tra loro.

Le tecnologie in merito, sviluppate da diversi produttori in tutto il mondo, hanno realizzato diversi prodotti. Alcuni di questi sono stati realizzati con lo stesso procedimento delle pellicole fotografiche, caratterizzate da spessori limitatissimi ed una flessibilità estrema, con la possibilità, attraverso l'introduzione di pigmenti colorati, di ottenere le colorazioni più svariate.

In molti paesi come l'Italia, sono le istituzioni locali spesso a sponsorizzare e sostenere gli enti di ricerca che si occupano di questi prodotti. Attualmente l'efficienza di questi materiali è più limitata ed arriva al 10%; si prevede, comunque, che nel giro di pochi anni le celle organiche raggiungeranno una tecnologia ottimale per prendere piede sul mercato e fare concorrenza agli altri prodotti del settore.

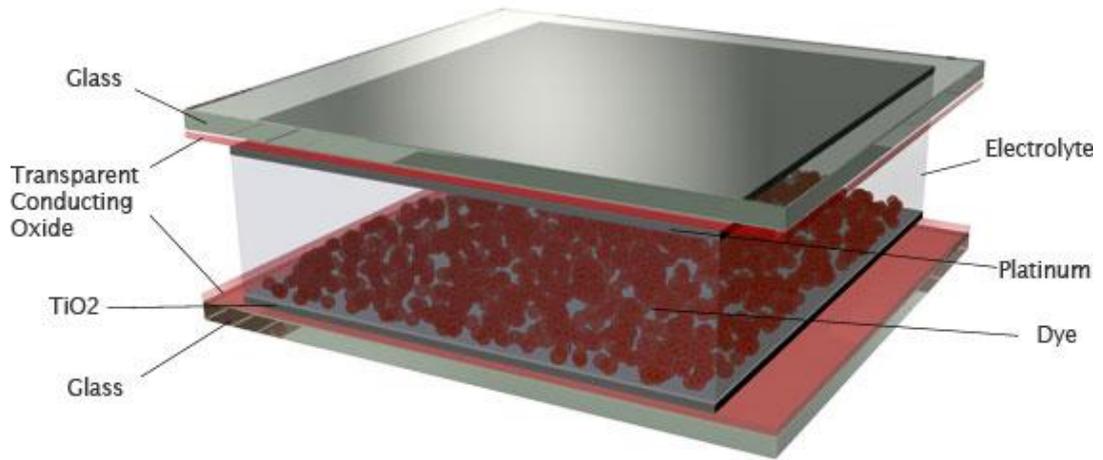


Fig 4.13 – Struttura di una cella DSSC – Fonte: KONARKA TECHNOLOGIES

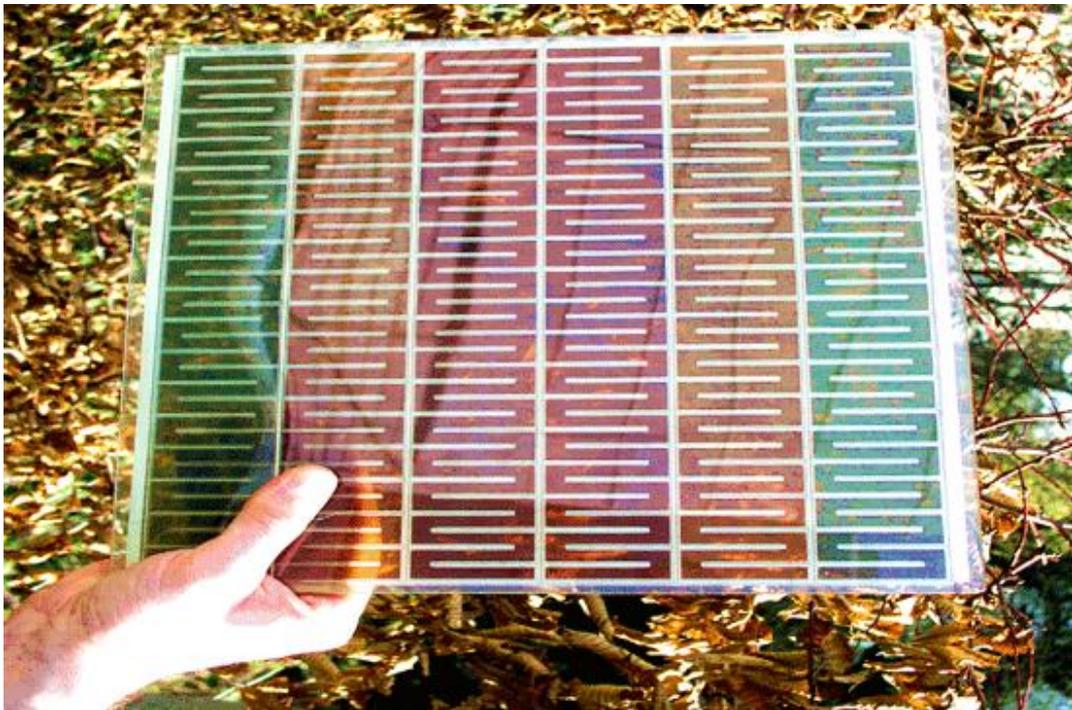


Fig 4.14 – Una cella DSSC

4.3 Progettazione del fotovoltaico per edifici

Per poter ottenere un risultato ottimale per l'integrazione di un impianto vanno valutati attentamente le caratteristiche del sito, gli aspetti tecnici ed estetici dell'impianto.

Le **caratteristiche del sito** sono date da:

- clima, determinato da radiazione, nuvolosità media, precipitazioni, umidità, velocità e frequenza del vento;
- microclima, dato dalla presenza di polveri, di vegetazione ed ostruzioni artificiali;
- latitudine;
- condizioni sismiche.

Per ottenere la massima efficienza di un impianto, i moduli devono essere orientati a sud, non ricevere ombre ed essere inclinati con un angolo equivalente alla latitudine meno circa 10° .

Per quanto riguarda le facciate degli edifici, esse sono generalmente verticali e quelle orientate ad est ed ovest hanno un buon rendimento per angoli sui 90° , con un'efficienza pari al 60% rispetto a quelle orientate a sud.

Le caratteristiche del sito influiscono sul progetto e determinano come integrare un sistema fotovoltaico in un edificio.

Nei centri urbani è fondamentale lo studio delle ombre per evitare che l'impianto non sia mai ombreggiato

da altri elementi, subendo una diminuzione di efficienza.

Negli edifici multipiano è molto frequente che gli impianti fotovoltaici siano posizionati ai piani più alti per evitare fenomeni di ombreggiamento; spesso, per non far notare la differenza di materiali in facciata, si crea una superficie fotovoltaica formata da moduli attivi e non attivi, ottenendo un'immagine omogenea a discapito però dei costi.

Le celle fotovoltaiche sono un materiale con il quale è possibile realizzare, con una notevole varietà di forme e di tecnologie, facciate, coperture e schermature degli edifici, in sostituzione completa dei componenti preesistenti.

In gran parte dei casi di impiego in ambito urbano, vengono realizzati impianti connessi alla rete con i seguenti vantaggi: il costo dell'impianto integrato su pareti o in copertura può sostituire il costo di un eventuale muratura o copertura tradizionale, non c'è il bisogno di batterie, non sono necessari lavori per costruire struttura aggiuntive per il posizionamento dell'impianto.

Quando l'impianto fotovoltaico è inserito in maniera organica nel progetto di un edificio e viene considerata come sua parte integrante, migliora il rendimento e può portare benefici aggiuntivi tipici dei sistemi energetici passivi come isolamento, condotti di ventilazione naturale o riscaldamento per induzione.

Il **dimensionamento preliminare** è una delle prime fasi fondamentali del progetto di un impianto fotovoltaico, essa è strettamente correlata con la producibilità del sistema.

La radiazione incidente sui captatori varia a seconda della latitudine del sito, dell'orientamento dei moduli dato dall'azimut rispetto al nord e della loro inclinazione.

La radiazione viene divisa in diretta diffusa e riflessa. Per conoscerne i dati medi in una particolare zona, si fa riferimento alle normative UNI 10349, all'Atlante Solare Europeo o ad alcuni siti come quello del Joint Research Center della comunità Europea.

A partire da questi dati è possibile estrapolare i valori della radiazione orizzontale al suolo e valutarli sulla superficie dei moduli orientati, inclinandoli in modo variabile, facendo riferimento alla norma UNI 8477 o a specifici atlanti pubblicati in rete. Sul mercato sono diffusi molti programmi che consentono di ricavare il valore medio di kWh/mq al giorno incidente su una data superficie.

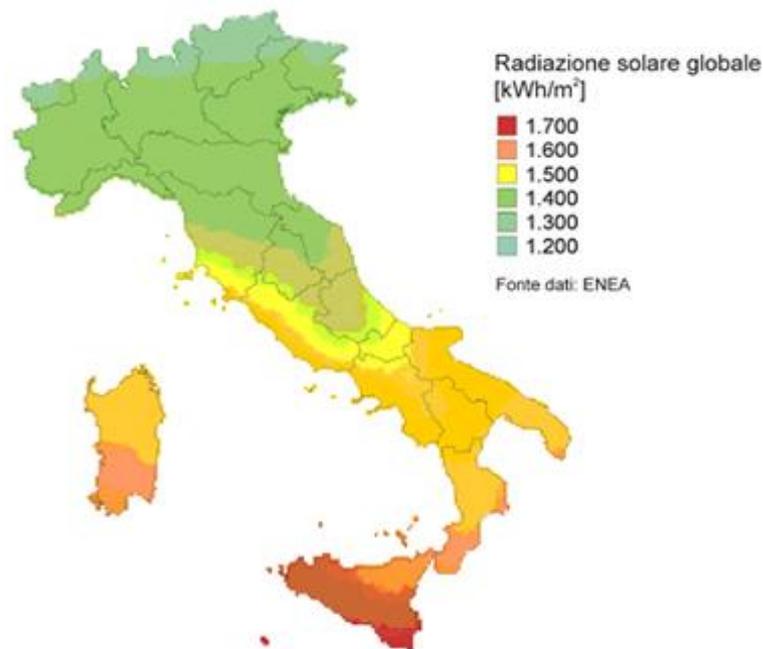


Fig 4.15 – Radiazione solare sul territorio italiano – Fonte: ENEA

L'analisi della superficie a disposizione è una parte importante per la valutazione del potenziale di un impianto; per procedervi vanno analizzate: le ombre che nelle giornate nell'arco di un anno incidono sui captatori, l'area della superficie a disposizione e la resistenza meccanica della superficie di installazione.

Una volta stabilito che orientamento ed inclinazione di una falda del tetto sono ottimali per l'installazione, andrà considerata la superficie disponibile al netto degli spazi per montaggio e manutenzione e degli elementi che costituiscono un ostacolo (come camini o lucernari).

L'analisi del fabbisogno energetico dell'utenza è un altro step fondamentale di questa fase. Nel caso di edifici preesistenti già in uso, generalmente ci si basa

su un'analisi di almeno tre anni di consumi dati dalle bollette. Per un'abitazione di nuova realizzazione si procede attraverso stime più approssimative basandosi su dati presunti presenti su diverse pubblicazioni di enti specializzati; i consumi medi di una famiglia italiana si stimano in 3500 kWh, in genere i consumi medi annui di un residente in un'abitazione privata si aggirano attorno ai 1000 kWh.

Per il **calcolo della producibilità** di un impianto, vengono utilizzati diversi software di progettazione. Infatti, si deve considerare l'energia media annua in kWh/mq che risulta dalla radiazione solare stimata descritta prima; tale energia è esprimibile con il numero di ore equivalenti in cui si possono misurare 1000 W/mq; è possibile, quindi, considerare la potenza del nostro impianto e moltiplicare questo valore per le ore medie equivalenti annue.

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

Le perdite elettriche in genere si possono valutare attorno al 25%. Esse sono composte da: perdite per riflessione, perdite per bassa radiazione ed ombreggiamento, perdite per effetto della temperatura e perdite nei vari componenti come inverter, filtri o quadri.

Complessivamente per stimare la producibilità di un impianto si calcola: la potenza (in kWh) per il numero di ore giorno equivalenti medie per 365 per 0,75 cioè l'effetto delle perdite.

In Italia i valori medi degli impianti fotovoltaici sono: 1000 - 1100 kWh/kWp al nord, 1100 - 1250 kWh/kWp al centro e 1250 - 1400 kWh/kWp al sud.

Nella progettazione una fondamentale importanza è ricoperta anche dalla determinazione di quanti moduli vanno connessi ad ogni inverter, di conseguenza vanno valutate le stringhe in termini di numero e dimensione.

Per procedere ci si basa sulle caratteristiche proprie dell'inverter e dei singoli moduli fotovoltaici che vengono forniti dai produttori.

4.3.1 Grado di integrazione architettonica

I gradi di integrazione di un impianto fotovoltaico sono essenzialmente tre. Essi sono stati introdotti dal **Decreto Ministeriale del 19 febbraio 2007**, anche noto come **Conto Energia**, essenzialmente con lo scopo di definire gli incentivi fiscali per la realizzazione degli impianti di questo tipo.

A partire dal 1 gennaio del 2011, con l'entrata in vigore del **Conto Energia 2011**, la classificazione e i relativi aspetti fiscali per la realizzazione di impianti fotovoltaici è stata cambiata. Ai fini della definizione del progetto architettonico, nonostante i cambiamenti messi in atto dalla normativa, è da ritenere

valida la classificazione descritta dal decreto del 2007 che di seguito viene riportata.

- Con **integrazione architettonica parziale** si intende l'installazione di pannelli fotovoltaici su strutture edilizie o di arredo urbano, senza la sostituzione del materiale da costruzione delle stesse.

Un intervento che risulti proporzionato fra elementi fotovoltaici e struttura che li ospita ha alle spalle un'attenta progettazione dell'inserimento in generale, delle dimensioni dell'impianto, del suo posizionamento, dell'estensione e dell'impatto visivo rispetto agli altri elementi architettonici che compongono la copertura, la facciata o qualunque altra superficie o materiale in contatto con il fotovoltaico.

E' fondamentale che l'inserimento non alteri le caratteristiche estetiche, morfologiche e funzionali dell'involucro architettonico su cui si interviene.



Fig 4.16 – Integrazione parziale fotovoltaica in copertura



Fig 4.16 – Integrazione parziale fotovoltaica su parapetti in facciata



Fig 4.17 – Integrazione parziale fotovoltaica in facciata

- Con **integrazione architettonica totale** si intende un impianto fotovoltaico i cui moduli risultino integrati su superfici esterne degli involucri edilizi.

Ciò significa creare un equilibrio fra aspetti tecnici dell'impianto e caratteri estetici e morfologici dell'edificio, lasciando inalterati gli aspetti funzionali.

L'intervento di totale integrazione fotovoltaica acquisisce valore se si calcola la differenza tra il costo risparmiato sulle superfici coperte con materiali integrati con sistemi fotovoltaici ed il costo dei materiali edili che comunque avremmo utilizzato per realizzare queste parti dell'edificio.

Con una corretta integrazione architettonica del fotovoltaico, la capacità di produrre energia elettrica sul luogo della domanda dovrebbe coincidere con la qualità estetica dello spazio che lo accoglie.

Gli aspetti esteriori del modulo fotovoltaico, quali forma, dimensione, colore, trasparenza, diventano caratteristiche scelte del progetto atte a qualificare le facciate, le coperture o le vetrate.

In quest'ottica il modulo fotovoltaico diventa vero e proprio materiale edilizio e parte della costruzione, in grado di contribuire alla resa energetica ed all'immagine dell'edificio.



Fig 4.18 – Integrazione totale fotovoltaica su parapetti in copertura

- Gli **impianti fotovoltaici non integrati** sono quelli che non si integrano armoniosamente con le strutture o superfici che li ospitano. Trattasi d'installazione non integrata quando i pannelli fotovoltaici non svolgono nessuna prestazione complementare rispetto all'organismo edilizio al di fuori della produzione energetica e la disposizione dei pannelli non ha nulla a che fare cioè con la morfologia dell'involucro che funge unicamente da supporto, tipo le installazioni a cavalletti su coperture. Un esempio tipico di impianto non integrato sono i pannelli fotovoltaici installati su tetto piano e fissate su apposite strutture di sostegno con giusta inclinazione e verso sud.

Altro esempio pratico di impianti non integrati sono le installazioni fatte a terra o in giardino.

La tipologia di impianto fotovoltaico non integrato o ad applicazione indipendente, a meno che i moduli non vengono mascherati con inserimento, ad esempio, in una balaustra o su una copertura di un terrazzo su cui si trovano, mantiene le stesse caratteristiche architettoniche, senza modificarle, dell'edificio, evitando il rischio di deturparlo.

Un impianto fotovoltaico costituito da moduli inseriti sulle balaustre, su pensiline o coperture di terrazzi, viene considerato non integrato o ad applicazione indipendente.

Fanno parte della "famiglia" degli impianti fotovoltaici non integrati anche gli inseguitori solari. Lo scopo dell'inseguimento solare è quello di mantenere, istante per istante, il piano dei pannelli fotovoltaici perpendicolare al raggio del sole, in modo da produrre maggiore energia.



Fig 4.16 – Impianto fotovoltaico non integrato

4.3.2 Tipologie e tecnologie di integrazione su edifici

In fase progettuale è determinante analizzare ogni possibile soluzione di applicazione e determinare l'impatto sull'intero bilancio energetico dell'edificio e la sua efficienza energetica.

Gli edifici terziari e produttivi, che svolgendo attività lavorative hanno una domanda significativa di energia dalla mattina alla sera, sono quelli che maggiormente possono beneficiare di un impianto fotovoltaico.

I diversi tipi di soluzione di integrazione del fotovoltaico che si possono avere su edifici riguardano: le facciate, le coperture piane ed inclinate, elementi di protezione e controllo solare ed elementi del progetto con funzioni secondarie come balconi e pensiline.

Le tecnologie che consentono una buona integrazione dei sistemi fotovoltaici devono essere valutati secondo i seguenti requisiti: estetica, tenuta agli agenti atmosferici, tenuta al vento, durata dei materiali impiegati, sicurezza, costi e valutazione del tempo di ritorno dell'investimento.

Le diverse soluzioni offerte dai moduli fotovoltaici in commercio, consentono di modificare l'immagine dell'edificio anche stravolgendola, specie nei casi d'integrazione totale.

La qualità dei moduli deve garantire una notevole durata nel tempo, la tenuta ad acqua e ad agenti atmosferici per garantire il funzionamento dell'impianto e diminuire i tempi di ritorno dell'investimento.

Per ottimizzare l'efficienza del sistema è necessario porre attenzione anche ad aspetti come produzione di calore e ventilazione dei moduli, accesso al cablaggio dell'impianto ed alla manutenzione dei captatori.

In particolare, per quanto concerne il surriscaldamento dei moduli e la loro ventilazione, sono da considerare anche i seguenti aspetti: la tendenza dei moduli a surriscaldarsi e il relativo calo di produttività, la necessità di ventilare le stringhe per

migliorarne l'efficienza e la possibilità di recuperare il calore prodotto dai moduli.

La durata dei materiali, i movimenti termici, la sostenibilità dei cablaggi ad elevate temperature, sono aspetti progettuali che devono essere vagliati in modo approfondito specie in caso di integrazione totale quando i moduli svolgono anche funzioni di tamponamento sull'edificio.

Con una buona progettazione, il calore dei moduli può essere recuperato e riutilizzato, creando sistemi passivi e migliorando l'efficienza delle celle con l'abbassamento della loro temperatura.

Diverse sono le soluzioni progettuali che prevedono sistemi ibridi ad aria con tecnologie per lo sfruttamento fotovoltaico e termico; oppure sistemi ad acqua che consentono di riscaldare le serpentine d'acqua poste nei moduli, che poi vengono impiegati per la produzione di acqua calda.

Normalmente il calore prodotto dalle celle viene dissipato attraverso la ventilazione naturale. In condizione di elevato irraggiamento dei moduli, in cui le celle raggiungono temperature tra i 40 e i 70°C, vengono previsti sistemi di ventilazione meccanica inseriti nel contesto architettonico.

Il calore dei moduli può così essere utilizzato nei mesi freddi e dissipato nei mesi caldi; per riutilizzare il calore negli ambienti interni possono essere realizzati condotti di areazione oppure sistemi per conduzione diretta sull'involucro dell'edificio, impiegando sistemi attivi o passivi.

Molto numerosi sono i casi di integrazione in **copertura**, ovviamente se si tratta di nuova costruzione sarà economicamente più vantaggiosa rispetto ai casi di ristrutturazione.

In genere le coperture sono caratterizzate dai seguenti elementi: assenza di sistemi di schermatura, in caso di falde le pendenze possono favorire il rendimento di un impianto complanare permettono un'installazione semplice dal punto di vista operativo, inoltre, non hanno un impatto determinante sull'immagine dell'edificio.

Le coperture sono assai più facili da ventilare rispetto alla facciate ed il surriscaldamento delle celle provoca una minore trasmissione del calore sugli ambienti interni rispetto ai sistemi di facciata, in particolare se si è in presenza di sottotetti non utilizzabili.

Per le installazioni parzialmente integrate su falde inclinate, è necessario un sistema di appoggio per montare i moduli fotovoltaici; generalmente si usano dei binari applicati sulla copertura esistente, ai quali vengono avvitati i moduli. Questa soluzione permette di creare una camera d'aria di circa 10 cm tra i moduli e la struttura di copertura.



Fig 4.17 – Ventilazione naturale su captatori integrati in copertura

Nelle soluzioni integrate totalmente in copertura a falda, si tende generalmente a creare una soluzione di micro ventilazione dal colmo e dalla gronda.

La ventilazione dei moduli è necessaria, come già detto in precedenza, per poter ottimizzare il rendimento di questi ultimi.

Gli impianti fotovoltaici applicati alle coperture piane, devono essere progettati tenendo conto dei carichi accidentali.

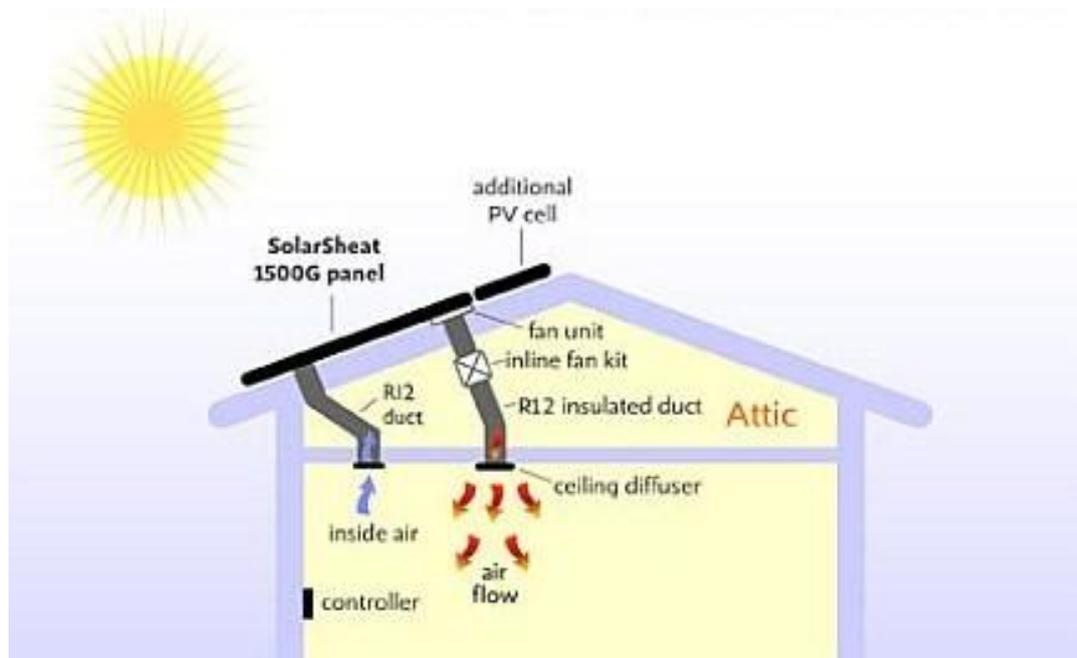


Fig 4.18 – Schema di un sistema meccanico per il recupero del calore dei moduli

Le coperture integrate con moduli fotovoltaici dovranno avere una pendenza tale da evitare l'accumulo della neve e minimizzare le perdite di rendimento.

I moduli fotovoltaici in commercio sono autopulenti, ciò favorisce lo scivolamento della neve sulla superficie.

Nelle applicazioni su coperture trasparenti o lucernari, spesso vengono impiegati moduli vetro-vetro o semitrasparenti, per garantire l'ingresso filtrato della luce naturale, ottenendo una parziale schermatura e migliorando il comfort degli interni.

Le installazioni di shed fotovoltaici a nord, consentono di avere una buona ventilazione naturale ed in particolare il raffrescamento dei moduli, aumentandone 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, quindi, nella maggior parte dei casi si tratta semplicemente di inclinare ed orientare nel miglior modo possibile il sistema fotovoltaico, appoggiandolo su strutture di sostegno studiate in base al tipo di prodotti utilizzati.

Sul mercato sono sempre disponibili nuovi prodotti. Le tegole fotovoltaiche stanno prendendo sempre più piede; esse sono adattabili ad ogni tipo di copertura inclinata, questi componenti consentono un'integrazione di ottimo livello.

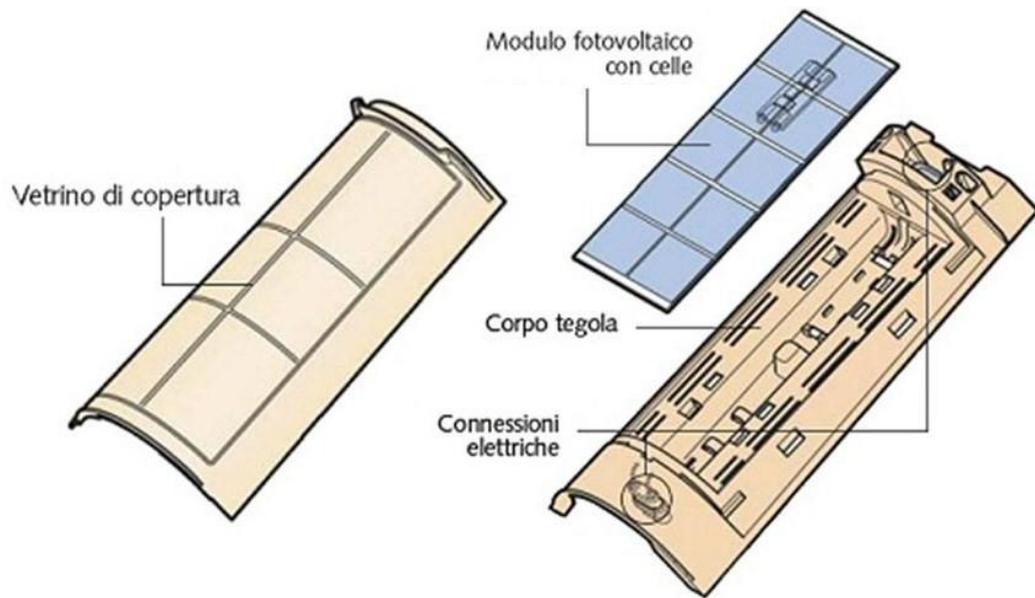


Fig 4.19 – Schema di una tegola fotovoltaica TECHTILE ENERGY

Esistono infiniti sistemi per l'ancoraggio dei moduli fotovoltaici adatti per ogni tipo di tetto. Il telaio, in genere composto da profili in alluminio o di metallo trattato per resistere al deterioramento, è ancorato direttamente sulla struttura della copertura tramite staffature, per non gravare sul manto ed evitare possibili infiltrazioni di acqua e perdite di isolamento termico, gli appoggi sono di tipo longitudinale in modo da distribuire il peso dei moduli.



Fig 4.20 – Sistema di ancoraggio in copertura per sovrapposizione CREDEM

Per le coperture piane esistono infinite soluzioni di ancoraggio che consentono di variare l'inclinazione e l'orientamento dei moduli. In genere sono utilizzati telai metallici di sostegno con contrappesi posti alla base.

Sono diffusi anche sostegni prefabbricati in calcestruzzo alleggerito sui quali vengono posizionati direttamente i moduli; questi sistemi possono essere posizionati ed orientati liberamente senza alcun fissaggio e senza danni per il manto di copertura.



Fig 4.21 – Struttura di sostegno per fotovoltaici moduli in cemento alleggerito

E' altresì possibile anche ancoraggi meccanici alle strutture dell'edificio o fisher chimici; spesso questi sistemi sono molto dispendiosi, perciò non sempre è conveniente adottarli.

Nell'installazione su coperture esistenti va posta attenzione alle ostruzioni che possono creare ombreggiamenti sui moduli, la presenza di parapetti, antenne o altri elementi. Tutto ciò va analizzato nelle diverse ore del giorno.

Su coperture piane è possibile anche impiegare moduli in film sottile, applicati a supporti in gomma o metallo, facilmente posizionabili in formato di rotoli o lastre; i sistemi di connessione in questi casi sono estremamente brevi e poco onerosi.



Fig 4.22 – Stesura di rotoli in film sottile in copertura

La **coperture fotovoltaica complanare** è quella che presenta un maggiore grado di integrazione architettonica.

In questo tipo di soluzione i moduli fotovoltaici vanno a formare la copertura vera e propria, quindi i prodotti impiegati devono avere gli stessi requisiti di qualità richiesti alle coperture tradizionali.

Questo tipo di realizzazione è vantaggiosa anche dal punto di vista economico poiché il costo dell'impianto è determinato dal cablaggio, dai dispositivi elettrici, ma non dalla struttura che lo sostiene.

Così facendo vengono eliminati i costi per la realizzazione di un normale tetto; l'unica limitazione è che in questi casi non è possibile scegliere liberamente l'inclinazione e l'orientamento dei moduli essendo

questi direttamente dipendenti dalla configurazione del tetto dell'edificio.



Fig 4.23 – Captatori fotovoltaici integrati complanari alla falda

L'integrazione fotovoltaica è possibile anche su tutti quegli elementi per l'aerazione, che consentono il ricambio d'aria nei garage e nei locali interrati; in questi casi i materiali impiegati per i moduli sono più resistenti e meno costosi: vetroresina, polycarbonato, poliuretano e vetro opaco o sandwich in alluminio.

Come accennato, molto frequenti sono le integrazioni fotovoltaiche su **lucernari**. Essi si trovano su coperture di ogni genere: piane, inclinate o curve. In genere su grandi edifici sono disposti secondo logiche ripetitive.

L'aspetto vantaggioso di queste applicazioni è che i lucernari sono elementi standardizzabili in fase produttiva e quindi compatibili con procedimenti di realizzazione seriale, ciò ha consentito di creare prodotti fotovoltaici che nascono specificatamente per questa tipologia di impiego.

Nei lucernari preesistenti, le vetrate vengono sostituite con moduli vetro-vetro o composti da superfici semitrasparenti, agganciate a profili generalmente in alluminio.

Esistono lucernari di ogni forma e dimensione; molto adatti per l'integrazione fotovoltaica sono quelli a falda. Nei lucernari a doppia falda, sulla superficie rivolta a sud solitamente vengono impiegati moduli semitrasparenti in vetro-vetro che producono energia e consentono il filtraggio della luce all'interno; su quelli rivolti a nord possono essere montate lastre trasparenti con inseriti meccanismi per l'aspirazione dell'aria calda interna.

I captatori usati in questo campo sono in vetro-vetro o vetro-tedlar semitrasparente oppure in film sottile semitrasparente, questi moduli sono permeabili alla luce nelle zone in cui non ci sono le celle.

Le strutture portanti di questi impianti possono essere formate da travetti in acciaio, alluminio, legno, cemento armato, i moduli possono essere sostenuti direttamente o tramite una sovrastruttura.

I moduli si alternano alle lastre in vetro-camera, oppure, se le condizioni climatiche lo richiedono, le sostituiscono completamente costituendo un'adeguata

protezione termica; i moduli in vetro-vetro consentono una buona ombreggiatura interna.



Fig 4.24 – Lucernario realizzato con moduli fotovoltaici in vetro-vetro

Negli edifici industriali e commerciali spesso vengono impiegati degli **shed** per l'illuminazione degli spazi interni lontani dalle aperture e dal ricambio d'aria.

Gli shed sono realizzati con forme e materiali trasparenti, spesso hanno una lato trasparente, mentre l'altro è realizzato con materiali opachi.

Le coperture con una successione di shed, che presentano un profilo "seghettato", sono ottime per l'integrazione fotovoltaica.

In particolare, con un orientamento nord-sud la resa dell'impianto risulta ottimale ed anche la ventilazione risulterà sufficiente con aperture disposte a nord.

Le aperture di questo tipo in genere sono dotate di dispositivi meccanici comandabili a distanza o con meccanismi che si attivano in automatico per soddisfare il benessere interno; ovviamente i pannelli vengono installati sul lato rivolto verso sud o con un orientamento prossimo a questo.



Fig 4.26 – Shed fotovoltaico con pannelli trasparenti in vetro-tedlar

Le **coperture curve** si prestano bene all'integrazione di sistemi fotovoltaici, sul mercato è vasta anche la disponibilità di prodotti standard adatti a questo tipo di applicazione.

La principale complessità è data dalla presenza di zone che possono avere diversa inclinazione. In questo caso è la curvatura che determina la presenza di zone con diversa inclinazione e quindi soggette a diverso irraggiamento.

Questo aspetto determina però un'interessante flessibilità produttiva dei generatori fotovoltaici al variare dell'altezza del sole nelle varie stagioni.

Le coperture curve in genere sono rivestite da elementi molto lunghi che ben si prestano a soluzioni di montaggio dei captatori, esse sono molto ben integrate e danno buoni risultati estetici.



Fig 4.27 – Moduli fotovoltaici curvi MILLENNIUM ELETTRIC

Nei casi in cui la struttura edilizia consente l'utilizzo di una copertura semitrasparente, vengono impiegati moduli fotovoltaici integrati a strutture in vetro-camera; questi moduli vengono anche impiegati nelle facciate continue o nei lucernari e possono essere trasparenti o semitrasparenti; essi garantiscono l'illuminazione ed un'adeguata protezione termica.

La disposizione dei moduli, nella maggior parte dei casi, segue l'andamento orizzontale in modo da garantire un irraggiamento uniforme sui moduli di uguale orientamento ed inclinazione.



Fig 4.28 – Captatori fotovoltaici integrati su copertura curva

L'integrazione di sistemi fotovoltaici in **facciata** sta prendendo piede sempre più rapidamente, specie su interventi di nuova costruzione in alternativa ai soliti sistemi ubicati prettamente in copertura; questo è indice anche di una graduale accettazione ed apprezzamento di questa tecnologia sotto il profilo dell'immagine.

Da un punto di vista tecnico le facciate offrono una superficie adatta ad ospitare i moduli fotovoltaici.

La grande diffusione delle facciate continue ha costituito un forte impulso per l'impiego del fotovoltaico anche per interventi di ristrutturazione.

Per le eventuali sostituzioni o opere di manutenzione dei moduli si ricorre alle stesse procedure usate nelle normali facciate vetrate, i pannelli hanno le stesse caratteristiche dimensionali degli altri elementi vetrati.

Oltre a produrre energia elettrica, le facciate fotovoltaiche svolgono funzioni di rivestimento, isolamento termico ed acustico dell'edificio e di schermatura solare.

In diversi progetti il componente fotovoltaico è integrato come un elemento prefabbricato che costituisce intere porzioni di facciata.

Molti di questi prodotti modulari, uniscono il solare termico al fotovoltaico recuperando il calore, mentre altri, tramite un sistema di ventilazione, convogliano il calore in appositi impianti che lo riutilizzano direttamente per il riscaldamento degli ambienti.

Queste sono soluzioni che presentano notevoli vantaggi: facilità di montaggio, predisposizione al cablaggio, alto grado di integrazione, oltre le funzioni già descritte relative all'utilizzo del calore prodotto.

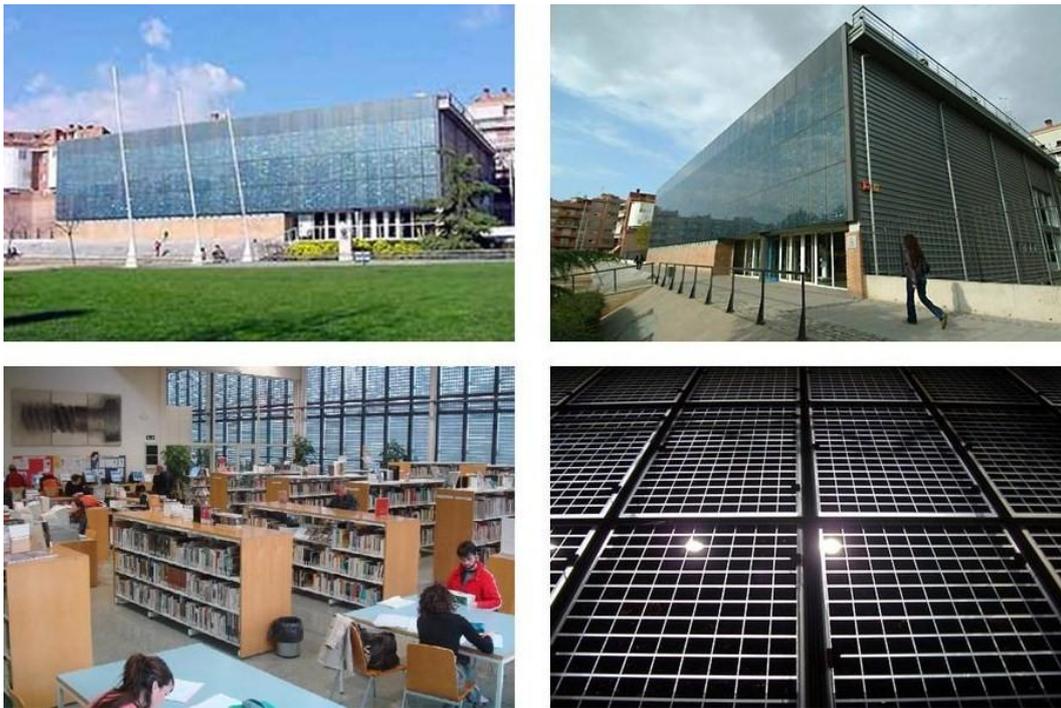


Fig 4.29– Miguel Brullet I Tenas, Biblioteca di Matarò(Spagna), 1997

Per motivi strutturali o funzionali, non è sempre possibile inserire in modo continuo i moduli fotovoltaici in facciata, in questi casi il progetto di integrazione mira ad identificare le parti della facciata compatibili per l'inserimento. Spesso vengono impiegate le superfici dei parapetti o le porzioni poste sopra le finestrate.

Nel caso di retrofit, di solito viene realizzata una doppia facciata dove quella fotovoltaica costituisce il fronte esterno non sigillato, mentre quella interna funziona da vera superficie di chiusura.



Fig 4.30– Realizzazione di una seconda facciata esterna fotovoltaica



Fig 4.31– Superficie fotovoltaica posta davanti alla facciata originale

Sono frequenti anche casi di integrazione di moduli fotovoltaici su **facciate inclinate** nei casi di nuove realizzazioni, è così possibile rendere ottimale l'inclinazione dei captatori.

Di solito per l'installazione su queste superfici, vengono usati moduli in vetro-vetro trasparenti o semitrasparenti; la parte captante può coprire anche solo parzialmente la facciata. In alcuni edifici, per estendere a tutta la superficie i moduli, vengono usati quelli trasparenti e non; generalmente queste strutture sono diffuse negli edifici terziari.

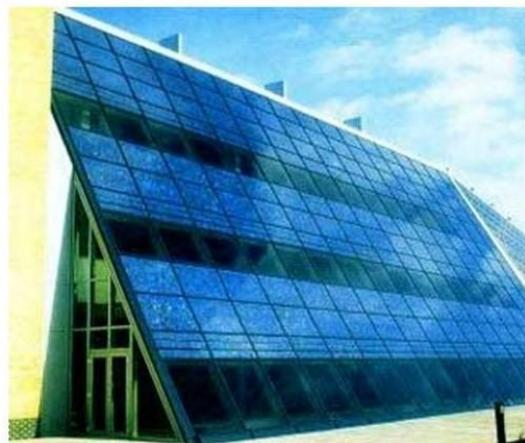


Fig 4.32– Studio E Architects, Solar Office, Doxford (UK), 1998

Gli impianti fotovoltaici possono costituire anche frangisole e **sistemi di schermatura** solare per gli edifici, svolgendo così la funzione di ombreggiamento e diffusione ottimale della luce negli ambienti interni.

Nel caso di frangisole è possibile impiegare moduli standard; esistono in commercio elementi frangisole fotovoltaici già assemblati, di tipo mobile e fisso.

Molto usate sono le soluzioni che adottano frangisole con inseriti moduli fotovoltaici in film sottile semitrasparente, progettati per consentire un parziale passaggio della luce e garantire la visibilità verso l'esterno.

In diverse occasioni vengono impiegati moduli in vetro-vetro con celle distanziate in modo da graduare la luce in ingresso e scegliere il tipo di schermatura ideale per l'ambiente che deve essere ombreggiato.



Fig 4.33– Frangisole fotovoltaici trasparenti

I moduli fotovoltaici possono essere usati direttamente come protezione solare; molto diffusa è la loro integrazione nei sistemi frangisole la cui struttura è indipendente dal fabbricato e può essere montata senza difficoltà anche su edifici già esistenti.

In genere il modulo captante può essere installato alla struttura attraverso sistemi di fissaggio meccanico; nel caso di frangisole fisso, la struttura mantiene un'inclinazione costante con conseguente riduzione della produttività del fotovoltaico e della flessibilità di utilizzo della schermatura.

Il frangisole fisso, rispetto alle soluzioni con inclinazioni mobili, risulta più economico, di facile installazione e privo di particolare di manutenzione.



Fig 4.34– Frangisole fotovoltaici a lamelle fisse

Se muniti di un sistema automatizzato o non di movimento, frangisole fotovoltaici possono incrementare la loro efficienza elettrica e le loro prestazioni bioclimatiche.

Questi sistemi offrono la possibilità di posizionamento accurato. Infatti, nel caso di sistemi automatizzati, funzionando come veri e propri piccoli inseguitori solari.



Fig 4.35– Frangisole fotovoltaici con lamelle orientabili

Nel caso di luminosità eccessiva e condizioni meteorologiche buone, questi sistemi possono ridurre la quantità della luce filtrante, diminuendo anche quella di energia per il condizionamento.

I sistemi usati per la movimentazione possono essere meccanici, elettrici o oleodinamici, a loro volta la regolazione può essere azionata manualmente o regolata automaticamente grazie a sistemi di rilevamento della posizione solare che forniscono all'impianto le informazioni su altezza ed intensità del sole.

I limiti più rilevanti di questi sistemi rispetto a quelli fissi sono: l'incremento di costi dovuti ai meccanismi, la maggiore difficoltà nell'installazione e la necessità di maggiori interventi di manutenzione.

Un sistema ancora non molto diffuso in edilizia per integrare il fotovoltaico è quello di installare i moduli come **rivestimento** dell'edificio.

I pannelli captanti possono essere usati in sostituzione di lastre di rivestimento in pietra naturale, al posto di pannelli metallici o di qualsiasi altro materiale per esterni.

I moduli sono avvitati alla sottostruttura realizzata per il sostegno del rivestimento, a questi pannelli è richiesta la stessa resistenza meccanica dei materiali usati tradizionalmente.

Ovviamente questo tipo di intervento che interessa le facciate rivolte a sud, presuppone la presenza di una superficie libera da aperture o finestre; questa possibilità consente un alto grado di integrazione

architettonica e può, inoltre, essere praticata su interventi di nuova costruzione o ristrutturazione.

E' possibile integrare i moduli complanari al rivestimento esistente, in questo caso, le dimensioni e le specifiche tecniche dei pannelli devono essere uguali a quelle dei materiali esistenti.

In queste integrazioni è necessario: lasciare un'intercapedine per aerare i moduli ed evitare accumuli termici, prevedere il cablaggio e la sistemazione dei dispositivi elettrici, garantire un complanarità tra i materiali in facciata.

In alcuni casi vengono integrati pannelli su pareti inclinate esterne, se l'orientamento e l'inclinazione è ottimale, il rendimento dell'impianto risulta molto alto. Particolare attenzione in questo tipo di intervento è data dalla scelta cromatica delle celle in relazione ai materiali preesistenti.

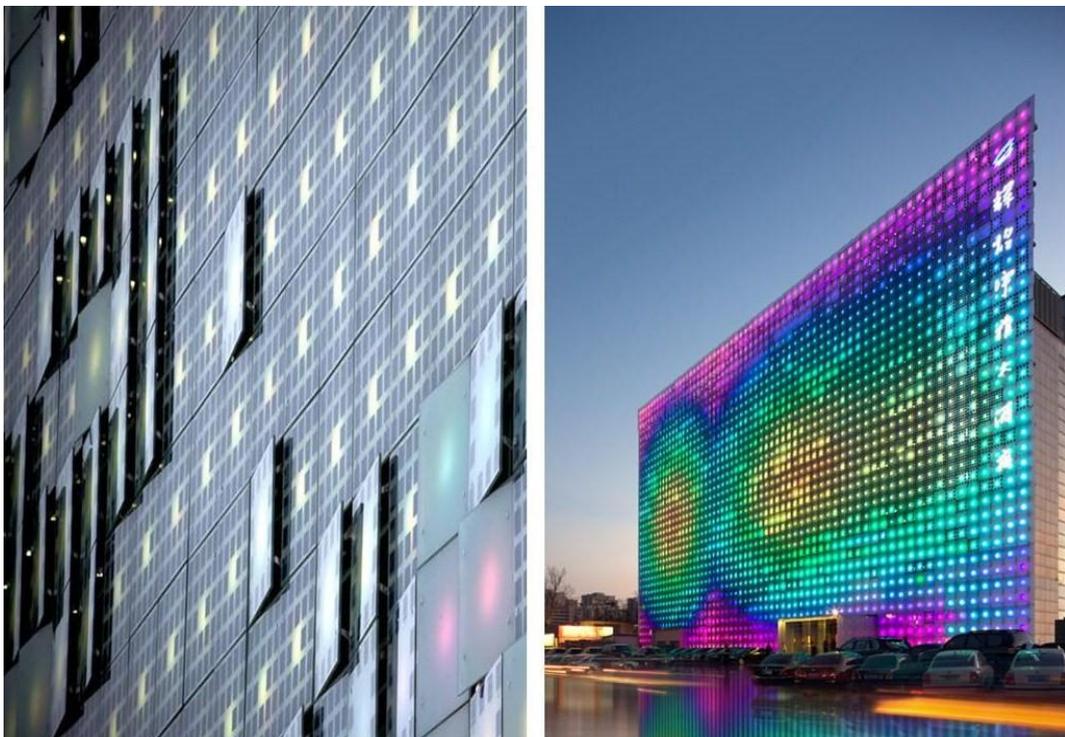


Fig 4.36– Simone Giostra, Xicui Entertainment Center, Pechino, 2008.

I captatori fotovoltaici possono essere inseriti anche su quelli che vengono definiti **elementi accessori** in quanto aggiunti alla struttura ed indipendenti da essa.

Questo tipo di operazione si presta in modo ottimale per interventi di retrofit.

Un aspetto interessante delle facciate contenenti componenti fotovoltaici è la loro flessibilità tecnologica, infatti, i captatori inseriti in componenti aggiuntivi non richiedono spazi addizionali e riducono così anche il costo.

Tra le superfici utilizzabili per i moduli fotovoltaici, come accennato, ci sono parapetti e balconi.

L'inserimento dei captatori su una balaustra può essere attuato in soluzioni diverse, come impiegare un modulo fotovoltaico semitrasparente con doppio vetro o un modulo opaco che non permetta di vedere dal fuori al dentro; in genere l'elemento fotovoltaico è incassato direttamente nella balaustra.

Sempre più frequentemente vengono impiegate fioriere per l'integrazione di captatori, usate così per delimitare e proteggere balconate; di solito si tratta di elementi in conglomerato cementizio o prefabbricati di materiali resistenti alle intemperie.

Le aziende produttrici predispongono questi elementi, in gran parte dei casi, per essere cablati all'interno della struttura, prestando attenzione a renderla ispezionabile e protetta dall'umidità.

I moduli impiegati sulle fioriere spesso sono dotati di un sistema di ventilazione per aumentarne

l'efficienza, l'unica attenzione va rivolta al garantire che la vegetazione contenuta non copra i pannelli.



Fig 4.37– Captatori fotovoltaici inseriti nei parapetti

In molti progetti, i captatori fotovoltaici vengono inseriti in strutture aggiuntive costituendo così delle **pensiline** o **tettoie**.

I moduli sono sostenuti da strutture esterne all'edificio e spesso con fondazioni indipendenti.

Questa tipologia rappresenta un potenziale molto elevato per l'installazione di questi sistemi anche all'esterno degli edifici.

Per queste integrazioni vengono impiegati moduli opachi o trasparenti, in genere per i moduli semitrasparenti vengono adottate delle soluzioni senza cornice , ancorandoli direttamente alla struttura principale.

Nei casi in cui le pensiline svolgono funzione di riparo da precipitazioni atmosferiche, viene posta particolare attenzione alle giunzioni, che non devono essere permeabili all'acqua, spesso vengono anche inseriti sistemi di scolo.



Fig 4.38– Due esempi di inserimento di pensiline fotovoltaiche

4.4 I moduli fotovoltaici

I moduli sono gli elementi base costitutivi di un impianto, essi sono composti da numerose celle collegate tra loro, generalmente di forma quadrata, con il lato variabile da 10 a 15 cm. ed uno spessore compreso tra 0,25 e 0,35 mm.

Le celle, come già descritto, possono essere in silicio cristallino o in silicio amorfo spruzzato su vari supporti; esse vengono collegate in serie o in parallelo, ottenendo così differenti valori di corrente e tensione in base all'utilizzo. Generalmente nei moduli standard la superficie captante viene incapsulata in una lastra di vetro o di plastica con un procedimento di laminazione a caldo.

Un modulo tipo può essere composto da 36 celle ed avere una superficie di 0,5 mq, con una potenza di picco che varia tra 50 ed 80 Wp.

La cella singola ha un rendimento di 15-18%, ma dopo l'assemblaggio, raggiunge il 10-13% a causa delle ombre portate dal modulo sulla sua superficie.

Per raggiungere livelli di tensione elettrica adatta alla connessione con gli inverter è necessario connettere in serie i moduli, in questo modo si ottengono le stringhe; il numero di moduli connessi in serie viene determinato dalle caratteristiche dell'inverter collegato alla stringa.

I **moduli in silicio amorfo** sono più economici di quelli in silicio cristallino, ma hanno rendimenti più

bassi, soggetti a calare più rapidamente degli altri a causa dei tempi di usura e degrado inferiori.

Essi sono costituiti da un supporto in vetro o plastica rivestito da silicio amorfo su un lato e coperti da un materiale trasparente per renderli impermeabili ed isolati elettricamente.

Questi moduli possono essere contornati da una cornice in alluminio, i sistemi di fissaggio sono sulla parte posteriore del pezzo; essi vengono generalmente fissati sulle superfici con profili di alluminio montati in facciata o in copertura.

Ogni modulo produce fino a 50 Volt, i rendimenti oscillano tra il 6 ed il 10%, dopo i primi periodi di utilizzo sono soggetti a cali, in generale il calo di rendimento di un prodotto garantito non deve superare il 20% in 20 anni.

Da un punto di vista ecologico questo tipo di pannello è ottimo. Per la sua realizzazione occorre poca energia ed è in grado alla fine del suo ciclo vitale di produrre 10/12 volte la quantità di energia impiegata per la sua costruzione.

Lo svantaggio più evidente è il basso rendimento che rende necessaria l'installazione di un gran numero di moduli rispetto a quelli con celle cristalline, occupando una superficie maggiore.

I vantaggi, come accennato, sono ecologici ed economici. Il costo per ogni Watt prodotto da questa tecnologia è infatti il 25/40% inferiore a quelli prodotti con le altre tipologie di pannelli.

Inoltre questo tipo di tecnologia funziona meglio delle altre in condizioni di nuvolosità, ombreggiamento e momenti di basso irraggiamento.



Fig 4.39– Pannello fotovoltaico in silicio amorfo SCHUCO

I **pannelli in silicio cristallino** si dividono in: monocristallini, con un rendimento compreso tra il 13 ed il 17% e multicristallini con un rendimento compreso tra il 12 ed il 14%.

Considerando l'intero periodo di vita, questi pannelli hanno un rendimento doppio o triplo dei prodotti in silicio amorfo; il tempo che questi impiegano per restituire l'energia utilizzata per la loro produzione è di 2/3 anni, il loro rendimento è destinato a rimanere costante per almeno 25 anni vita.

Un difetto riguarda la diminuzione della loro produttività in caso di ombre che oscurano anche solo parte del pannello o in caso di condizioni di scarso irraggiamento; ovviamente, a parità di produzione di energia, necessitano meno spazio dei pannelli in silicio amorfo.

I moduli di silicio cristallino nascono per uso civile, le celle vengono coperte da un vetro di protezione ad alta trasparenza con basso contenuto ferroso, esso è studiato per garantire un'alta resistenza meccanica (compresa la capacità di reggere al calpestamento).

Tra vetro e cella viene disposto uno strato di vinilacetato di etilene (EVA), che permette di isolare elettricamente queste ed evitare spazi vuoti tra silicio e superficie vetrata.

Le celle sono disposte a matrice, sotto di esse viene messo uno strato di EVA e sotto ancora, in genere, uno strato di tedlar, materiale resistente che può essere opaco o trasparente per far filtrare la luce.

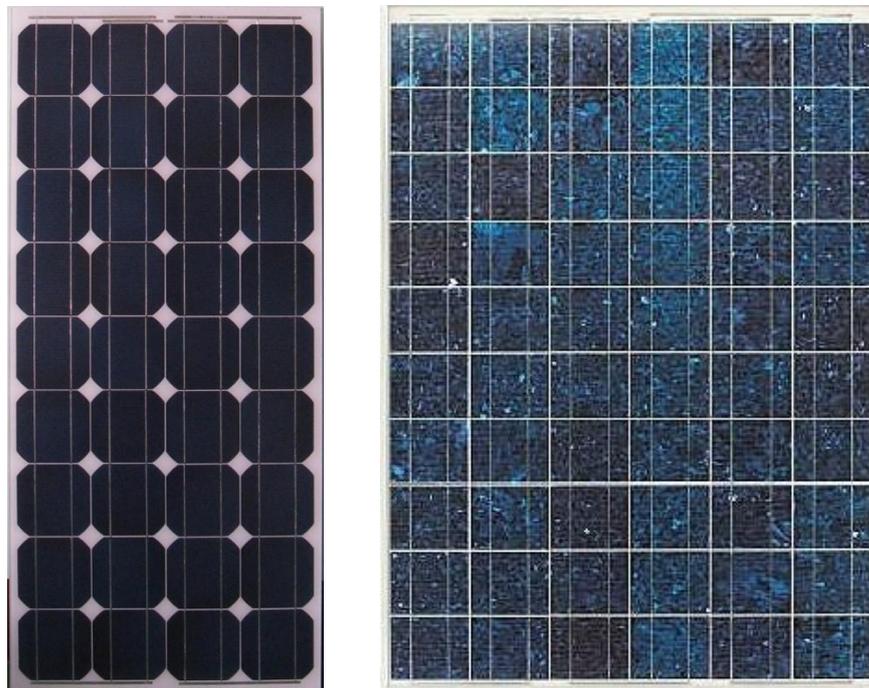


Fig 4.40– Pannelli in silicio monocristallino e policristallino BP SOLAR

Sempre per ottenere un modulo trasparente, è possibile trovare moduli che, a posto del secondo strato tedlar, hanno una lastra di vetro; un'ulteriore variante di questi moduli è costituita dai pannelli in vetro-camera, nei quali viene inserita un'altra lastra di vetro per garantire una trasmittenza termica sufficientemente bassa.

Altra caratteristica dei moduli commerciali standard è la cornice di alluminio che viene posta per protezione e per facilitarne il montaggio; nei moduli a doppio vetro (moduli frameless), di solito, si preferisce non mettere questo componente.

Un'alternativa recente alle classiche celle fotovoltaiche è la tecnologia a **film sottile o thin film**.

I captatori di questo tipo sono realizzati spruzzando su supporti di vario tipo, anche flessibili, una pellicola di materiali conduttori e silicio amorfo. Questa miscela ha uno spessore ridottissimo (5/10 micron) e non conferisce rigidità al modulo.

I materiali conduttori impiegati possono essere: tellurio di cadmio, arseniuro di gallio e diseleniuro di rame ed iridio.

Molto diffusi in questa categoria di captatori sono i moduli a film sottile CIGS (rame + indio + gallio + selenio); si realizzano, su ampie superfici ed in un unico passaggio, strati di pochi micron, ma estremamente omogenei.

Il costo di produzione di questi moduli è circa un terzo di quello dei moduli in silicio cristallino.

A parità di resa elettrica, il periodo in cui producono l'energia necessaria alla loro costruzione è di soli pochi mesi.

Il maggiore svantaggio di questa tecnologia è il basso rendimento, circa il 6%, per cui, rispetto agli altri pannelli, quelli in film sottile, necessitano di maggiori superfici.

Le sue qualità tecniche ed estetiche rendono questa soluzione molto richiesta dai progettisti; infatti è possibile scegliere film sottili trasparenti, semitrasparenti ed opachi; questi vengono impiegati per oscurare vetrate poco soleggiate, ombreggiare verande, rivestire facciate e coperture o elementi più piccoli quali balaustre.



Fig 4.41– Pannelli in film sottile SOLARA

La selezione dei moduli fotovoltaici influisce sul carattere architettonico dell'intervento e quindi sull'aspetto dell'intero edificio; essi sono l'elemento più riconoscibile dall'esterno dell'impianto fotovoltaico.

La forma, il colore, la struttura delle celle costituiscono i più importanti parametri estetici dei captatori; il bilancio tra la qualità e la quantità del vetro e delle celle utilizzate in un modulo fa parte del progetto ed è rilevante per l'intero edificio.

Queste caratteristiche possono essere impiegate come elementi decorativi ma anche funzionali; variando la posizione delle celle si possono ottenere differenti colori, effetti di brillantezza, riflessione e trasparenza.

Nei paesi dove il fotovoltaico è in forte crescita, come Giappone, USA e Germania, sono sempre più diffuse figure professionali di architetti e designer che si occupano prettamente della progettazione di moduli captanti per l'integrazione edilizia e di sistemi per la loro applicazione.

Sempre di più sono gli studi tecnici che lavorano nei sistemi solari attivi applicati all'architettura; ciò richiede un approccio multidisciplinare: le conoscenze impiantistiche, la scienza delle costruzioni, la fisica e la tecnologia degli edifici.

Con il diffondersi del fotovoltaico, si è iniziato anche a studiare e valutare l'impatto ambientale dei pannelli solari; sostanzialmente esso è determinato da tre aspetti: la produzione, lo smaltimento dei

componenti al termine dell'utilizzo e l'impatto sul paesaggio.

Per quanto riguarda la produzione, i processi costruttivi impiegano sostanze tossiche ed esplosive che ovviamente necessitano di sistemi di sicurezza poiché, in caso di guasto, il danno ambientale, anche se localizzato, può essere molto rilevante.

In particolare per la produzione di pannelli in film sottile vengono impiegate sostanze altamente tossiche come il cadmio o il seleniuro d'idrogeno.

Al termine del ciclo di vita del prodotto (circa 25 anni), i pannelli costituiscono un rifiuto speciale da trattare in quanto sono presenti sostanze tossiche come: rame, piombo, gallio, cadmio e tellurio. Il recupero e la separazione di dette sostanze non è facile in quanto necessitano di trattamenti speciali.

Vista la grande diffusione di pannelli, i grandi produttori, uniti con i centri di ricerca, stanno mettendo appunto soluzioni a questi problemi per recuperare e rigenerare i metalli necessari per le nuove produzioni.

4.4.1 Schede di prodotti

Nelle pagine a seguire sono state riportate delle schede di alcuni captatori fotovoltaici presi tra la moltitudine di prodotti disponibili sul mercato. La loro funzione è quella di fornire degli esempi indicativi di soluzioni impiegate per l'integrazione di sistemi in edilizia.

	DISTRIBUTORE:
	SAIN GOBAIN GLASS SOLAR
	MODELLO:
	SGG PROSOL
	TIPO:
	SILICIO POLICRISTALLINO
	DIMENSIONI (MM):
DA 300 X 300 A 2000 X 3210	
CARATTERISTICHE:	
16% EFFICIENZA	

	DISTRIBUTORE:
	SCHUCO INTERNATIONAL KG
	MODELLO:
	MS05 170/180W
	TIPO:
	SILICIO MONOCRISTALLINO
	DIMENSIONI (MM):
1350 X 940 X 42	
CARATTERISTICHE:	
13% EFFICIENZA	

	DISTRIBUTORE:
	SCHUCO INTERNATIONAL KG
	MODELLO:
	MPE AL 01
	TIPO:
	FILM SOTTILE VETRATO
	DIMENSIONI (MM):
1300 X 1100 X 31	
CARATTERISTICHE:	
6,3% EFFICIENZA	

	<p>DISTRIBUTORE: SOLARWORLD AG</p> <p>MODELLO: SW 225-240 MONO IT</p> <p>TIPO: SILICIO MONOCRISTALLINO</p> <p>DIMENSIONI (MM): 1675 X 1001 X 34</p> <p>CARATTERISTICHE: 13,2% EFFICIENZA</p>
	<p>DISTRIBUTORE: ET SOLAR</p> <p>MODELLO: ET-M53605</p> <p>TIPO: SILICIO MONOCRISTALLINO</p> <p>DIMENSIONI (MM): 176 X 401 X 34</p> <p>CARATTERISTICHE: 11% EFFICIENZA</p>
	<p>DISTRIBUTORE: SOLARA</p> <p>MODELLO: 288 MEMBRANA TF PROF.</p> <p>TIPO: FILM SOTTILE - GUAINA</p> <p>DIMENSIONI (MM): 590 X 1050</p> <p>CARATTERISTICHE: 5,3% EFFICIENZA</p>
	<p>DISTRIBUTORE: REM ENERGIES</p> <p>MODELLO: TECHTILE ENERGY</p> <p>TIPO: SILICIO POLICRISTALLINO</p> <p>DIMENSIONI (MQ): 0,072 CAPTATORE</p> <p>CARATTERISTICHE: 3 kWp</p>

	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>DISTRIBUTORE:</td> </tr> <tr> <td>PHOTO-SOLAR SRL</td> </tr> <tr> <td>MODELLO:</td> </tr> <tr> <td>MSK TRASPARENTE</td> </tr> <tr> <td>TIPO:</td> </tr> <tr> <td>SILICIO AMORFO</td> </tr> <tr> <td>DIMENSIONI (MM):</td> </tr> <tr> <td>980 X 950 X 5</td> </tr> <tr> <td>CARATTERISTICHE:</td> </tr> <tr> <td>6% EFFICIENZA</td> </tr> </tbody> </table>	DISTRIBUTORE:	PHOTO-SOLAR SRL	MODELLO:	MSK TRASPARENTE	TIPO:	SILICIO AMORFO	DIMENSIONI (MM):	980 X 950 X 5	CARATTERISTICHE:	6% EFFICIENZA
DISTRIBUTORE:											
PHOTO-SOLAR SRL											
MODELLO:											
MSK TRASPARENTE											
TIPO:											
SILICIO AMORFO											
DIMENSIONI (MM):											
980 X 950 X 5											
CARATTERISTICHE:											
6% EFFICIENZA											
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>DISTRIBUTORE:</td> </tr> <tr> <td>SE PROJECT</td> </tr> <tr> <td>MODELLO:</td> </tr> <tr> <td>SEM 160 S</td> </tr> <tr> <td>TIPO:</td> </tr> <tr> <td>SILICIO MONO. VETRO/TEDLAR</td> </tr> <tr> <td>DIMENSIONI (MM):</td> </tr> <tr> <td>760 X 1520 X 31</td> </tr> <tr> <td>CARATTERISTICHE:</td> </tr> <tr> <td>12,9% EFFICIENZA</td> </tr> </tbody> </table>	DISTRIBUTORE:	SE PROJECT	MODELLO:	SEM 160 S	TIPO:	SILICIO MONO. VETRO/TEDLAR	DIMENSIONI (MM):	760 X 1520 X 31	CARATTERISTICHE:	12,9% EFFICIENZA
DISTRIBUTORE:											
SE PROJECT											
MODELLO:											
SEM 160 S											
TIPO:											
SILICIO MONO. VETRO/TEDLAR											
DIMENSIONI (MM):											
760 X 1520 X 31											
CARATTERISTICHE:											
12,9% EFFICIENZA											
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>DISTRIBUTORE:</td> </tr> <tr> <td>UNISOLAR</td> </tr> <tr> <td>MODELLO:</td> </tr> <tr> <td>POWERBOND PWL 144</td> </tr> <tr> <td>TIPO:</td> </tr> <tr> <td>FILM SOTTILE</td> </tr> <tr> <td>DIMENSIONI (MM):</td> </tr> <tr> <td>5486 X 394 X 4</td> </tr> <tr> <td>CARATTERISTICHE:</td> </tr> <tr> <td>5,9% EFFICIENZA</td> </tr> </tbody> </table>	DISTRIBUTORE:	UNISOLAR	MODELLO:	POWERBOND PWL 144	TIPO:	FILM SOTTILE	DIMENSIONI (MM):	5486 X 394 X 4	CARATTERISTICHE:	5,9% EFFICIENZA
DISTRIBUTORE:											
UNISOLAR											
MODELLO:											
POWERBOND PWL 144											
TIPO:											
FILM SOTTILE											
DIMENSIONI (MM):											
5486 X 394 X 4											
CARATTERISTICHE:											
5,9% EFFICIENZA											

CAPITOLO QUINTO

IMPIANTI SOLARI TERMICI

CAPITOLO 5

IMPIANTI SOLARI TERMICI

La tecnologia degli impianti solari termici iniziò a svilupparsi a partire dal XVII secolo con lo scienziato svizzero Horace Benedict de Sussure; fino al secolo scorso questa tecnologia si è perfezionata passo passo, per mano di diversi studiosi, che ne hanno studiato l'impiego nei più disparati campi. Dagli anni 20 iniziò a prender piede nelle regioni più assolate degli USA ed è' agli inizi degli anni '50 che gli scaldacqua solari videro una grande diffusione anche in Europa per le applicazioni domestiche; successivamente negli anni '70 la crisi petrolifera diede un forte impulso a questa tecnologia.

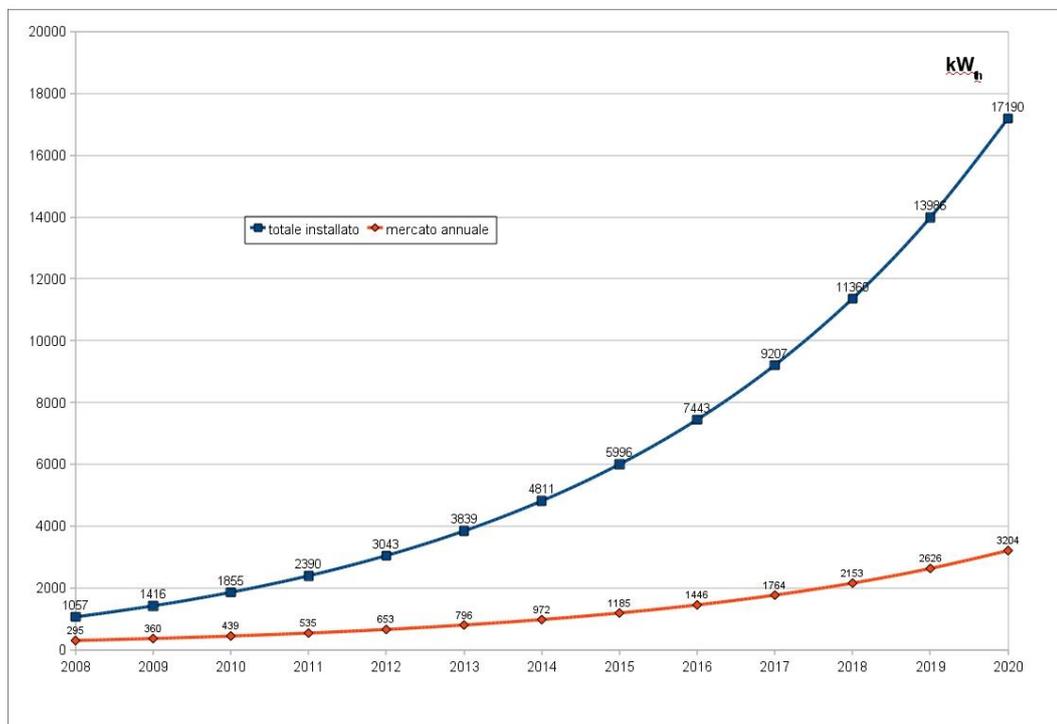


Fig. 5.1 – previsioni per la diffusione del solare termico – Fonte: EUROSTAT

Oggi questi impianti hanno raggiunto un grado di sviluppo tecnologico che ha reso possibile una diffusione capillare su tutto il pianeta; le varianti di questi sistemi ne rendono possibile l'impiego per gli usi più diversi, dal riscaldamento dell'acqua, al riscaldamento e raffreddamento dell'aria all'interno degli edifici.

L'uso del solare termico ha preso piede soprattutto nell'ambito dell'integrazione architettonica dei sistemi ad energie rinnovabili, prevalentemente per usi domestici di singoli nuclei familiari; nei paesi in cui la ricerca è più avanzata, come la Germania o gli USA, il solare termico è in fase di sperimentazione su impianti termici centralizzati che servono un elevato numero di utenze.



Fig. 5.2 –Centrale termica Sierra Sun Tower - California

Nel nord Europa, dove, per il clima più rigido, il fabbisogno di energia per scaldare gli ambienti è maggiore, numerose installazioni sono state fatte integrando impianti solari termici di dimensioni rilevanti negli edifici pubblici come le scuole, con interventi di retrofit energetico.

L'integrazione architettonica dei captatori solari termici, per classificazione degli interventi, per l'enorme quantità di prodotti e per la configurazione di alcuni componenti (pannelli) è paragonabile a quella dei sistemi fotovoltaici. Infatti queste due tecnologie sono spesso confuse o considerate come una sola in modo approssimativo. Pur partendo entrambe dall'energia irradiata dal sole, il solare termico si distingue per l'impiego diretto dell'energia termica.

5.1 L'impianto solare termico

L'impianto solare termico è in grado di trasformare in modo diretto l'energia irradiata dal sole in calore; quest'ultimo può essere utilizzato negli usi domestici, nei processi industriali, nell'agricoltura o per produrre energia elettrica.

L'impiego di questi sistemi comporta un notevole risparmio economico derivante dalla riduzione dell'uso di combustibili e dalla riduzione di emissioni di anidride carbonica. Molto spesso, i captatori di questi impianti, quando inseriti in un progetto di retrofitting o ristrutturazione che ne tenga conto, svolgono funzioni aggiuntive come schermature solari, coperture o isolamento termico nei casi di integrazione in facciata o copertura.

Gli impianti solari termici possono essere classificati in base allo stato del fluido termovettore e alla sua temperatura. Essi si distinguono in: impianti a gas, impianti a liquido, impianti a basse temperature (fino a 120°C), impianti a medie temperature (500°C), impianti ad alte temperature (1000°C).

Le tipologie più diffuse di impianto sono quelle a bassa - media temperatura, mentre quelli ad alta temperatura sono impiegati in ambito industriale per la produzione di vapore, per azionare le macchine o per la generazione di energia elettrica nei grandi impianti.

Gli impianti a gas, ovvero ad aria, funzionano con gli stessi principi di quelli a liquido; l'unica differenza sta nelle dimensioni dei condotti, molto più

grandi negli impianti a gas, perché l'aria scambia calore con più difficoltà rispetto all'acqua.

Ciò comporta, oltre l'impiego di una portata di aria molto maggiore, l'installazione di un percorso dei condotti molto più tortuoso e lungo per aumentare il tempo di permanenza del vettore gassoso e quindi favorire uno scambio maggiore di calore. Questo, oltre a problemi logistici, porta a notevoli dispendi di energia e perdite di carico.

Gli impianti ad aria vengono impiegati prevalentemente per la climatizzazione ed il trattamento dell'aria negli edifici, mentre in ambito industriale per i processi di essiccazione di prodotti.

Questa tipologia di impianti è particolarmente in uso in aree molto fredde, dove l'impiego di impianti con fluido termovettore necessiterebbe di aggiungere abbondanti quantità di soluzioni anticongelanti che, a lungo andare corroderebbero l'impianto stesso.

La produttività di un impianto solare di piccola taglia (la superficie richiesta in Italia, secondo la latitudine del sito, è compresa tra 0,5 mq e 1,2 mq per persona, mentre per il volume del serbatoio di accumulo si considerano i 70 litri per mq di superficie captante) consente di ottenere mediamente una copertura del fabbisogno di circa il 70% annuo. Il restante 30% deve essere fornito tramite un impianto di riscaldamento ausiliario di tipo tradizionale; ovviamente l'apporto di energia che la normale caldaia dovrà fornire è proporzionale alla temperatura che si desidera per riscaldare l'acqua.

5.1.1 Funzionamento e componenti dell'impianto

Il sistema captante dell'impianto, ossia i collettori solari, convertono la radiazione solare in energia termica, ovvero la radiazione elettromagnetica ad onde corte, che penetra al suo interno attraverso la copertura trasparente dei componenti captanti interni, spesso, nel caso di pannelli costituiti da vere e proprie piastre metalliche, assorbono i raggi solari incidenti e li convertono in calore.

Questo componente trasferisce il calore assorbito ad un sistema di canali contenenti il fluido (o gas) termoconvettore che assorbe il calore e, quando ad esempio abbiamo un sistema a doppio circuito, lo trasferisce attraverso uno scambiatore di calore ad un secondo fluido contenuto in un serbatoio d'accumulo.

Dopo aver ceduto il calore, il fluido termovettore raffreddato ritorna al collettore attraverso il circuito idraulico di ritorno, mentre l'acqua ad uso sanitario, una volta riscaldata, si dispone sul serbatoio d'accumulo, stratificandosi secondo densità e temperatura: quella riscaldata va nella parte superiore da dove viene richiamata ad uso dell'utenza finale, mentre quella più fredda si trova sul fondo del serbatoio, dov'è previsto l'ingresso per l'acqua in rete.

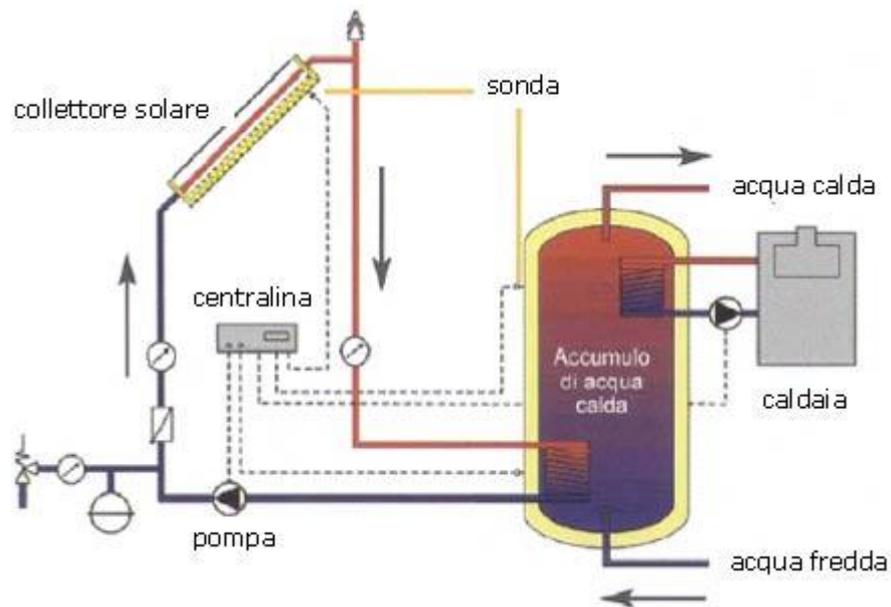


Fig. 5.3 – Schema di un sistema solare termico

Lo schema di un impianto solare termico può essere suddiviso in due circuiti: quello primario e quello secondario.

Il **circuito primario**, ha come scopo quello di captare l'energia derivante dal sole, convertirla in calore, trasferirla al fluido termoconvettore e trasportarla direttamente al serbatoio d'accumulo o ad uno scambiatore di calore.

Il **circuito secondario** invece, trasporta il calore dal serbatoio d'accumulo alle utenze finali.

Gli impianti solari termici essenzialmente vengono classificati secondo due criteri in quattro categorie, secondo la logica di seguito riportata.

- **Sistemi a circuito aperto o chiuso:** nel primo caso, l'acqua potabile che raggiungerà l'utenza, passa direttamente all'interno dei collettori solari e

viene raccolta nel serbatoio d'accumulo. Nel secondo caso, il sistema è scomponibile in circuito primario che capta l'energia dal sole e scorre nei collettori e circuito secondario che riceve il calore dal circuito primario per poi essere utilizzato dall'utente dell'impianto per i vari scopi.

- **Sistemi a circolazione naturale o forzata:** nel primo caso, i sistemi, anche detti a termosifone, non hanno bisogno dell'ausilio di sistemi di regolazione e di pompe di circolazione grazie al particolare posizionamento di serbatoio e collettore; nel secondo caso, invece, la movimentazione del fluido deve essere regolata da apparati esterni e supportata da una pompa.

Di seguito sono elencate e descritte le principali componenti di un sistema solare termico presenti in qualsiasi tipo di sistema.

- I **collettori solari** hanno il compito di convertire la luce in calore e trasferire questo calore al sistema a valle cercando di ridurre al minimo le perdite termiche. Esistono numerose tipologie di collettori solari sul mercato, con prestazioni variabili a seconda del tipo di applicazione. Ai fini del calcolo della efficienza energetica non è la superficie del collettore che si rivela decisiva quanto quella del materiale captante al suo interno.

I captatori solari termici possono essere a **pannello piano** (tipologia che verrà trattata in maniera specifica in un paragrafo successivo), molto impiegati nell'ambito dell'integrazione architettonica, costituiti da **singoli collettori**

solari generalmente di forma cilindrica allungata. Esistono e si sono diffusi rapidamente in tempi recenti captatori che uniscono la tecnologia fotovoltaica a quella solare termica: i **sistemi fotovoltaici con recupero di calore** possono utilizzare, come fluido termoconvettore, acqua o gas; le celle sono poste posteriormente a contatto con una piastra captante raffreddata ad acqua che viene riscaldata ed utilizzata dall'utente; inoltre si ha il vantaggio che le celle fotovoltaiche raffreddate hanno una maggiore efficienza.

Particolarmente diffusi, per manufatti abitativi e strutture provvisorie o mobili, sono i **collettori solari piani ad accumulo integrato**. La piastra captante è costituita da tubi di grosso diametro neri, nei quali circola la stessa acqua che viene poi utilizzata dall'utenza finale.

In genere i collettori sono **vetrati**, il vetro copre la piastra captante e ne impedisce la dispersione termica favorendone il riscaldamento. Esistono tuttavia collettori **non vetrati** costituiti dalla sola piastra captante in polipropilene (soluzione spesso usata per il riscaldamento delle piscine); altri collettori di questo tipo sono costituiti da una piastra metallica trattata, impiegata per preriscaldare l'acqua per usi domestici. In genere nei collettori vetrati, siano essi composti da singoli tubi o a pannello piano, viene praticato il **vuoto** tra la piastra captante e il vetro per ridurre la dispersione di calore. I tubi di questo tipo vengono definiti **tubi evacuati**, un collettore a tubi evacuati è costituito da una sequenza di tubi

collegati tra loro in parallelo grazie a un condotto di raccordo dove scorre il fluido termovettore.

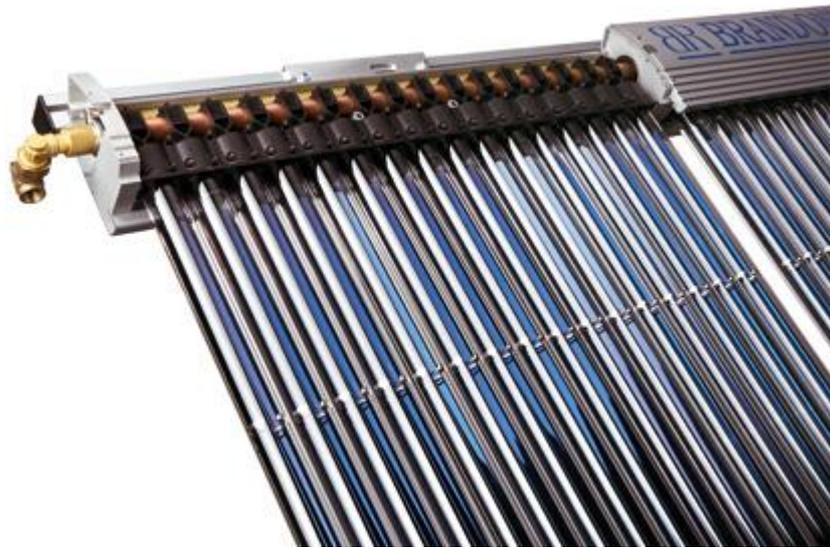


Fig. 5.5 – Collettore a tubi evaquati

I tubi evacuati con **circolazione diretta del fluido**, in cui il fluido scorre all'interno, sono di due tipi: il primo è costituito da due tubi coassiali ed il fluido scorre dal cilindro interno a quello esterno; il secondo prevede un tubicino che percorre longitudinalmente il cilindro metallico che funge da piastra captante.

Ci sono poi i **collettori sottovuoto a tubi di calore**, in questo tipo di dispositivi il fluido riscaldato per irraggiamento, dapprima vaporizza, poi condensa nuovamente in corrispondenza di un condensatore dove rilascia energia termica precedentemente assorbita.

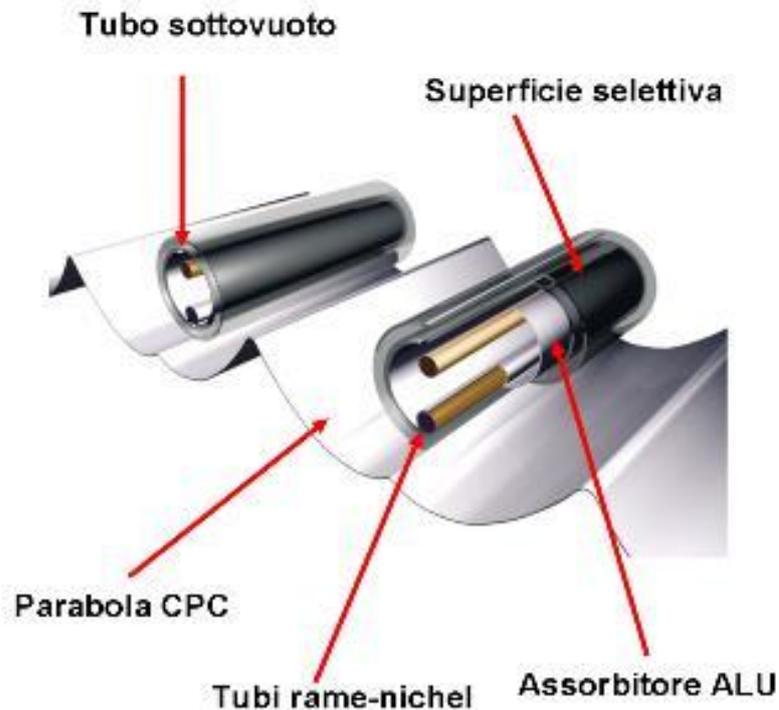


Fig. 5.6 – Costituzione di un tubo di calore

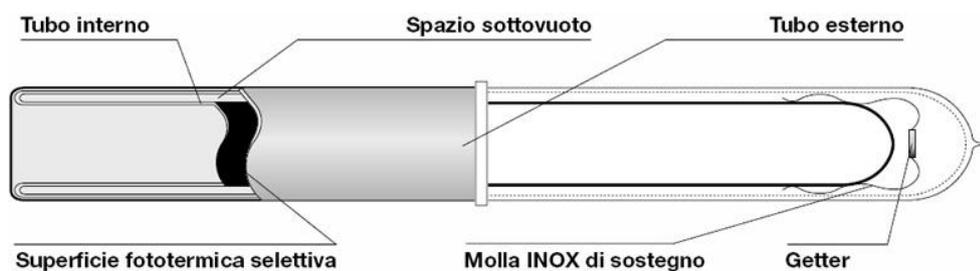


Fig. 5.7 – Costituzione di un tubo a circolazione diretta

- Il **serbatoio di accumulo**, nei sistemi solari termici, serve per immagazzinare il calore e renderlo disponibile quando serve poiché la radiazione solare è discontinua ed aleatoria. Nel nord Europa, nei paesi con un clima particolarmente rigido, vengono

impiegati, specie per grandi impianti su edifici pubblici, serbatoi d'accumulo stagionali; tuttavia i sistemi più usati consentono di immagazzinare il calore per 1 o 2 giorni.

I serbatoi vengono pressurizzati e realizzati in acciaio inox, in acciaio smaltato o in acciaio rivestito in plastica per prevenire i danni dell'eventuale corrosione sul lungo periodo d'impiego. Normalmente i serbatoi d'accumulo per uso sanitario contengono due scambiatori di calore: uno consente lo scambio termico tra il fluido termoconvettore ed il fluido contenuto nel serbatoio, l'altro è un sistema per lo scambio termico tra un impianto integrativo (come una caldaia) ed il fluido presente nel serbatoio. Nel serbatoio l'acqua si dispone, secondo la sua temperatura, in strati, per evitare il mescolarsi di acqua calda (che si dispone verso l'alto da dove viene richiamata per gli usi) e l'acqua fredda (disposta sul basso da dove viene immessa nel serbatoio). La forma di questi dispositivi è generalmente cilindrica ed allungata, il serbatoio è inoltre provvisto di uno strato isolante che consente di ridurre al minimo la dispersione del calore.

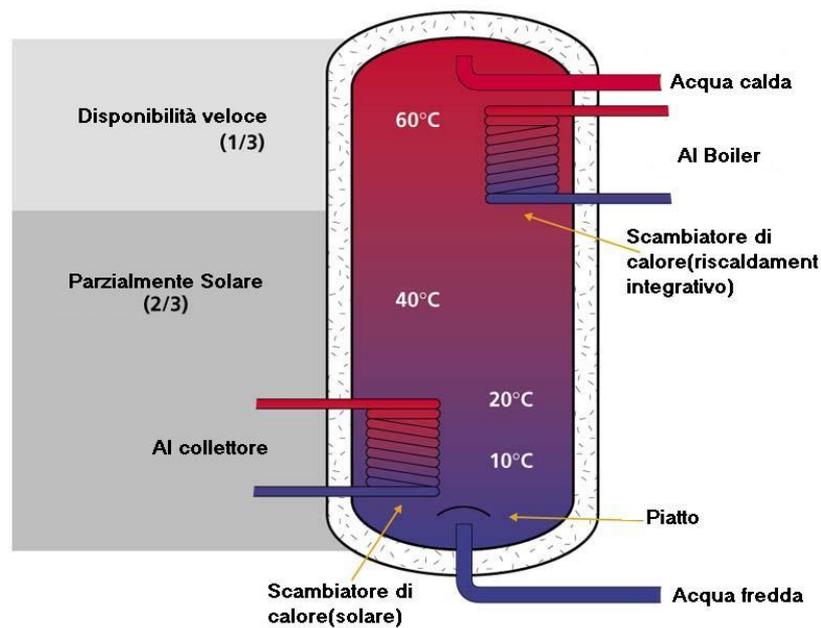


Fig. 5.7 – Schema di un serbatoio d'accumulo

Per poter estrarre l'acqua alla temperatura desiderata senza dover aspettare il riscaldamento dell'intero volume di fluido, sono stati commercializzati **serbatoi a stratificazione**; questi, tramite particolari dispositivi di autoregolamentazione, consentono di introdurre l'acqua all'altezza dello strato che ha lo stessa temperatura del fluido in ingresso.

Il serbatoio d'accumulo è, dunque, un dispositivo che al suo interno contiene diversi componenti per la misura della pressione, del volume, della temperatura e dei sistemi a pompaggio controllati da centraline elettroniche per immettere e prelevare acqua.

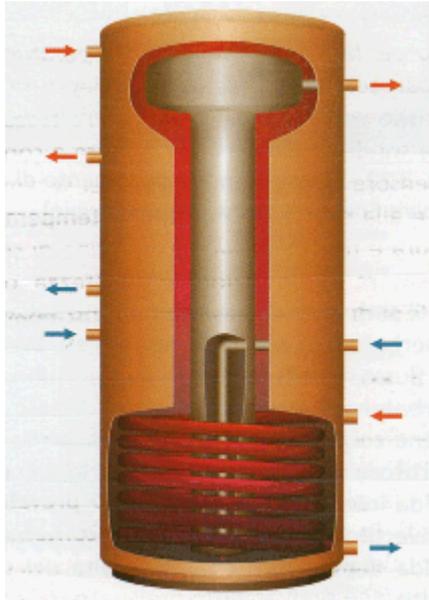


Fig. 5.8 – Serbatoio di stratificazioni

- Il **circuito solare** collega il serbatoio d'accumulo al collettore solare ed è composto da diversi componenti elencati e descritti di seguito:

Le **condutture** sono i circuiti di collegamento tra le varie parti, generalmente sono in rame o in acciaio per gli impianti più grandi ed hanno un diametro dai 2 ai 5 cm, hanno un isolamento termico generalmente in schiuma poliuretanicca che varia a seconda della portata del condotto.

Il **fluido solare** trasporta il calore prodotto nel collettore al serbatoio di accumulo; esso è generalmente composto da acqua (per la sua elevata capacità termica, non tossicità, non infiammabilità, economia e non viscosità) con un 40% di glicole propilenico che consente l'abbassamento delle temperature di ebollizione e congelamento.



Fig. 5.10 – Condotture per il fluido solare

Le **pompe solari** consentono il pompaggio del fluido, le loro dimensioni sono ridotte al minimo e generalmente permettono di essere utilizzate secondo diversi range di potenza in modo combinato. A seconda delle esigenze impiantistiche, consentono di selezionare in base alle temperature la portata volumetrica.

Lo **scambiatore di calore** ha il compito di trasferire il calore del fluido termovettore all'acqua sanitaria, negli impianti a doppio circuito; essi si dividono in interni ed esterni: i primi sono inseriti nel serbatoio già in fase di costruzione, i secondi sono piastre o tubi tra cui scorrono il fluido termovettore e l'acqua sanitaria controcorrente in un apposito condotto.

Le **valvole di non ritorno** hanno il compito di evitare il verificarsi di circolazioni naturali nel caso in cui il fluido, all'interno del serbatoio, sia maggiore del fluido termovettore nello scambiatore di calore.

Le **valvole di sfiato** hanno il compito di far evacuare l'aria presente nel circuito solare; normalmente vengono poste nel punto più alto del sistema, dove l'aria tende ad accumularsi.

Le **valvole di sicurezza** fanno sì che quando la pressione interna al sistema supera un dato valore, aprendosi consentono al fluido di defluire in un serbatoio di sfogo.

Il **vaso di espansione a membrana** ha il compito di assorbire le brusche variazioni di pressione dovute all'apertura e chiusura dei rubinetti, evitando dannosi picchi di pressione dovuti all'incompressibilità dell'acqua. Questo apparecchio è formato da un involucro metallico con una membrana di gomma all'interno vincolata per mezzo di una piastra comunicante con la tubatura idraulica.



Fig. 5.11 – Valvola di espansione a membrana

La **stazione solare** è un congegno unico in cui sono stati montati diversi componenti meccanici ed elettrici tra cui: termometri, manometri, flussimetri

e valvole che regolano il funzionamento del circuito solare



Fig. 5.12 – Stazione solare

- Il **regolatore di un sistema solare** ha il compito di controllare la pompa di circolazione in modo da raccogliere l'energia solare in maniera ottimale. Sul mercato sono disponibili regolatori a controllo digitale muniti di display che consentono la regolazione, la consultazione e la memorizzazione di tutti i dati del sistema, offrendo anche funzioni per la diagnostica di anomalie ed errori.



Fig. 5.13 – Regolatore

5.2 Gli impianti solari termici sugli edifici

La ricerca tecnologica e la vasta gamma di soluzioni e prodotti disponibili sul mercato, hanno reso indissolubile il connubio tra gli impianti solari termici e il settore delle costruzioni, specie nell'ambito della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente; questo ha portato ad una diffusione capillare di questi impianti, rendendoli vantaggiosi ed applicabili ai più disparati tipi di situazione, indipendentemente dal tipo di manufatto su cui si va ad intervenire, dall'utenza e dalla localizzazione. Gli impianti solari termici applicati agli edifici offrono diverse possibilità di utilizzo, questo è il principale motivo per la massiccia diffusione, specie in ambito residenziale di piccole e medie dimensioni. Tali sistemi possono fornire acqua calda sanitaria, ma anche riscaldamento e raffrescamento per gli ambienti. Sono diffusi, inoltre, sistemi che offrono la possibilità di combinare i due utilizzi.

Dalle statistiche dell'ENEA emerge come la maggior parte dell'energia richiesta dalle utenze degli edifici, il fattore che pesa di più in termini economici e di consumo è il combustibile per il riscaldamento di acqua ed aria seguito, specie nei mesi più caldi, da sistemi per la climatizzazione degli ambienti, impianti che consumano energia elettrica in enorme quantità portando negli ultimi anni addirittura al blackout energetico di interi nuclei urbani.

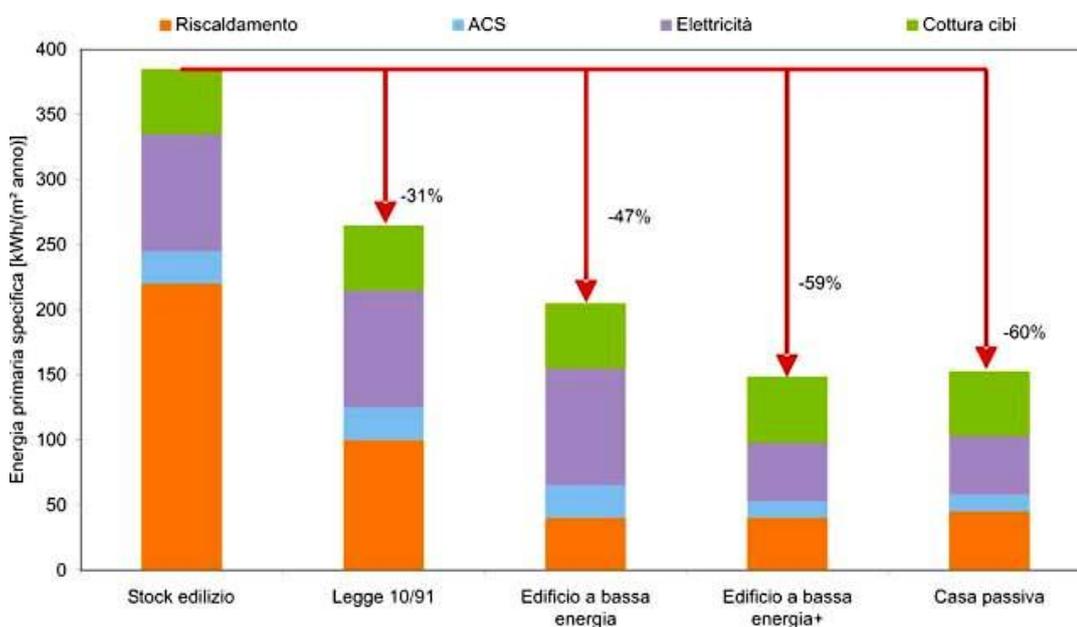


Fig. 5.14 – Fabbisogno energia primaria degli edifici – Fonte: ENEA

L'impiego di sistemi solari termici offre dunque la possibilità di abbattere consumi e costi per il fabbisogno energetico degli edifici. Le principali tipologie di impianti impiegati nel settore sono descritti nei sottoparagrafi che seguono.

5.2.1 Sistemi per la produzione di acqua calda.

Agli impianti solari termici, quella di produrre acqua calda sanitaria, è una funzione richiesta in tutti i casi d'installazione, indipendentemente dell'uso finale.

Questi sistemi si dividono in due gruppi: a **circolazione naturale** ed a **circolazione forzata**.

I **sistemi a circolazione naturale** sono una tipologia d'impianti particolarmente diffusa in Italia per la semplicità d'installazione e per il basso costo. In

questo tipo di sistema il serbatoio è posto sopra al collettore stesso; all'interno del serbatoio è integrato lo scambiatore di calore preposto alla trasmissione del calore del fluido termovettore, presente nel collettore, all'acqua contenuta nel serbatoio.

In presenza di irraggiamento solare la temperatura del fluido aumenta progressivamente.

La differenza di temperatura tra il fluido freddo in ingresso nella parte bassa del serbatoio e quello più caldo nella parte alta, genera un moto convettivo; grazie alla posizione più elevata del serbatoio, il fluido riscaldato nel collettore raggiunge autonomamente lo scambiatore lasciando il posto nella serpentina al fluido più freddo. Il calore acquisito dal fluido nella serpentina viene ceduto all'acqua in rete presente nel serbatoio.

La circolazione del fluido nella serpentina non ha bisogno di impulsi esterni, essa si autoregola fino al riscaldamento completo dell'acqua contenuta nel serbatoio d'accumulo. Altri sistemi sono muniti di una serpentina elettrica per contribuire al riscaldamento dell'acqua senza ricorrere a sistemi aggiuntivi.

Si tratta di sistemi molto compatti, semplici ed affidabili, utilizzati per edifici usati sporadicamente o per tutte quelle soluzioni abitative di carattere provvisorio.

Ci sono, inoltre, sistemi concepiti come una variante di questi appena descritti ed impiegati in zone dal clima mite: sono i collettori con accumulo integrato, in questi gli elementi preposti al contenimento del fluido all'interno del collettore sono

di dimensioni superiori ai normali tubi, perché devono contenere l'acqua di rete dal momento in cui entra nel collettore fino a quando viene richiamata.

La maggiore economicità e semplicità di installazione del sistema va a discapito dell'efficienza, ridotta notevolmente rispetto alla classica soluzione con serbatoio esterno.

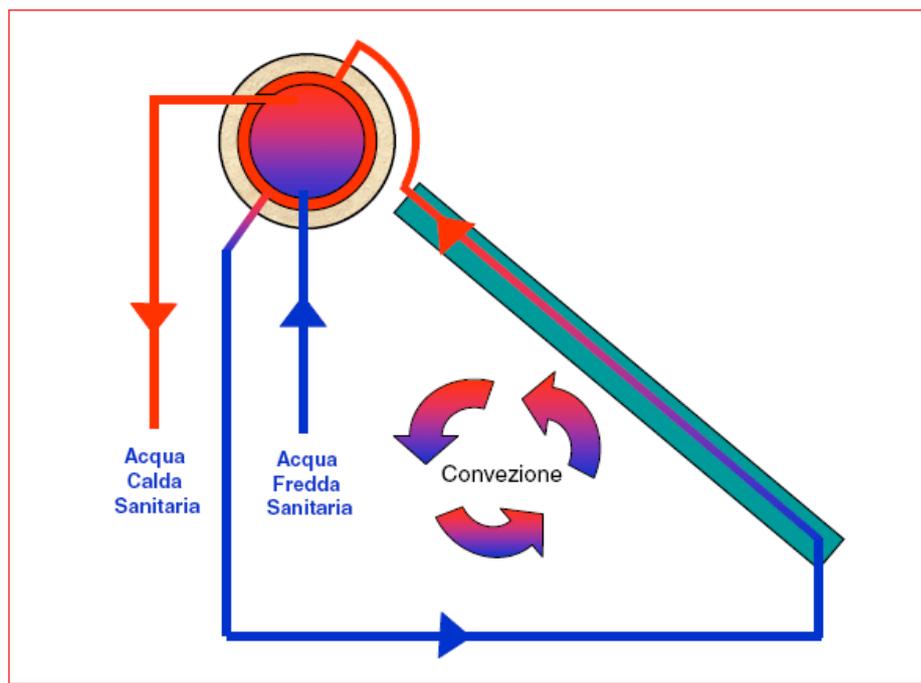


Fig. 5.15 – Schema di un impianto solare a circolazione naturale

Nei **sistemi a circolazione forzata** la posizione del collettore è completamente svincolata da quella del serbatoio e la circolazione del fluido è garantita da un sistema di pompaggio.

La possibilità di collocare il serbatoio d'accumulo all'interno dell'edificio o in particolari vani appositamente realizzati, consente di ripararlo dalle intemperie climatiche migliorandone l'efficienza.

Questo va a vantaggio dell'integrazione architettonica, riducendo al minimo l'impatto sull'edificio.

Gli schemi diffusi sono di due tipi: nel primo l'acqua contenuta nel serbatoio raggiunge l'utenza passando per una caldaia istantanea che la riscalda qualora non fosse ad una temperatura ben precisa; nel secondo viene inserito uno scambiatore, collegato al sistema tradizionale, direttamente nella parte superiore del serbatoio. Questo dispositivo riscalda l'acqua qualora, al momento del prelievo, la sua temperatura non è ottimale.

In entrambi i sistemi la temperatura dell'acqua è regolata tramite un termostato; il sistema di regolazione del circuito solare mette in funzione il circolatore appena la temperatura del fluido nei collettori supera di 10/15°C quella dell'acqua nella parte sottostante del serbatoio.

Nel caso in cui il fabbisogno di energia lo richieda, è possibile mettere in serie più di un serbatoio di accumulo.

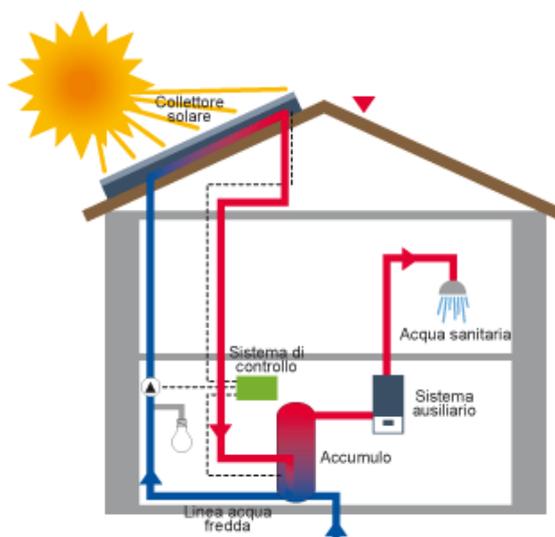


Fig. 5.16 – Schema di un impianto solare a circolazione forzata

5.2.2 Sistemi per il riscaldamento degli ambienti.

I sistemi per il riscaldamento solare utilizzano le radiazioni solari per mantenere la temperatura di uno spazio superiore a quella dell'ambiente circostante. Per ottenere una temperatura all'utenza di 20/24°C è necessaria una temperatura di accumulo compresa tra i 40 ed i 70°C.

Tali sistemi sono più svantaggiosi rispetto a quelli per la produzione di acqua calda sanitaria poiché la domanda è stagionale e l'impianto viene sfruttato solo per metà anno, periodo in cui la radiazione solare è minima.

E' molto usato in quelle situazioni in cui è richiesto il riscaldamento da ottobre ad aprile inoltrato, ma l'area di captazione richiesta è maggiore rispetto agli impianti ACS ed, a fronte di minori rendimenti, presenta maggiori difficoltà di installazione e manutenzione. Per ammortizzare i costi dell'impianto questa funzione viene spesso combinata con la produzione di acqua calda sanitaria o climatizzazione degli ambienti.

Gli impianti solari per questa funzione, sono maggiormente compatibili con i sistemi di riscaldamento a pannelli radianti a pavimento o a parete. Le serpentine radianti, disposte sotto il pavimento o sotto l'intonaco, funzionano con basse temperature e, avendo minori dispersioni termiche rispetto ai termosifoni, migliorano l'efficienza di tutto l'impianto.

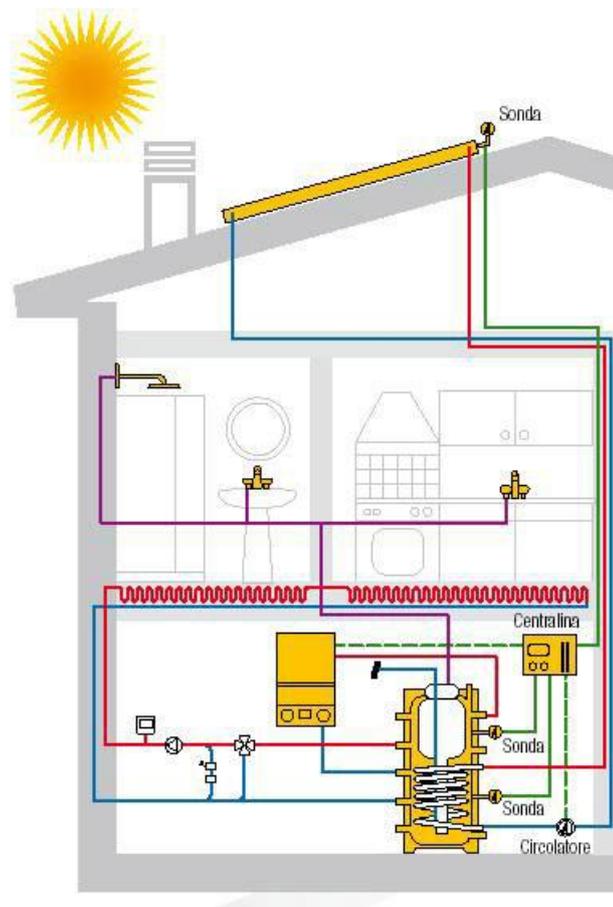


Fig. 5.17 – Schema di un impianto solare per il riscaldamento

Nei **sistemi attivi a liquido**, si impiegano i collettori a liquido e si raccoglie l'energia solare sottoforma di calore in un accumulo d'acqua. La distribuzione del calore solare avviene in due forme: pompando acqua da uno scambiatore centrale o utilizzando piccoli scambiatori situati nelle stanze che ricevono acqua calda dal serbatoio d'accumulo.

Questo sistema necessita di una grande quantità d'acqua ed in genere viene fatto funzionare in parallelo con un sistema ausiliario tradizionale.

Ci sono due diversi schemi impiantistici: nel primo il circuito è unico ed i collettori scaricano il liquido

direttamente nei serbatoi d'accumulo; nel secondo ci sono due circuiti con uno scambiatore di calore tra loro ed un sistema di pompaggio, il fluido contenuto nel primo circuito è quello che passa nei collettori ed è additivato con anticongelante.



Fig. 5.18– Serpentina da pavimento

Nei **sistemi attivi ad aria** viene usata aria per raccogliere e distribuire il calore, questo li rende molto più semplici ed economici.

L'accumulo viene effettuato attraverso un letto solido, che serve come scambiatore di calore tra la corrente di captazione e quella di distribuzione; la capacità di stratificazione dell'aria aumenta il rendimento, ma la sua minore capacità termica rende indispensabile l'impiego di maggiori quantità di energia.

L'uso di aria consente di ridurre i problemi di sicurezza e di logoramento dell'impianto; nei collettori

solari impiegati l'aria passa tra il vetro di copertura e gli scambiatori. Il serbatoio d'accumulo è invece costituito da un letto verticale con un'altezza inferiore a 2,5 metri; in genere per la sua costruzione sono usate rocce di 2-4 cm di diametro che vanno pulite e distribuite uniformemente per facilitare il flusso.

Il sistema è composto da 2 circuiti: il primario collega il collettore al serbatoio d'accumulo, il secondario collega il serbatoio agli impianti di distribuzione.

L'aria viene pompata con dei ventilatori simili a quelli per gli impianti di trattamento dell'aria sistemati agli ingressi del letto solido.

Di particolare interesse, per gli impianti solari ad aria, sono i collettori solari a parete. Il collettore si configura come una controparete verticale, in genere può essere o vetrata o fatta con lamiera in alluminio microforate con apposite vernici per aumentare l'assorbimento del calore; essa ha un intercapedine di circa 10 cm. davanti alle facciate, preferibilmente esposte a sud. Può altresì essere installata come contro falda del tetto verso sud. Un ventilatore pompa l'aria preriscaldata nel sistema di distribuzione degli ambienti interni, il tutto è regolato da un termostato e da un sistema di valvole.

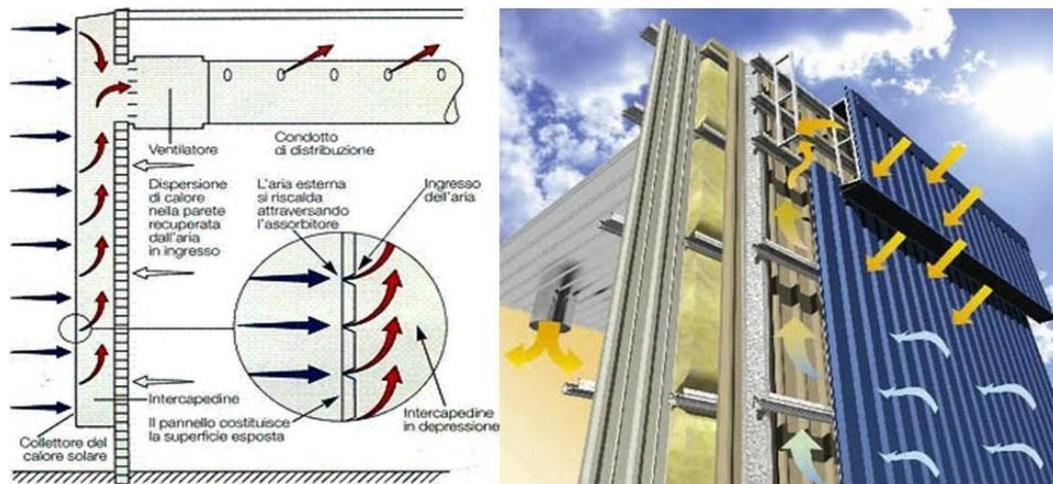


Fig. 5.19 – Sistema SolarWall

Sul mercato sono inoltre disponibili moltissimi **sistemi solari passivi**, particolarmente usati nell'ambito dell'integrazione architettonica, specie per ristrutturazioni. Essi offrono la possibilità a costi contenuti di limitare al minimo i problemi di isolamento termico, riducendo il fabbisogno energetico dell'edificio che viene in parte soddisfatto dal calore derivante da questi componenti che funzionano senza l'impiego di energia.

Spesso vengono installati sistemi ibridi composti da impianti attivi e passivi. L'impiego di sistemi passivi è strettamente legato alle condizioni climatiche del sito e delle caratteristiche dell'edificio sottoposto all'intervento.

I sistemi solari passivi possono essere classificati in: sistemi a guadagno diretto (che sfruttano il calore accumulato da componenti proprie dell'edificio come muri e solai) e sistemi a guadagno indiretto (che sfruttano il calore accumulato in una massa inerziale posta in opera con l'unica funzione di accumulare energia dal sole).

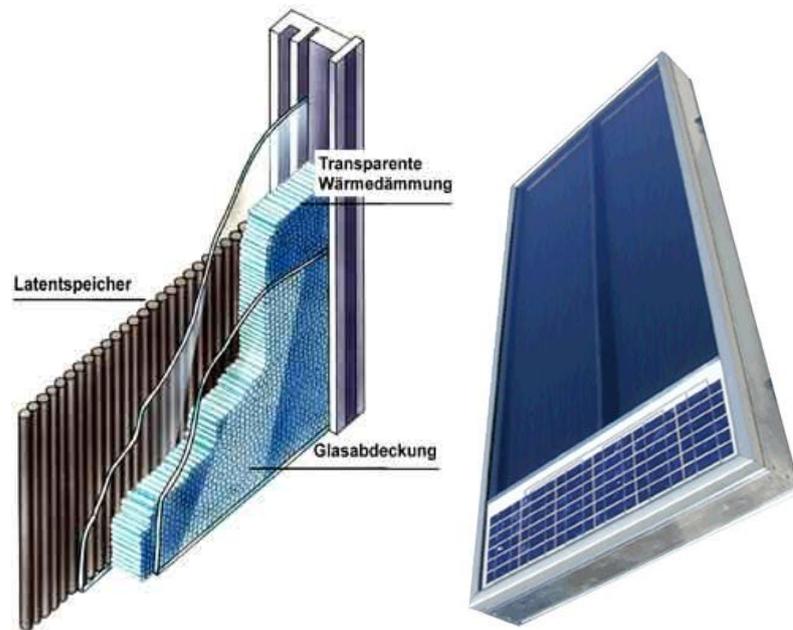


Fig. 5.20 – Alcuni sistemi solari passivi disponibili sul mercato

5.2.3 Sistemi per il raffrescamento degli ambienti.

E' possibile utilizzare il calore generato dalla radiazione solare per raffrescare un ambiente.

La climatizzazione, a differenza dei sistemi solari per il riscaldamento, è estremamente più efficiente e conveniente, infatti, la maggior richiesta di energia per raffrescare gli ambienti è contemporanea alla disponibilità maggiore di radiazione solare che avviene durante i mesi caldi. In quest'ottica si può concepire un impianto solare capace di utilizzare l'eccedenza di energia per la climatizzazione nel periodo estivo, migliorando le prestazioni e l'efficienza degli impianti stessi.

I sistemi di **raffrescamento ad assorbimento** utilizzano un compressore termico, componente simile a

quello usato nei cicli frigoriferi. Il fluido usato è composto da acqua e da un assorbente come l'ammoniaca o il bromuro di sodio.

Dal compressore termico il refrigerante passa all'evaporatore, che assorbe il calore dell'ambiente da rinfrescare. Successivamente il vapore del refrigerante passa nell'assorbitore e si ha la sua dissoluzione nella soluzione povera proveniente dal generatore attraverso un processo esotermico. La soluzione ora arricchita, viene pompata fino alla pressione voluta e viene immessa nel generatore, grazie all'apporto di calore esterno viene riscaldata facendo evaporare il refrigerante, questo viene poi inviato al condensatore e ricomincia il ciclo.

Intanto il componente assorbente viene laminato e inviato nuovamente all'assorbitore. Questo fluido svolge solamente una funzione ausiliaria che trasporta il refrigerante allo stato liquido dalla zona di bassa pressione alla zona di alta pressione.

Questo processo necessita di una temperatura da 85 a 110°C che viene fornita dall'impianto solare.

Quando il sistema di climatizzazione solare non raffredda sufficientemente gli ambienti, questo viene affiancata ad una macchina frigorifera.

Un altro metodo è il sistema di raffreddamento ad essiccamento (DEC - Cicli Dessiccant Cooling). Contrariamente al processo di assorbimento è un ciclo di trattamento dell'aria con deumidificazione chimica di tipo aperto, cioè l'aria da condizionare entra in contatto diretto con il mezzo di raffreddamento, generalmente acqua raffreddata. Le fasi di raffreddamento e di deumidificazione sono separate.

In questo impianto, un componente detto ruota deumidificante (costituito da un materiale altamente poroso che assorbe le molecole d'acqua contenute nell'aria deumidificandola), l'aria ne esce riscaldata dal calore latente di condensazione, così tramite uno scambiatore di calore viene raffreddata in controcorrente con il flusso proveniente dall'edificio.

Successivamente, tramite un raffreddamento evaporativo diretto viene raffreddata ulteriormente e portata alle condizioni di ingresso; infine, mediante un ventilatore, viene inviata agli ambienti. L'aria di ritorno dall'ambiente è sottoposta a raffreddamento evaporativo diretto ed inviata allo scambiatore rotativo; poi entra nello scambiatore rigenerativo dove viene aumentata la sua temperatura così che passando nella ruota deumidificante possa assorbire acqua dalla stessa ruota. Il calore derivante dai collettori viene utilizzato proprio nello scambiatore rigenerativo. La temperatura richiesta per il funzionamento di questo passaggio è tra i 50 e i 90°

5.2.4 Sistemi solari combinati.

Questi impianti solari che consentono la produzione di acqua calda sanitaria e riscaldamento sono comunemente chiamati **combi system**. Alcuni impianti hanno due serbatoi per le diverse funzioni, altri solo uno centrale che lavora molto sulla stratificazione del fluido.

Questi sistemi offrono all'utente la possibilità di sfruttare maggiormente l'energia solare con costi non eccessivamente maggiori, gli impianti arrivano a coprire un fabbisogno del 50% sul totale.

Ovviamente necessitano di una superficie captante fino a 3 volte superiore a quella di un normale impianto ACS e di serbatoi più grandi proporzionalmente ai mq di superficie degli ambienti da riscaldare.

Sono impianti particolarmente indicati per edifici con un buon isolamento termico.

Ci sono diversi sistemi "**combi**", uno di questi è il **tank in tank** dove il serbatoio per l'ACS ha una forma ad imbuto ed è inserito nel serbatoio d'accumulo; il calore ausiliario è fornito nella zona superiore e l'acqua viene prelevata a circa metà del serbatoio d'accumulo.

Un altro sistema è il **combi con serbatoio a tampone**. In questo serbatoio c'è uno scambiatore a due diversi livelli; il livello è selezionato in base alla temperatura raggiunta, l'acqua calda viene richiamata attraverso uno speciale scambiatore interno che è posizionato al di sopra di un tubo discendente. Se lo scambiatore si raffredda per il passaggio di acqua fredda il flusso discendente si attiva lungo la tubazione, così lo scambiatore solare è sempre investito da un sufficiente flusso.

Il sistema a **doppio serbatoio**, già precedentemente citato, ha la particolarità di avere un serbatoio per l'ACS ed uno per il riscaldamento; il circuito solare porta calore ad entrambi nella parte bassa, ma ha la

precedenza quello per l'ACS. Esistono sistemi **termo-fotovoltaici** che permettono di trarre dal sole energia termica ed elettrica, il fluido termico assorbe il calore nei moduli in silicio raffreddando le celle ed aumentandone l'efficienza. Un pannello di questo tipo è in grado di aggiungere alla capacità di produrre energia termica, come un normale collettore solare, la capacità di produrre energia elettrica ammortizzando i costi notevolmente.

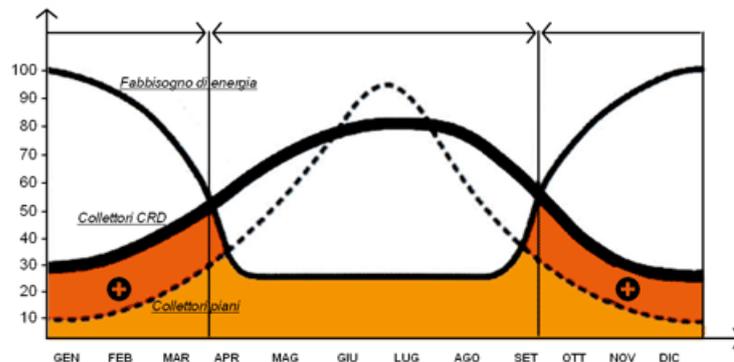


Fig. 5.21 – Rendimenti a confronto tra sistemi termo-fotovoltaici e termici

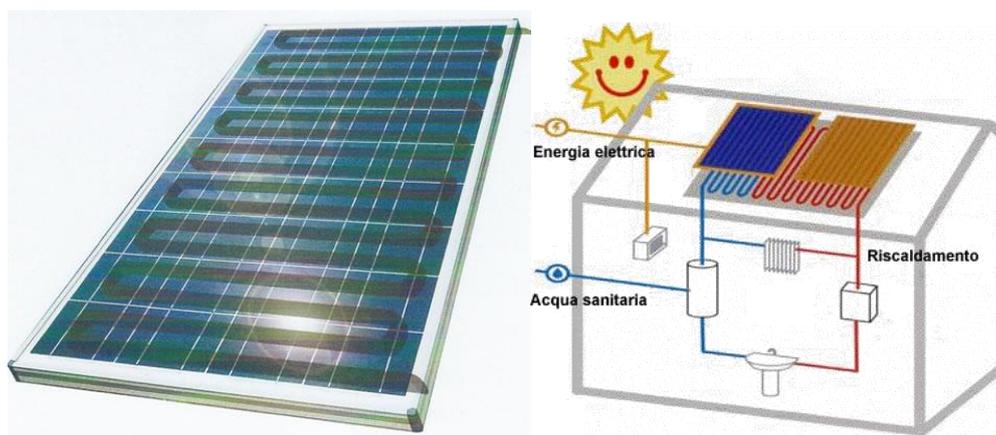


Fig. 5.22 – Pannello e schema di un sistema termo-fotovoltaico

5.3 Il progetto dell'impianto solare per l'edificio.

La fase progettuale, nell'ambito dell'installazione di un impianto solare in un edificio, risulta essere di fondamentale importanza per risolvere le problematiche ambientali e tecniche, l'evoluzione della ricerca tecnologica offre molteplici strategie per procedere verso la realizzazione di un manufatto sostenibile che miri all'efficienza energetica ed al miglioramento della vivibilità di chi ne usufruisce.

Il primo approccio è sicuramente lo studio accurato del sito. Oltre alle condizioni climatiche è necessario analizzare in dettaglio la conformazione dell'edificio, il consumo di acqua calda sanitaria ed, in caso di un impianto combinato, il fabbisogno energetico per il trattamento dell'aria specie per il riscaldamento invernale.

Hanno un'importanza determinante: la presenza di corpi ombreggianti, l'esistenza di spazi utilizzabili per il montaggio e la manutenzione, la posizione più vicina per alloggiare il serbatoio d'accumulo, la presenza di vincoli architettonici dell'edificio, la natura strutturale e materica dell'edificio per decidere il tipo di integrazione e quindi il prodotto ottimale da scegliere, la tipologia di impianto già presente sul manufatto, il fabbisogno energetico anche in base all'utilizzo per il dimensionamento dei vari componenti.

In generale, ad un impianto si richiede la copertura totale del fabbisogno nei mesi più caldi; per determinare la potenza si fa riferimento al **fattore di copertura solare**, ovvero il rapporto tra l'energia utile

ottenibile dall'impianto e la richiesta totale di energia nel periodo specifico. Generalmente ad una copertura totale nel periodo estivo corrisponde un fattore annuo di 60/70%.

L'**efficienza** del sistema, calcolata anch'essa in un periodo ben definito (in genere un anno), rappresenta la quantità di energia fornita rispetto all'energia incidente dell'impianto. Questo valore dipende molto dalla posizione dei captatori, dall'**orientamento** e dalla loro **inclinazione**; vanno ovviamente rivolti nella parte di edificio più esposta all'irraggiamento e quindi verso sud; ovviamente nel caso di impianti integrati non sono ammesse installazioni di collettori solari con inclinazioni ed orientamento diversi da quelli dell'elemento del manufatto su cui giace il componente. Ad ogni modo l'orientamento per il quale abbiamo un irraggiamento maggiore è specifico di ogni sito poiché dipende dalla sua posizione, ma se consideriamo anche l'influenza che ha la temperatura ambientale sul rendimento del pannello (quest'ultimo aumenta all'aumentare di essa), allora è meglio favorire un'esposizione nelle ore pomeridiane in cui, come d'inverno, le giornate risultano più calde; di conseguenza è preferibile un orientamento posto leggermente ad ovest.

Il discorso cambia per l'**inclinazione** da dare ai collettori. Questo valore infatti cambia in relazione al sito ed al tipo di impiego previsto; in generale questo valore dipende dal periodo in cui si desidera avere il massimo utilizzo dell'impianto, ad esempio: per favorire

il rendimento invernale e puntare ad un progetto principalmente incentrato sul riscaldamento degli ambienti, i collettori dovranno avere un'inclinazione più marcata, con valori prossimi all'angolo Φ (angolo che la retta passante per il centro della terra e la località forma con il piano dell'equatore) $+ 10^\circ$, mentre per favorire il rendimento durante l'estate l'inclinazione ottimale è di circa $\Phi - 10^\circ$.

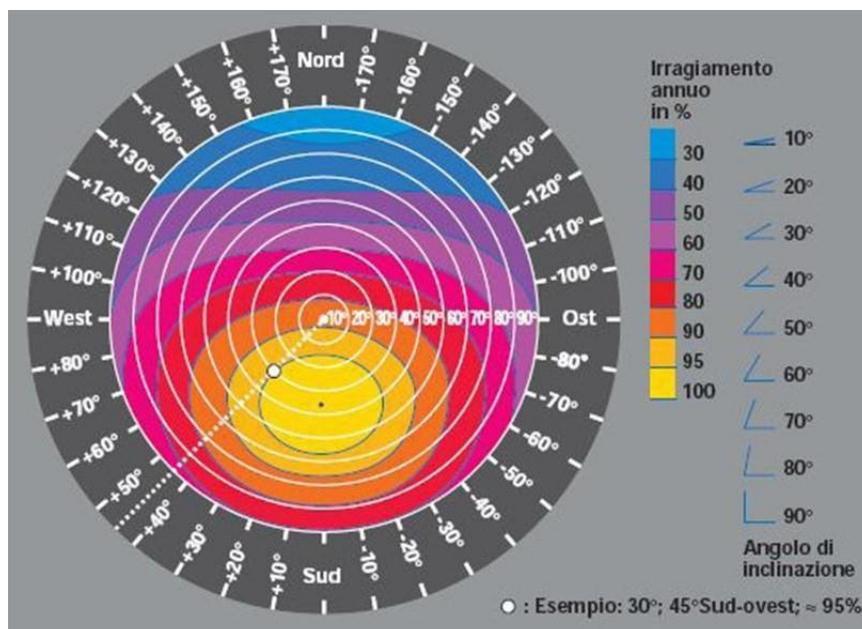


Fig. 5.23 – Influenza di orientamento ed inclinazione sul rendimento

Il **dimensionamento** dell'impianto dipende dalle abitudini dell'utenza, dal numero di utilizzatori, dalla dimensione degli spazi interni, dalla coibentazione dell'edificio, dalle perdite termiche e di carico dovute alla dimensione dei percorsi che il fluido dovrà percorrere. Questo aspetto progettuale richiede uno studio estremamente accurato per essere affrontato correttamente; esso, infatti, si ripercuote ovviamente

sulla scelta di gran parte dei componenti dell'impianto, dai captatori al serbatoio d'accumulo.

In genere per sistemi con basso fattore di copertura solare abbiamo le seguenti superfici dei collettori:

- da 0,7 a 1,0 mq di superficie captante (per collettori piani) per 10 mq di abitazione;
- da 0,5 a 0,8 mq di superficie captante (per collettori sottovuoto) per 10 mq di abitazione;
- Un serbatoio d'accumulo di 50 litri per mq di superficie captante o da 100 a 200 litri per kW di carico termico.

Normalmente per sistemi con alto fattore di copertura solare abbiamo superfici dei collettori:

- da 0,5 a 3,0 mq di superficie captante (per collettori piani) per 10 mq di abitazione;
- un serbatoio d'accumulo di 250 a 1000 litri per mq di superficie captante.

5.3.1 Integrazione dell'impianto solare.

Il grado di diffusione e di applicazione della tecnologia solare termica sugli edifici è strettamente correlata alle soluzioni tecniche per l'integrazione o meno sugli edifici.

I collettori solari disponibili sul mercato offrono una vasta gamma di soluzioni adatte a qualsiasi tipo di edificio e di sistema costruttivo; generalmente le installazioni più diffuse sono quelle in copertura o in

facciata; esistono comunque possibilità, sviluppate in tempi più recenti, che consentono l'inserimento di collettori solari in frangisole, pensiline, balaustre o altri componenti secondari dell'edificio che svolgono delle funzioni aggiuntive oltre alla captazione di energia termica, come ad esempio la schermatura dal sole.

Le realizzazioni che prevedono l'integrazione in copertura o facciata, risultano vantaggiose dal punto di vista economico e funzionale, qualora gli elementi captanti caratterizzati da un elevato grado di coibentazione sostituiscono la struttura occupata.

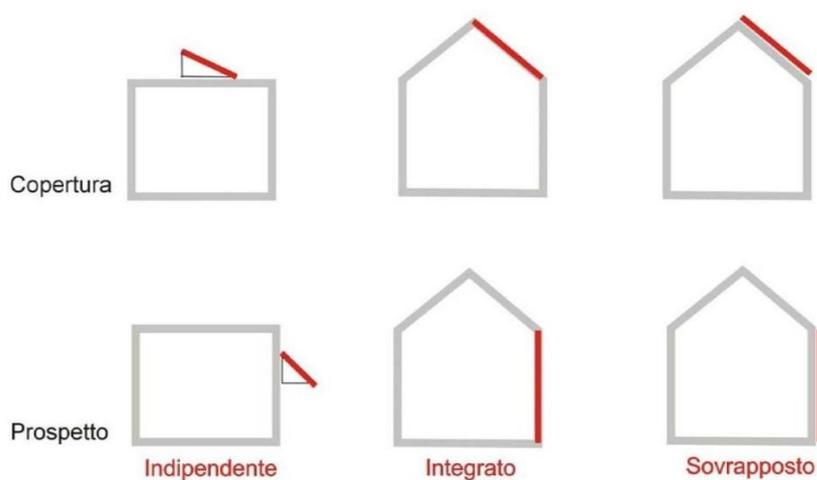


Fig. 5.24 – Possibilità di installazione del solare termico sugli edifici

I collettori possono essere: integrati in copertura, montati in copertura per sovrapposizione, installati su apposite strutture o su superfici libere, integrati in facciata, montati in facciata.

La scelta tra le possibili soluzioni dipende fortemente dalle condizioni del sito, dal tipo di collettore scelto e dalle superfici richieste dal cliente.

Mentre nel caso di tetti inclinati o facciate l'orientamento e l'inclinazione sono stabiliti piuttosto rigidamente a priori, nel caso di tetti piani o superfici libere, è possibile scegliere la posizione con maggiore libertà cercandone l'ottimizzazione.

I collettori sottovuoto possono essere inclinati solo di angoli compresi tra 0° e 25° , altrimenti le piastre captanti si ombreggiano l'un l'altra quando il sole è basso sull'orizzonte.

Le modalità di installazione variano a seconda del tipo di tetto e del grado di integrazione scelta. Nel caso di **installazione-retrofit** (sovrapposizione), i collettori sono montati a 5/10 cm. dalla superficie del tetto.

I punti di ancoraggio sono costituiti da ganci avvitati su apposite strutture in profili di alluminio, sovrapposte e fissate alla superficie della copertura.

Sono in commercio tegole speciali per il montaggio di collettori solari, questi elementi sono in plastica di diversi colori e forme ed hanno un elemento portante integrato su cui vanno avvitati i collettori.

La struttura del tetto deve essere in grado di sopportare il carico addizionale dato dal peso dei collettori e della struttura di fissaggio (approssimativamente 25 Kg/mq); per questo tipo di installazione si possono impiegare collettori piani o sottovuoto.



Fig. 5.25 – Struttura metallica per la sovrapposizione dei collettori solari

I vantaggi dell'installazione per sovrapposizione sono: un'installazione semplice ed economica, l'assenza di interrompere il rivestimento del tetto, la grande flessibilità ed economicità di questi collettori.

Gli svantaggi riguardano: il carico addizionale sul tetto, l'effetto estetico che spesso risulta un collage di parti, i danni che possono subire le tubature provocati da uccelli o da eventi atmosferici sul lungo periodo.



Fig. 5.26 – Esempi di sovrapposizione in facciata ed in copertura



Fig. 5.27 – Urs Gerster, retrofit di una casa unifamiliare del 1967

Nel caso di **installazione integrata**, una volta individuata la zona del tetto preposta all'istallazione, si rimuovono le tegole o il materiale di copertura e si dispongono i collettori sul piano del tetto.

Il collegamento tra i collettori ed il tetto avviene per mezzo di speciali cornici di alluminio o acciaio.

L'integrazione architettonica è sicuramente il sistema per ottenere un risultato più apprezzabile dal punto di vista dell'immagine. E' possibile installare in questo modo collettori piani o sottovuoto.

I vantaggi dell'istallazione integrata riguardano i seguenti aspetti: il tetto non è soggetto a carichi aggiuntivi, l'impatto estetico sicuramente mitigato, i tubi scorrono sotto il tetto e sono quindi più riparati, il risparmio di materiale edile in caso di ricostruzione del tetto.



Fig. 5.28 – Integrazione di un pannello solare termico in falda

Gli svantaggi dell'installazione integrata riguardano i seguenti aspetti: i materiali sono più costosi e l'installazione più onerosa, il rivestimento del tetto risulta disomogeneo ed è possibile la formazione di punti critici dal punto di vista dell'isolamento, la struttura è meno flessibile ed in presenza di camini o finestre bisogna lasciare parecchio spazio di raccordo.

Quando montati su **tetti piani**, i collettori sono generalmente inclinati tra i 20° ed i 45° , in maniera tale da ottimizzare l'energia raccolta.

Le strutture di supporto, disponibili sono in acciaio galvanizzato o alluminio, sono costruite in modo tale da formare questi angoli. Fanno eccezione i collettori sotto vuoto a flusso diretto poiché a causa delle superfici esposte al vento questi collettori devono essere assicurati per evitare che cadano o cambino orientamento.



Fig. 5.29 – Impianti solari su coperture piane

Per assicurare i collettori al piano vengono impiegati contrappesi (lamiera ondulata con ghiaia, ganci...), tiranti con punti di fissaggio, ancoraggio al piano su strutture di supporto.

Ovviamente, se i collettori sono disposti secondo file poste una dietro l'altra, è necessario lasciare una distanza tra esse tale da evitare o ridurre al minimo fenomeni di ombreggiamento reciproco.

I collettori possono altresì essere installati sul tetto piano in posizione **orizzontale**, in questo caso ci sono due possibilità: che i tubi vengano disposti longitudinalmente in direzione sud, con elementi captanti orizzontali; che i tubi vengano disposti trasversalmente in direzione sud con elementi captanti ruotati di 20/30°.

I vantaggi di questo tipo di installazione sono: un montaggio semplice e veloce, costi ridotti per le strutture di lavoro e, nel caso di coperture con parapetti, l'impatto visivo è praticamente nullo.

Gli svantaggi riguardano: il maggior costo dei collettori a tubi sottovuoto, la minore resa quando il sole è sull'orizzontale.

Le tubature possono essere fatte passare nelle canne fumarie (assicurando che siano pulite e funzionanti correttamente) o su varchi praticati sulla copertura.



Fig. 5.30 – Impianto solare in orizzontale su copertura piana

L'**installazione in facciata** dei collettori solari, fino a poco tempo fa, era praticata molto raramente. Oggi la ricerca tecnologica ha fatto in modo che, specie in Germania, questa soluzione sia molto praticata ottenendo anche ottimi risultati dal punto di vista dell'immagine dell'edificio.

I collettori piani che si montano in facciata sono installati nello stesso modo di quelli in copertura; il sistema cambia per i collettori a tubi sottovuoto, infatti, questi vengono collegati al muro tramite binari orizzontali o verticali e paralleli ai corpi.

Nel caso di installazione in facciata bisogna porre attenzione agli elementi seguenti: la capacità portante del muro, l'ombreggiamento portato da vegetazione o porzioni di costruito circostante e le eventuali condutture preesistenti.



Fig. 5.31 – Impianto solare integrato in facciata

In facciata possono altresì essere completamente integrati nella muratura; in questi casi con particolari sistemi di ancoraggio e sistemi di raccordo, sostituiscono porzioni o strati di muratura, svolgendo la funzione aggiuntiva di isolamento e di riscaldamento per induzione degli ambienti interni corrispondenti.

Come accennato precedentemente, i collettori solari possono essere installati su **strutture aggiuntive** come frangisole, pensiline, balaustre o tettoie.

Esistono soluzioni sempre più diversificate nel campo, ma è compito del progettista, molto spesso, ideare una soluzione ad hoc per i singoli progetti scegliendo, in base alle esigenze, il modo ed il prodotto per l'installazione.

I frangisole a collettori solari sulle facciate rivolte a sud portano ovvi benefici all'edificio oltre

alla produzione di energia, riducendo il carico termico e mitigando gli effetti dovuti a fenomeni di abbagliamento.

Questi sistemi vengono impiegati soprattutto negli edifici di nuova costruzione e rappresentano uno sdoganamento di un nuovo linguaggio architettonico, in cui i sistemi che traggono energia da fonti rinnovabili, giocano un ruolo fondamentale anche nell'immagine del progetto.



Fig. 5.32 – Alcune possibilità di integrazione di collettori solari



Fig. 5.33 – Collettori integrati su pensiline e frangisole

5.4 Pannello solare termico

Il pannello solare termico per la sua configurazione e per le sue modalità di integrazione sugli edifici, è molto simile ai pannelli degli impianti fotovoltaici. Per il collettore piano, l'area della superficie che assorbe la radiazione solare è uguale a quella che la intercetta.

I pannelli solari termici si dividono in diverse categorie come di seguito descritto.

- **Pannelli solari termici piani.**

Molto utilizzati negli edifici, vengono impiegati per ottenere basse temperature comprese tra i 20°C ed i 90°C. In essi possono circolare sia **acqua** che **aria**; al loro interno hanno un assorbitore a piastra metallico, generalmente in rame per le sua capacità termiche; il sole colpendo questo elemento lo scalda trasmettendo, per induzione, il calore al fluido.

I pannelli solari termici piani possono essere, inoltre, **vetrati** o **non vetrati**, questa è un'altra distinzione fondamentale.

I **pannelli solari non vetrati (scoperti)** hanno i canali, dove scorre il fluido, scoperti; essi sono meno costosi ed hanno un rendimento ottimale quando sono in un ambiente ad alta temperatura. La mancanza del vetro, che svolge una funzione isolante e trattiene il calore, fa sì che il rendimento cali rapidamente al cambiare delle condizioni esterne ottimali.

La temperatura per ottenere un buon rendimento, data l'assenza di coibentazione, è maggiore di 20°C;

producono massimo una temperatura di 40°C, per questo sono utilizzati prevalentemente in maniera stagionale e solo per fornire ACS.



Fig. 5.34 – Pannello solare non vetrato in polipropilene

I pannelli solari piani vetrati hanno una struttura a cornice intorno all'assorbitore che ne limita le dispersioni di calore contenuto all'interno e lo rende impermeabile prevenendone la corrosione. Generalmente per resistere agli agenti atmosferici viene realizzata in acciaio.

Sul retro presenta un pannello di isolamento termico di 4/5 cm., per prevenire dispersioni.

Anche al suo interno c'è un assorbitore metallico di colore scuro per aumentarne la capacità termica; essa tramite una trasformazione foto termica trasforma la radiazione solare in calore e la trasferisce al fluido. Per aumentarne la capacità di assorbire calore viene ricoperta con sostanze specifiche selettive come Cromo, Tinex o Cermet.

Questa superficie ha un coefficiente di assorbimento del 95% e uno di remissività del 10%.

Nel caso che il fluido sia aria, questo circola liberamente tra la copertura e la piastra, se invece è acqua, percorre un circuito direttamente a contatto con l'assorbitore fatto da tubi in rame o acciaio posti a contatto tramite saldature con la piastra in diversi punti, i tubi in relazione alle piastre possono essere disposti in serie o in parallelo.



Fig. 5.35 – Pannello solare termico piano vetrato

Come accennato, questo tipo di pannello è composto da un vetro che lo isola dall'ambiente aumentandone l'efficienza. I vetri impiegati possono essere

selettivi o **non selettivi**, nel primo caso il vetro solare temperato viene trattato (spesso usando un composto in titanio) per consentirgli una capacità di assorbimento della radiazione solare estremamente alta anche in condizioni di ridotta insolazione per condizioni meteorologiche o per bassi angoli di incidenza, questi vetri hanno una trasmittanza di oltre il 90%, valore quasi doppio in determinate condizioni rispetto ai normali vetri. La copertura può, inoltre, essere in plastica. Questo è comunque un materiale più soggetto ad usura per le intemperie, ma anche più economico; inoltre, i pannelli che impiegano la plastica in copertura hanno una vita utile molto ridotta.

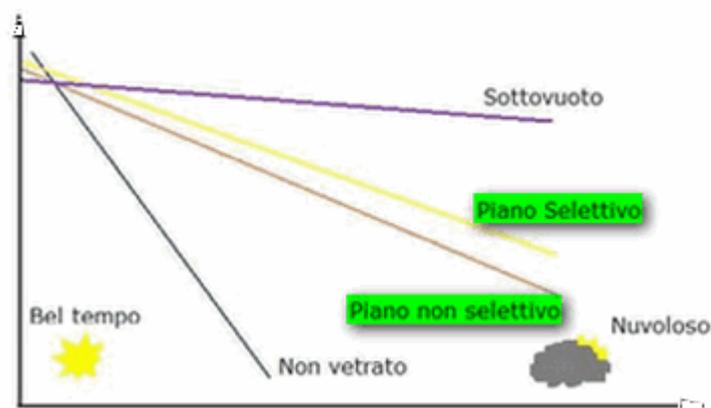


Fig. 5.4 – Efficienza dei diversi tipi di collettori

- **Pannelli solari termici con serbatoio integrato.** Questi possono essere sia vetrati che scoperti, ma funzionano solo con acqua e vengono impiegati prettamente per produzione di ACS. Sono utilizzati

nei sistemi a circolazione naturale. Di questa tipologia è stato trattato specificatamente nel paragrafo 5.2.1



Fig. 5.36 – Pannello solare termico con serbatoio integrato

- **I pannelli solari termici sottovuoto** possono garantire un elevato apporto energetico anche in condizioni di scarso irraggiamento o a basse temperature; sono progettati per ridurre al minimo le dispersioni di calore tramite il vuoto, al loro interno infatti la pressione è ridottissima così da impedire la cessione del calore da parte dell'assorbitore per conduzione. Anche questi dispositivi sono coperti da un vetro termico e trattato.



Fig. 5.37 – Pannello solare termico con tubi sottovuoto

Di questi pannelli ce ne sono due tipi: quelli che contengono un **tubo ad U**, in cui circola direttamente il liquido che assorbe il calore, e quelli ad **Heat Pipe** che contengono un tubo in rame, chiuso alle estremità, contenente un liquido a bassa pressione che evapora riscaldandosi e si condensa nella parte alta del tubo cedendo calore all'acqua sovrastante.

In fase di assemblaggio, l'aria tra l'assorbitore ed il vetro di copertura viene aspirata e deve essere assicurata una tenuta perfetta che rimanga nel tempo.

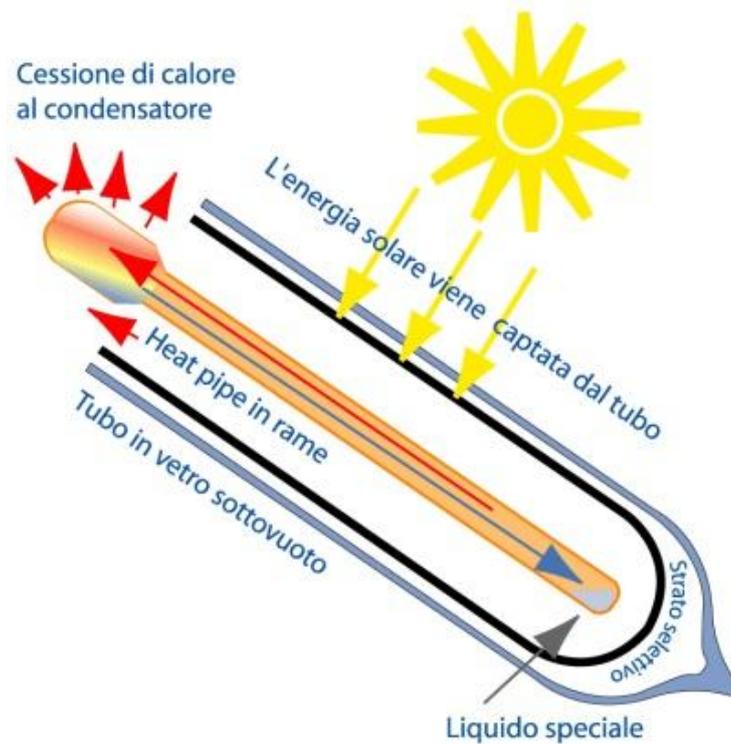


Fig. 5.37 – Schema di funzionamento del sistema Heat Pipe

- **I pannelli solari a concentrazione** sono sistemi in grado di concentrare i raggi solari verso un ricevitore di dimensioni contenute tramite un sistema di specchi riflettente.

L'energia termica sprigionata dalla concentrazione dei raggi solari è utilizzata per riscaldare il fluido termovettore contenuto in un collettore costituito da uno o più tubi.

Il punto di concentrazione dove è posto il collettore è chiamato fuoco; questi dispositivi, funzionando solo con luce solare diretta, devono seguire il movimento del sole; essi riescono a raggiungere temperature di 400/500°C.

Questi sistemi sono chiamati anche **CSP** (Concentrating Solar Power) e vengono impiegati anche nei grandi impianti solari; sono diffusi specialmente negli USA ed in Spagna per la generazione di vapore dal quale si ricava energia elettrica. Proprio a Siviglia nel 2007 è stata inaugurata una centrale CSP con una potenza di 11 MW che produce ogni anno 23 GW di energia.

Le perdite convettive nella conversione sono proporzionali alla superficie del ricevitore e rispetto a quelle dei normali collettori piani sono più contenute, permettendo così di raggiungere livelli di efficienza maggiori.

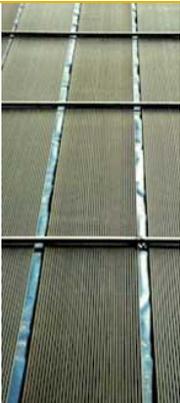


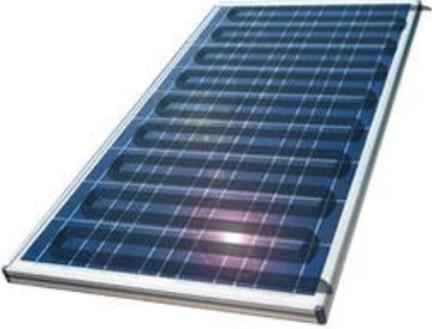
Fig. 5.38– Pannello solare termico a concentrazione

5.4.1 Schede di prodotti

Nelle pagine a seguire sono state riportate delle schede di alcuni pannelli solari termici, la loro funzione è quella di fornire degli esempi indicativi di soluzioni impiegati nella realtà. I pannelli in esame sono stati presi tra la moltitudine dei prodotti sul mercato ed impiegati per l'installazione su edifici.

	<table border="1"> <tbody> <tr><td>PRODUTTORE:</td></tr> <tr><td>POWER SOLAR SYSTEM</td></tr> <tr><td>MODELLO:</td></tr> <tr><td>SPP 58/1800</td></tr> <tr><td>TIPO:</td></tr> <tr><td>SERBATOIO INT.- SOTTOVUOTO</td></tr> <tr><td>SUPERFICIE:</td></tr> <tr><td>3,45 mq</td></tr> <tr><td>CARATTERISTICHE:</td></tr> <tr><td>ACQUA - 24 TUBI</td></tr> </tbody> </table>	PRODUTTORE:	POWER SOLAR SYSTEM	MODELLO:	SPP 58/1800	TIPO:	SERBATOIO INT.- SOTTOVUOTO	SUPERFICIE:	3,45 mq	CARATTERISTICHE:	ACQUA - 24 TUBI
PRODUTTORE:											
POWER SOLAR SYSTEM											
MODELLO:											
SPP 58/1800											
TIPO:											
SERBATOIO INT.- SOTTOVUOTO											
SUPERFICIE:											
3,45 mq											
CARATTERISTICHE:											
ACQUA - 24 TUBI											
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>PRODUTTORE:</td></tr> <tr><td>COSTRUZIONI SOLARI</td></tr> <tr><td>MODELLO:</td></tr> <tr><td>PANDA SLIM</td></tr> <tr><td>TIPO:</td></tr> <tr><td>CON VETRO SELETTIVO</td></tr> <tr><td>SUPERFICIE:</td></tr> <tr><td>2,5 mq</td></tr> <tr><td>CARATTERISTICHE:</td></tr> <tr><td>ACQUA - 9 TUBI</td></tr> </tbody> </table>	PRODUTTORE:	COSTRUZIONI SOLARI	MODELLO:	PANDA SLIM	TIPO:	CON VETRO SELETTIVO	SUPERFICIE:	2,5 mq	CARATTERISTICHE:	ACQUA - 9 TUBI
PRODUTTORE:											
COSTRUZIONI SOLARI											
MODELLO:											
PANDA SLIM											
TIPO:											
CON VETRO SELETTIVO											
SUPERFICIE:											
2,5 mq											
CARATTERISTICHE:											
ACQUA - 9 TUBI											
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>PRODUTTORE:</td></tr> <tr><td>SOLAR HYBRID</td></tr> <tr><td>MODELLO:</td></tr> <tr><td>PTS 250 145</td></tr> <tr><td>TIPO:</td></tr> <tr><td>TERMO - FOTOVOLTAICO</td></tr> <tr><td>SUPERFICIE:</td></tr> <tr><td>2,1 mq</td></tr> <tr><td>CARATTERISTICHE:</td></tr> <tr><td>PV: 145 Wp - T: 0,5 kWp</td></tr> </tbody> </table>	PRODUTTORE:	SOLAR HYBRID	MODELLO:	PTS 250 145	TIPO:	TERMO - FOTOVOLTAICO	SUPERFICIE:	2,1 mq	CARATTERISTICHE:	PV: 145 Wp - T: 0,5 kWp
PRODUTTORE:											
SOLAR HYBRID											
MODELLO:											
PTS 250 145											
TIPO:											
TERMO - FOTOVOLTAICO											
SUPERFICIE:											
2,1 mq											
CARATTERISTICHE:											
PV: 145 Wp - T: 0,5 kWp											

	<p>PRODUTTORE: KLOBEN</p> <p>MODELLO: SKY 21 CPC 58</p> <p>TIPO: SOTTOVUOTO</p> <p>SUPERFICIE: 3,75 mq</p> <p>CARATTERISTICHE: ACQUA - 21 TUBI</p>
	<p>PRODUTTORE: ECORETE</p> <p>MODELLO: PA 25</p> <p>TIPO: CON VETRO SELETTIVO</p> <p>SUPERFICIE: 2,5 mq</p> <p>CARATTERISTICHE: ACQUA - 10 TUBI</p>
	<p>PRODUTTORE: JANUS ENERGY</p> <p>MODELLO: SUNNYDAY</p> <p>TIPO: SCOPERTO IN POLIPROPILENE</p> <p>SUPERFICIE: 3,1 mq</p> <p>CARATTERISTICHE: ACQUA - 37 TUBI</p>
	<p>PRODUTTORE: CONSOLAR</p> <p>MODELLO: TUBO 12 CL</p> <p>TIPO: SOTTOVUOTO</p> <p>SUPERFICIE: 2,06 mq</p> <p>CARATTERISTICHE: ACQUA - 6 TUBI</p>

	<p>PRODUTTORE: CONSOLAR</p> <p>MODELLO: PIANO 26</p> <p>TIPO: CON VETRO SELETTIVO</p> <p>SUPERFICIE: 2,55 mq</p> <p>CARATTERISTICHE: ACQUA - 26 TUBI</p>
	<p>PRODUTTORE: FOTOTHERM</p> <p>MODELLO: FT 140 PH</p> <p>TIPO: TERMO - FOTOVOLTAICO</p> <p>SUPERFICIE: 1,22 mq</p> <p>CARATTERISTICHE: PV: 140 Wp - T: 0,7 kWp</p>
	<p>PRODUTTORE: SIEM</p> <p>MODELLO: EASRA 016</p> <p>TIPO: TERMO - FOTOVOLTAICO</p> <p>SUPERFICIE: 0,43 mq</p> <p>CARATTERISTICHE: PV: 66,7 Wp - T: 184 kWp</p>

CAPITOLO SESTO

MINIEOLICO: IMPIANTI EOLICI A DIMENSIONE DI EDIFICIO

CAPITOLO 6

MINIEOLICO: IMPIANTI EOLICI A DIMENSIONE DI EDIFICIO

Tra le fonti di energia rinnovabili, quella eolica è una della più promettenti perché completamente pulita e resa estremamente versatile dalla ricerca tecnologica che, negli ultimi anni, ne ha reso possibile l'applicazione dalla scala domestica a quella dei mega-impianti.

La diffusione capillare di impianti di piccola taglia, installati direttamente sugli edifici, è stata caratterizzata ed incentivata da un costante aggiornamento delle tecnologie di integrazione architettonica (purtroppo ampiamente realizzate solo su edifici costruiti ex-novo che ne prevedevano già in fase progettuale la presenza) e da uno studio attento del design delle turbine che, attraverso l'impiego di materiali sempre più innovativi e di soluzioni formali basate sulle caratteristiche aerodinamiche dei componenti, ha portato alla diffusione su questo segmento di mercato, prodotti di eccellente valenza estetica.



Fig. 6.1 – Le turbine WT400W e WT1KW disegnate da Philippe Starck

Gli impianti, come accennato precedentemente, sono classificati anche in base alla potenza da loro erogata. Tolti i generatori di dimensioni maggiori ed il medio eolico che arriva a 600 kW per ogni turbina, il mini-eolico comprende tutti quei dispositivi che vanno da 60 kW a meno di 1 k. Questi ultimi, di dimensioni più ridotte, vengono anche denominati micro-eolici.

Il settore eolico di piccola taglia, oggetto delle pagine successive di questo capitolo, va considerato in modo totalmente distinto rispetto a quello di generatori di dimensioni maggiori; questi impianti alla scala degli edifici presentano: caratteristiche tecniche, economiche, applicative ed aspetti normativi diversi dagli altri, non sono soggetti ad analisi e dibattiti sull'impatto paesaggistico, che sta caratterizzando la costruzione di megacentrali eoliche anche nel nostro paese.

6.1 L'impianto minieolico

Il minieolico è prevalentemente diffuso per servire utenze singole e spesso isolate; comunque parte dell'energia prodotta può, come per gli altri sistemi di generazione autonomi, essere immessa nella rete di distribuzione con i conseguenti aspetti economici e normativi; spesso, soprattutto per le utenze isolate, i sistemi minieolici sono affiancati ad altri impianti (fotovoltaici, solari termici, ecc.) per rendere completamente autosufficiente un edificio, in tal caso si parla di impianti ibridi.

I captatori vengono installati prevalentemente sulla copertura dell'edificio o a terra, ultimamente stanno prendendo piede impianti integrati in facciata con diverse soluzioni e configurazioni.

I generatori minieolici, per i loro impieghi, sono macchine con tecnologia, componenti tecniche e funzionamento molto più semplici rispetto alle turbine più grandi, questo ne riduce i costi e la necessità di manutenzione.

6.1.1 Componenti e funzionamento di un impianto

Sul mercato sono presenti infiniti modelli, alcuni apparentemente molto diversi tra loro, ma in generale ogni generatore eolico è composto da un dispositivo fatto da pale e fissato su un mozzo: questo congegno è il rotore. Una parte contenente diverse componenti e sistemi di controllo a cui è collegato il rotore è la

torre che costituisce la struttura alla quale è attaccata la navicella.

In breve, la dinamica che caratterizza il funzionamento di una miniturbina, è la seguente: il vento imprime una rotazione sulle pale che fanno girare il mozzo, questo è collegato ad un primo albero che ruota alla stessa velocità (detto albero lento), a sua volta l'albero lento è collegato ad un moltiplicatore di giri che si diparte nel secondo albero (detto albero veloce), questo ruota alla velocità del primo albero moltiplicata per il fattore dato dal moltiplicatore di giri; collegato a quest'albero c'è un freno, a valle del quale si trova il generatore elettrico dal quale partono i cavi. A tutto ciò si aggiunge un sistema di controllo per la potenza ed in alcuni casi, uno per l'imbardata.

Tutte le componenti sopra descritte, ad eccezione del rotore, sono alloggiare nella navicella che, nelle turbine più moderne, ha dimensioni sempre più ridotte.

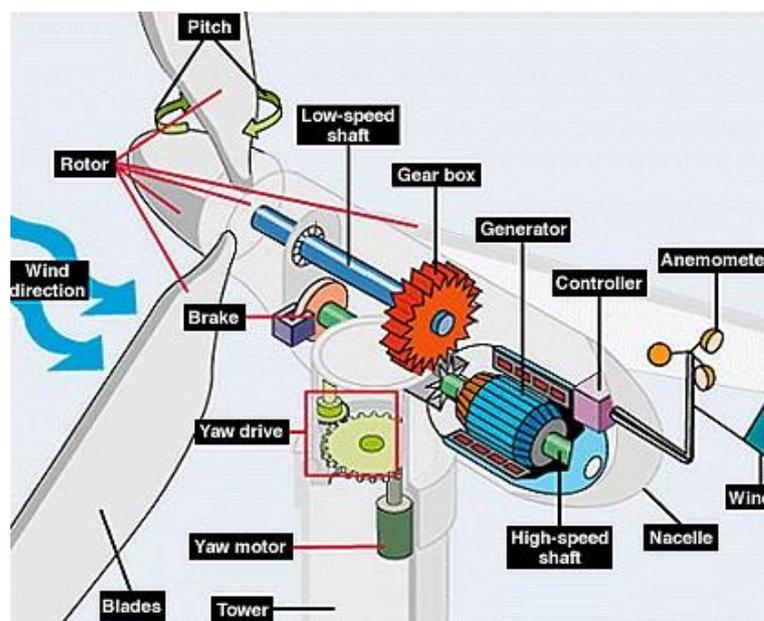


Fig. 6.1 – Schema di una turbina minieolica tipo

- Il **rotore**, nella gran parte delle ultime turbine prodotte, è generalmente tripala, anche se più costoso del bipala, consente una rotazione più omogenea e meno vibrazioni, riducendo la necessità di manutenzione. Ci sono, inoltre, dei rotori anche di dimensione molto ridotta e ad asse orizzontale, che presentano un numero di pale superiore a 3.
Le turbine vengono distinte in due grandi categorie: quelle ad asse verticale e quelle ad asse orizzontale; questa differenza, che riguarda in modo particolare la configurazione del rotore, verrà trattata nel paragrafo successivo.
- Il **moltiplicatore di giri** ha il compito di aumentare la velocità di rotazione trasmessa dal primo albero portandola da 30 - 60 giri/minuto a circa 1500 giri/minuto. Questo componente è fondamentale per il rendimento della macchina e può portarlo fino al 95%.
- Il **sistema di controllo** della velocità non è presente nelle turbine di piccola dimensione; questo dispositivo serve per bloccare il funzionamento dell'aerogeneratore in caso di malfunzionamento o di sovraccarico dovuto all'eccessiva velocità del vento. La tolleranza al carico del vento della turbina è legata alla struttura ed alle caratteristiche della stessa.
- Il **generatore elettrico** ha il compito di trasformare in energia elettrica l'energia cinetica impressa dalla rotazione delle pale, in questo caso la

corrente prodotta è di tipo alternato. Generalmente, nei minigeneratori, gli alternatori che trasformano la corrente sono a magneti permanenti; in condizioni ottimali è possibile convertire al massimo il 59% dell'energia meccanica in energia elettrica.

- Nelle turbine di piccole dimensioni è presente un **sistema di bloccaggio** o arresto del meccanismo privo di particolari caratteristiche tecnologiche, questo viene azionato in caso di manutenzione o di venti eccessivamente forti che possono compromettere la struttura della turbina. Esso è costituito da un freno meccanico a disco montato sull'albero veloce e da un interruttore che apre il circuito elettrico di sicurezza bloccando la turbina.
- La **torre** di una turbina minieolica è un componente estremamente semplice, essa costituisce il supporto con cui il generatore è montato sull'edificio o al suolo.

Le torri possono essere indipendenti, cioè reggersi autonomamente, o strallate; queste ultime risultano più leggere e si configurano, solitamente, come vere e proprie aste ancorate a diverse altezze da tiranti. Quest'ultima soluzione è molto frequente tra i prodotti del mercato degli Stati Uniti. Le turbine più leggere che adottano questo sistema spesso vengono incernierate alla base e regolate in altezza tendendo o meno i tiranti per facilitarne la manutenzione.

Le torri sono realizzate con i materiali più diversi che vanno dalle leghe metalliche a quelle più tecnologiche in fibre leggere.

Ci sono turbine prevalentemente microeoliche che, per la loro configurazione particolare, sono sprovviste di una vera e propria torre poiché utilizzano il rotore stesso come struttura non necessitano di raggiungere un'altezza rilevante rispetto al piano di montaggio.



Fig. 6.3 – Un sistema di turbine in plastica microeoliche Motorwind prive di torre

6.2 impiego ed installazione degli impianti

I limiti economici e logistici degli impianti eolici di grandi dimensioni e la facilità di reperire e sfruttare costantemente, soprattutto nelle aree rurali, il vento, ha favorito l'impiego e lo sviluppo del minieolico in tutto il mondo.

Come accennato precedentemente, gli impianti possono essere di tipo stand-alone (isolati) o grid-connected (connessi alla rete di distribuzione).

- Gli impianti **stand-alone** si sono diffusi a macchia di leopardo per la loro capacità di alimentare edifici in zone remote non servite o servite in modo scarso dalla rete di distribuzione.

E' possibile trovare delle applicazioni in realtà insulari o in ambienti rurali aperti dove c'è una grande quantità di vento, questi impianti spesso uniti ad impianti fotovoltaici, mini-idroelettrici o a diesel, rendono autonomi edifici singoli o interi gruppi di fabbricati. I vari sistemi possono funzionare in parallelo (con centraline di controllo che gestiscono e sincronizzano i vari componenti ed i carichi elettrici) o in serie.

In molte realtà europee o nordamericane, risulta sconveniente il mantenimento o l'allaccio alla rete di distribuzione, le turbine eoliche risultano dunque un'ottima alternativa per superare questi limiti. Il problema in questi casi è dato dal fatto che il vento non è costante; il sistema deve, dunque, essere provvisto di un impianto di accumulo per immagazzinare l'energia in eccesso. Di questi

impianti ce ne sono diverse tipologie che lavorano con sistemi diversi offrendo differenti possibilità e potenzialità d'impiego. Tra essi troviamo: sistemi elettrochimici (accumulo su batterie), sistemi idraulici e sistemi meccanici (che permettono l'accumulo di energia meccanica da convertire successivamente).

- Gli impianti **grid-connected** stanno prendendo piede più lentamente. Negli USA sono molto diffusi gli impianti di piccola taglia su edifici preesistenti per integrare l'apporto di energia fornita dalla rete; è possibile trovarli sia in ambito residenziale, in particolare su singole abitazioni private, che su edifici terziari; queste installazioni sono molto diffuse su complessi scolastici e campus universitari.

Generalmente questi impianti sono costituiti da una o più turbine di piccole dimensioni (da 1kW a 10kW ciascuna), essi sfruttano la rete elettrica come un grande accumulatore; infatti, quando la turbina produce una quantità di energia superiore alle necessità dell'utenza, la cede alla rete, viceversa quando non c'è abbastanza vento da soddisfare l'uso di corrente elettrica.

L'obbligo normativo da parte del gestore di elettricità di acquistare la corrente immessa nella rete da questi impianti ne ha favorito la diffusione, permettendo così ai privati di ammortizzare le spese sostenute per le installazioni.

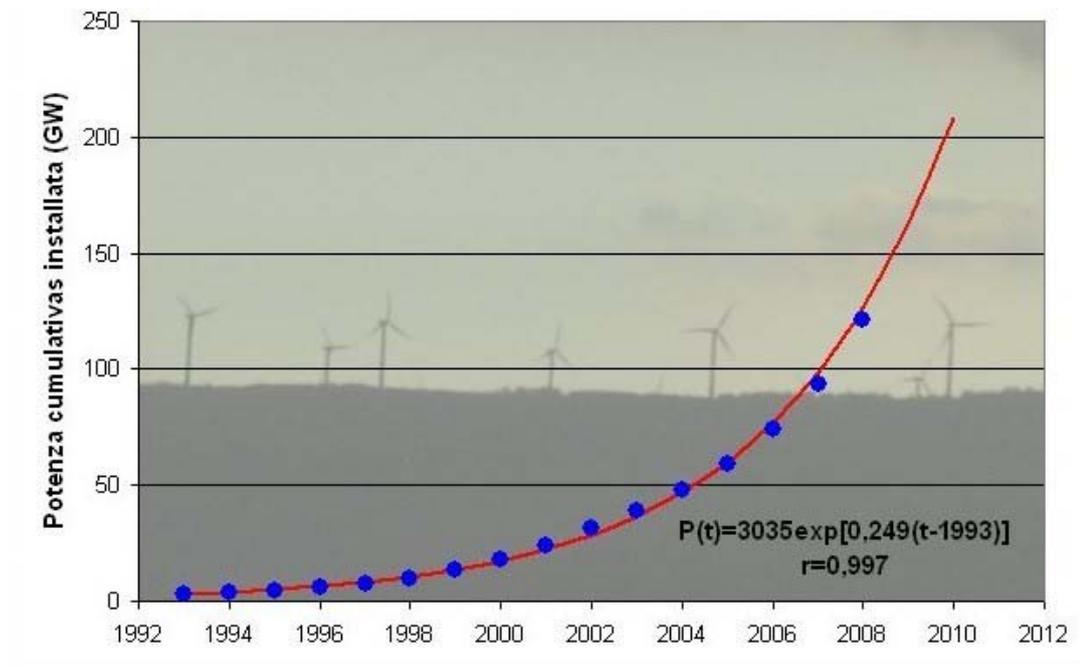


Fig. 6.4 – La diffusione dell'energia eolica nel Mondo – Fonte: BP

Nonostante che il 75% della popolazione mondiale viva attualmente nelle città e che gli edifici che occupano richiedono oltre il 40% dell'energia totale sul mercato, l'integrazione di questi dispositivi in ambiente urbano, in particolare sugli edifici, è scarsa rispetto alle altre tecnologie che sfruttano le rinnovabili, indipendentemente dalla disponibilità di vento.

Dal 1998 al 2000 l'UE ha finanziato il progetto WEB (Wind Energy for the Built environment) per studiare e sviluppare la diffusione e l'impiego di turbine minieoliche in ambiente urbano, favorendone l'applicazione nelle costruzioni per risolvere i problemi di efficienza soprattutto negli edifici preesistenti.

Questo progetto si è articolato essenzialmente in tre punti:

- l'installazione in particolare di turbine posizionate in spazi verdi limitrofi alle città;
- il montaggio di turbine su edifici preesistenti;
- l'integrazione architettonica di questa tecnologia su progetti di nuova costruzione, in modo da determinare la forma architettonica per ottimizzare lo sfruttamento del vento.

Lo sviluppo di quest'ultimo punto, fatto con modelli fisico-matematici e studio di modelli in scala nelle gallerie del vento, ha portato a determinare parametri e regole da applicare nella progettazione degli edifici. Un particolare modello sviluppato è UWECS (un acronimo che in italiano è: sistema urbano di conversione di energia eolica), un prototipo è stato progettato dagli architetti del Mecal Applied Mechanics e realizzato dalla società olandese Xkwadraat.

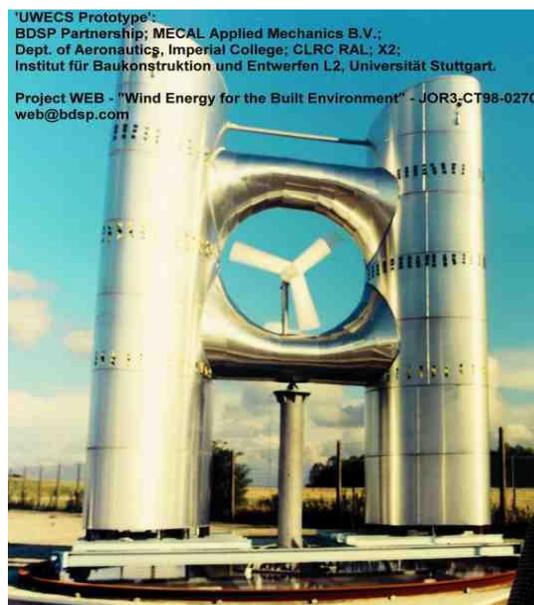


Fig. 6.5 – Un prototipo di UWECS

Successivamente il valore di queste ricerche è stato dimostrato dalla realizzazione dei diversi progetti quali il Baharain Trade Center di Shaun Killa o la Glass & Bedolla House di Zoka Zola.



Fig. 6.6 – Il Baharain Trade Center dello studio Atkins (2009) - Baharain

6.2.1 I vari aspetti dell'impianto

Per procedere all'istallazione di un impianto minieolico in un edificio bisogna tener conto di diversi aspetti nella fase progettuale, in cui, luogo di applicazione e caratteristiche del fabbricato determinano le innumerevoli scelte da compiere.

Per quanto riguarda il sito, vanno studiate in maniera dettagliata le caratteristiche anemologiche:

direzione del vento, presenza di venti costanti e periodici, velocità delle correnti. E' inoltre fondamentale studiare l'influenza su queste ultime di ostacoli vicini di qualsiasi natura. La presenza di edifici, alberi o la stessa conformazione del terreno determina e cambia in modo rilevante l'andamento dei venti.

Le caratteristiche del sito e degli edifici influiscono inoltre sui parametri di sicurezza e sull'impatto ambientale, oltre i quali è necessario scegliere un prodotto piuttosto che un altro.

In generale, infatti, le turbine minieoliche non hanno un impatto rilevante a livello paesaggistico - ambientale, ma spesso l'installazione delle turbine sugli edifici trasmette vibrazioni alla struttura edilizia e può causare danni al manufatto. Questo è un aspetto da prendere con le dovute precauzioni per il dimensionamento e il posizionamento dell'impianto, specie su edifici datati e costruiti con tecnologie obsolete o in cattivo stato di manutenzione.

Un altro aspetto impattante, a cui bisogna prestare attenzione nell'applicazione delle turbine in ambito urbano ed in generale sugli edifici, è l'inquinamento acustico, nonostante che con l'evolversi della tecnologia, le turbine prodotte sono sempre più silenziose. Gli impianti di piccola scala ruotano a velocità angolari maggiori a quelli più grandi. Questo provoca dei rumori più evidenti, infatti, la distanza ridotta tra i dispositivi e l'utenza aggrava questo aspetto.

Possono inoltre causare dei problemi o rappresentare un aspetto negativo determinante le ombre proiettate da

turbine in movimento all'interno di ambienti abitati; generalmente questo inconveniente è ridotto o evitato totalmente nella maggior parte dei casi in cui l'impianto viene posto sulla copertura dell'edificio.

La natura dell'edificio determina la scelta della turbina sia per la quantità di energia di cui è necessario disporre che per la collocazione che si intende dare ai captatori eolici. Infatti ogni prodotto necessita di un'altezza minima per funzionare in maniera ottimale. Generalmente una turbina che sviluppa 5 kW necessita di essere posta ad una quota minima di 10 metri dal suolo. Qualora la turbina dovesse essere installata in facciata o in copertura, saranno le dimensioni e la forma dell'edificio a determinare posizione, tipologia, modello di turbina e conseguentemente il numero di captatori che potranno installarsi.

L'altezza, la quantità di spazio disponibile, le caratteristiche del sito determinano anche la scelta del tipo di torre di supporto e di tecnologia con la quale la turbina viene ancorata. Generalmente in ambiente urbano viene fissata con diversi tiranti o prevista di particolari strutture aggiuntive che, in caso di rottura, bloccano il dispositivo non permettendone la caduta su cose o persone ed il danneggiamento di manufatti circostanti.

Questo punto fa parte dei numerosi aspetti che riguardano la sicurezza dell'impianto; tra essi un notevole peso è attribuito alle modalità di manutenzione, attività da svolgere periodicamente a turbina assolutamente bloccata dal dispositivo franante o da rimandare in caso di ventosità eccessive.

Gli interventi di manutenzione di turbine incernierate vengono svolti regolando l'altezza con i tiranti, mentre per i dispositivi non incernierati le operazioni vengono svolte direttamente all'altezza del captatore; per questo, ove possibile, viene previsto già in fase progettuale la presenza di apposite piattaforme o passerelle con sistemi di scale, per evitare l'impiego di piattaforme mobili e gru.

L'installazione di un impianto minieolico comporta diversi costi da parte dell'utenza estremamente variabili in base al tipo d'impianto, al sito e all'applicazione specifica che necessita. Generalmente si parte da un minimo di 2000 euro per kilowatt installato. La spesa è determinata da

- costi dell'aerogeneratore;
- costi di progettazione;
- costi delle opere accessorie;
- costi di esercizio;
- costi di manutenzione e dei canoni.

A fronte di questi oneri i ricavi scaturiscono da:

- vendita di energia elettrica;
- risparmio di energia;
- proventi derivanti da eventuali incentivi normativi e dalla vendita dei certificati verdi.

6.3 La turbina

Negli impianti eolici, la turbina è il dispositivo atto a captare direttamente dal vento l'energia cinetica, questa è la parte più rilevante per quanto riguarda la caratterizzazione della forma del sistema.

Nel campo degli impianti di piccole dimensioni, la ricerca tecnologica si è concentrata molto sulle caratteristiche funzionali, tecniche ed estetiche. Il mercato offre un'infinità di soluzioni che si differenziano per forma, materiali, funzionamento e potenza, favorendo l'integrazione architettonica.

Va altresì detto che per quanto riguarda le installazioni sul patrimonio edilizio esistente, si fa meno attenzione a compiere delle scelte di prodotti che riducano l'impatto con l'edificio o contribuiscano a migliorarne l'immagine, anche perché, specie in quest'ultima alternativa, il montaggio richiederebbe una progettazione di apposite strutture aggiuntive costruite ad hoc per un tipo di captatore su uno specifico edificio, e ciò, oltre a determinare una spesa sicuramente maggiore, non sempre può essere realizzato dal punto di vista normativo o strutturale.

Nei casi di applicazione su edifici esistenti, gli interventi risultano delle semplici installazioni, prevalentemente in copertura, che dal punto di vista estetico, appaiono come delle appiccicature sull'immagine, a volte poco piacevoli, del manufatto.

Il discorso cambia per le integrazioni su edifici di nuova costruzione, in questi l'inserimento già in fase progettuale vera e propria di impianti minieolici, ha prodotto dei risultati estremamente interessanti dal

punto di vista tecnologico. I dispositivi sono inseriti in un sistema organico costruttivo con lo stesso peso di ogni altro elemento; questo determina l'immagine complessiva dell'edificio, la sua forma, i materiali da usare e spesso la distribuzione degli spazi.



Fig. 6.7 – Kinetica Building di Waugh Thistleton (2009) - Perrysburg (UK)

Gli impianti si classificano in base alle turbine, sostanzialmente ci sono aerogeneratori ad **asse orizzontale** e ad **asse verticale**.

- **Le turbine ad asse orizzontale**, ovvero HAWT (in inglese Horizontal Axis Wind Turbines), presentano l'asse del rotore in direzione parallela alla direzione del vento e le pale ruotano perpendicolarmente ad esso.

Tra esse ci sono le **turbine ad elica** o **bipala**, esse offrono una resistenza minima al vento ed una potenza elevata per le sue velocità di rotazione molto alte.



Fig. 6.8 – Turbina bipala

Tra le **turbine multipala**, generalmente, come accennato precedentemente, la tripala è il tipo più diffuso, specie per impianti di piccole dimensioni, anche se ci possono essere rotorii con più di 18 pale.



Fig. 6.9 – Turbina multipala

Una tipologia ormai meno in uso è il **mulino cretese** in cui il rotore è costituito generalmente da otto braccia con triangoli di stoffa, la cui superficie può essere regolata in base al vento disponibile.



Fig. 6.9 – Mulino cretese

- **Le turbine ad asse verticale**, ovvero VAWT (in inglese Vertical Axis of Wind), hanno il rotore perpendicolare alla direzione del vento, esse sono tra le più antiche prodotte dall'uomo. Utilizzate per pompare l'acqua per l'irrigazione dei campi, è su di

queste che la ricerca tecnologica attuale nel segmento minieolico, si sta concentrando maggiormente.

I vantaggi offerti sono: il costante funzionamento indipendentemente dalla direzione del vento e la maggior resistenza alle sollecitazioni delle correnti.

Tra i principali tipi di queste turbine ci sono i **rotori Windside**, con rendimenti del 30-50% in più rispetto alle tecnologie tradizionali.



Fig. 6.10 – Turbina Windside

L'**aerogeneratore W.M.** per attenuare l'azione del controvento ha delle semipale che si aprono nella fase passiva e si chiudono in quella attiva. Tra questo gruppo c'è la turbina **Kobold** con un articolare sistema

automatico per minimizzare la resistenza in fase passiva.

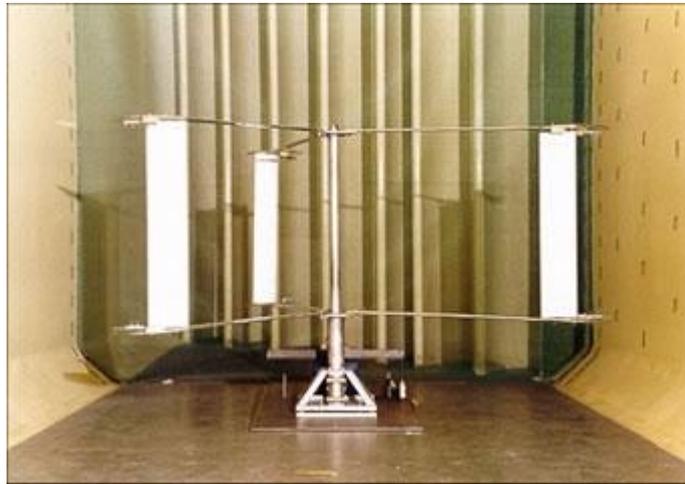


Fig. 6.11 – Turbina Kobold

La **turbina Darrieus**, può essere tripala o bipala ed avere un forma a fuso, ad H o rettangolare; è molto veloce, poco rumorosa, lavora a basso vento e spesso la coppia di spunto molto bassa non permette a questo dispositivo di avviarsi spontaneamente.



Fig. 6.12 – Turbina Darireus bipala



Fig. 6.13 Turbina Darrieus tripala

Il **rotore Savonius**, la cui semplicità lo rende adatto anche all'autocostruzione da parte di singoli utenti, è caratterizzato da una forte coppia di spunto che gli consente di avviarsi da solo anche con poco vento, ma non è particolarmente adatto a forti correnti ventose.



Fig. 6.14 – Turbina Savonius

6.3.1 Schede di prodotti

Di seguito sono state riportate alcune turbine minieoliche disponibili sul mercato, scelte tra la moltitudine di prodotti diffusi su larga scala.

Queste schede hanno la funzione di fornire degli esempi su alcuni dei sistemi minieolici più diffusi nell'ambito dell'integrazione architettonica.

	<p>PRODUTTORE: SOLAR LED LAMPS</p> <p>MODELLO: BIA</p> <p>TIPO: TRIPALA ASSE ORIZZONTALE</p> <p>POTENZA: 2,5 kW</p> <p>DIAMETRO: 3,2 METRI</p>
	<p>PRODUTTORE: MINIWIND</p> <p>MODELLO: MINIWIND 2200 RANGE</p> <p>TIPO: MULTIPALA ASSE ORIZZONTALE</p> <p>POTENZA: 2,2 kW</p> <p>DIAMETRO: 1,8 METRI</p>
	<p>PRODUTTORE: SWIFTWINDTURBINE</p> <p>MODELLO: SWIFT</p> <p>TIPO: MULTIPALA ASSE ORIZZONTALE</p> <p>POTENZA: 1,5 kW</p> <p>DIAMETRO: 2,1 METRI</p>

	<p>PRODUTTORE: TOZZI NORD</p> <p>MODELLO: TN 1,5</p> <p>TIPO: DARRIEUS TRIPALA</p> <p>POTENZA: 1,5 kW</p> <p>DIAMETRO: 1,78 METRI</p>
	<p>PRODUTTORE: IT-ENERGY</p> <p>MODELLO: WINDENERGY 1 KW</p> <p>TIPO: TRIPALA ASSE ORIZZONTALE</p> <p>POTENZA: 1 kW</p> <p>DIAMETRO: 2,5 METRI</p>
	<p>PRODUTTORE: ENERVOLT</p> <p>MODELLO: FORZA 7</p> <p>TIPO: WINDSIDE</p> <p>POTENZA: 3,1 kW</p> <p>DIAMETRO: 0,9 METRI</p>
	<p>PRODUTTORE: QUITEREVOLUTION</p> <p>MODELLO: QR5</p> <p>TIPO: DARRIEUS TRIPALA</p> <p>POTENZA: 8,2 kW</p> <p>DIAMETRO: 3,1 METRI</p>

	PRODUTTORE:
	PREVAILING ENERGY
	MODELLO:
	ZEPHYR 2
	TIPO:
	WM
	POTENZA:
2 kW	
DIAMETRO:	
1,9 METRI	

	PRODUTTORE:
	LOOPINGWING
	MODELLO:
	TRONS
	TIPO:
	DARRIEUS ASSE ORIZZONTALE
	POTENZA:
0,5 kW	
DIAMETRO:	
1,5 METRI	

	PRODUTTORE:
	WINDSD
	MODELLO:
	WINDSD 3
	TIPO:
	POTENZA:
3,2 kW	
DIAMETRO:	
2,7 METRI	

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La ricerca tecnologica, le politiche a livello mondiale, l'attenzione sempre più determinante verso il tema dell'energia, hanno fatto emergere la volontà, poco evidente fino a 10 fa, di vivere e realizzare edifici che, da un lato consentano di limitare l'uso di energia per gli svariati impieghi cui è destinata, dall'altro di gestire la produzione di questa energia anche negli stessi singoli luoghi in cui essa viene consumata, ricorrendo alle fonti rinnovabili, quali sole e vento, presenti, anche se in maniera differenti, in ogni luogo del nostro pianeta.

L'impatto delle rinnovabili sul campo dell'edilizia, sta producendo una rivoluzione ad ogni livello con un processo che coinvolge produttori di componenti, imprese costruttrici, progettisti, politici e soprattutto utenti.

Questi sono i soggetti da cui nasce una nuova filosofia progettuale e di gestione degli edifici, in cui l'energia ed il suo consumo è al centro.

L'impiego delle rinnovabili in architettura assume un valore fondamentale nell'ambito della riqualificazione degli edifici, specie nel nostro paese, dove il tasso di costruzione ex-novo è in declino dagli anni '80¹ ed il parco edilizio esistente è costituito per oltre l'70%² da manufatti assolutamente non efficienti dal punto di vista dei consumi energetici progettati con criteri obsoleti.

Tra essi gli edifici di valore storico-culturale ed il parco edilizio pubblico sono quelli che più soffrono di queste carenze ed è in particolare su questi ultimi

che, anche a livello Europeo, si stanno rivolgendo le politiche atte a ridurre i consumi, con obiettivo un ingente risparmio per i cittadini, l'accrescimento del valore degli immobili e la sensibilizzazione della popolazione verso il tema energetico-ambientale.

L'eterogeneità degli edifici in cui vengono applicati impianti ad energie rinnovabili presuppone diverse esigenze e quindi diversi tipi d'approccio.

Una parte di questi interventi, non molto rilevante dal punto di vista numerico, è caratterizzata da un approccio sperimentale, in questi progetti tali sistemi contribuiscono alla creazione di una nuova immagine del manufatto, assumendo anche funzioni aggiuntive oltre a quella impiantistica.

Assumono un ruolo importante, specie nel nostro paese, data la consistenza del patrimonio edilizio, i progetti di riqualificazione energetica di edifici con una valenza storico-culturale, in cui l'impatto dei sistemi energetici che ricorrono alle rinnovabili deve essere minimo sulle caratteristiche preesistenti; in questi casi le scelte progettuali devono essere prese con l'intento di mitigare l'impatto tra le parti aggiunte ed il manufatto.

La maggior parte degli interventi di retrofit energetico, specie in ambito residenziale, si risolve nel semplice montaggio di captatori di energie rinnovabili. Nella quasi totalità dei casi di installazione di impianti eolici di piccola taglia su edifici esistenti, il risultato finale appare come una semplice "appiccicatura" sull'organismo edilizio, priva di un vero e proprio progetto di integrazione.

In questi processi, spesso, non è nemmeno presente la figura dell'architetto poiché ritenuto superfluo.

Questi interventi non portano all'edificio vantaggi evidenti dal punto di vista energetico e prestazionale, ma vengono fatti semplicemente per accedere a determinati contributi previsti dalle normative e/o per giustificare indebitamente un accrescimento del valore degli immobili.

Ci sono casi di progetti con un forte intento sperimentale in cui i risultati ottenuti sono stati controproducenti per l'efficienza energetica; nonostante ciò, l'applicazione diretta sul campo di tecnologie innovative, mai usate prima, ha costituito un forte impulso per la ricerca ed il miglioramento, favorendo una diffusione sempre maggiore di prodotti applicati all'architettura.

L'innovazione che caratterizza il settore delle rinnovabili necessita sempre di più di operatori e progettisti con conoscenze specifiche. Su questi soggetti ricade gran parte della responsabilità per la diffusione di queste tecnologie; è perciò che sul panorama professionale sono presenti sempre più figure con un alto tasso di specializzazione, sconosciute fino a pochi anni fa.

Il complesso problema del risparmio energetico in architettura è condizionato dallo sviluppo di una cultura diffusa sul tema; è necessaria la consapevolezza che risparmiare sui consumi non significa solo avere una bolletta energetica meno costosa, ma anche rispettare l'ambiente, contribuire al mantenimento della bilancia dei pagamenti in termini possibili per la collettività, specie per paesi grandi importatori di combustibili come

l'Italia e restituire alle città condizioni di vivibilità.

Il mondo dei soggetti che gravita intorno all'architettura, specie negli ambienti accademici, per molto tempo è stato restio a valutare il tema dell'energia come fondamentale per il progetto.

Un edificio è veramente innovativo quando i sistemi che ricorrono alle energie rinnovabili vengono inserite in un progetto organico, cioè che ne tenga conto in ogni sua fase come qualsiasi altro componente architettonico.

Nei progetti caratterizzati da questo tipo di sensibilità e prerogative, in genere, i materiali vengono scelti in maniera estremamente attenta ed accurata in base alle esigenze ed alle caratteristiche della preesistenza; le soluzioni tecnologiche ed i componenti adottati prevalentemente vengono progettati ad hoc per l'edificio specifico a cui vengono destinati, permettendo di raggiungere un'elevata qualità architettonica altrimenti non conseguibile con la semplice applicazione di soluzioni standard adattate in modo "forzato".

Quando realizzato in questi termini, l'inserimento di un impianto ad energia rinnovabile in un progetto di riqualificazione, conferisce al manufatto un notevole valore aggiunto, dato dalla qualità e dall'unicità della realizzazione.

Da queste opinioni divergenti sulla sostenibilità, nasce anche la questione su quale immagine debba avere attualmente l'architettura ispirata a questo concetto.

Il dibattito è tutt'ora aperto ed attualmente il problema è di difficile soluzione per l'eterogeneità

delle realizzazioni, per la loro ancora insufficiente diffusione e per le idee in merito discordanti.

Probabilmente sarà il tempo e le esperienze accumulate che permetteranno il maturare di una visione condivisa, che faccia da base culturale a questa nuova concezione dell'architettura, come è avvenuto in altri momenti della storia di questa disciplina, in cui la convergenza più o meno spontanea di idee e progetti ha portato alla nascita di veri e propri movimenti che hanno segnato nel profondo il modo di concepire gli edifici.

¹Dati del 2009, www.istat.it.

²www.legambiente.it.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Fonti Rinnovabili di Energia, obiettivi e strategie nazionali, lo stato dell'arte*, Roma, ENEA , 2000.
- AA.VV., *Libro Bianco "Energia, Ambiente, Edificio"*, Milano, Il Sole 24 ore, 2004.
- AA.VV., *Solare termico - guida per progettisti ed installatori*, Roma, ISES, 2004.
- AA.VV., *Costruire sostenibile l'Europa*, Firenze, Alinea, 2002.
- Abbate Cinzia, *L'integrazione architettonica del fotovoltaico*, Roma, IEA, 2002.
- Ceccherini Nelli Lucia, *Fotovoltaico in architettura*, Firenze, Alinea Editrice, 2006.
- Ceccherini Nelli Lucia, *Schermature Fotovoltaiche*, Firenze, Alinea Editrice, 2007.
- Citterio Marco, Fasano Gaetano, Manna Carlo, Notaro Carmela, *Da ENEA una proposta per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio pubblico*, Riv. ArpaRivista n.3 anno 2009.
- Del Corno Barbara e Mottura Giovanna, *L'integrazione architettonica dei sistemi fotovoltaici*, Firenze Maggioli Editore, 2009.
- Erlacher Peter, *Riqualificazione energetica degli edifici esistenti*, Varese, Padovani Editrice, 2009.
- Fasano Gaetano, *Riqualificazione energetica degli edifici esistenti: progetto/componenti/tecnologia*, Milano, Edizioni Ambiente, 2009.
- Franco Giovanna, *Riqualificare l'edilizia contemporanea*, Milano, FrancoAngeli, 2003.
- Gipe Paul, *Elettricità dal vento – impianti di piccola scala*, Roma, Franco Muzzio Editore, 2002.
- Grecchi Manuela e Elisabetta Laura, *Ripernsare il costruito: il progetto di recupero e rifunzionalizzazione degli edifici*, Rimini, Maggioli Editore, 2008.
- Grosso Mario, Peretti Gabriella, Piardi Silvia, Scudo Gianni, *Progettazione ecocompatibile dell'architettura*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2005.
- Malighetti Lucia, *Recupero edilizio e sostenibilità*, Milano, ilSole24ore, 2004.
- Masera Gabriele, *Residenze e risparmio energetico*, Milano, Il Sole 24 ore, 2004.

- Novi Fausto, *La riqualificazione sostenibile*, Firenze, Alinea, 1999.
- Paolella Adriano e Minucci Rita, *Cambiamenti climatici ed edilizia*, Riv. Attenzione n.19 anno 2003.
- Ponzini Carlo, *L'Edificio energeticamente sostenibile*, Rimini, Maggioli Editore, 2009.
- Sala Marco, *Recupero Edilizio e bioclimatica*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2001.
- Siragusa Luca, *Energia del sole e dell'aria come generatrice di forme architettoniche*, Padova, Cleup, 2009.
- Trio Oronzo, *Innovazione e risparmio energetico*, Milano, Franco Angelo Editore, 2008.

SITOGRAFIA

- ec.europa.eu
- www.constructitalia.com
- www.europaconcorsi.com
- www.100ambiente.it
- www.ab-solgaarden.dk
- www.aevarchitetti.it
- www.arch.hku.hk
- www.archimagazine.com
- www.archimagazine.com
- www.bear.nl
- www.bine.info
- www.bioarchitetturafengshui.it
- www.bioecolab.it
- www.bluminipower.it
- www.casaclima.com
- www.casaclima.com
- www.energie-projekte.de
- www.energie-rinnovabili.net
- www.enob.info
- www.erlacher-peter.it
- www.eurosolaritalia.org
- www.fabrizioviola.com
- www.fabrizioviola.com
- www.genitronsviluppo.com
- www.hku.hk
- www.iea-pvps.org
- www.isesitalia.it
- www.istat.it
- www.kisscathcart.com

- www.koehler&meinze.de
- www.legambiente.it
- www.mdbr.it
- www.minwatt.it
- www.mygreenbuildings.org
- www.quiterevolution.com
- www.samynandpartners.be
- www.scienzagiovane.unibo.it
- www.shc.com
- www.solarcentury.com
- www.solarthermie2000plus.de
- www.swiftwindturbine.it
- www.taed.unifi.it
- www.terna.it
- www.ujean.es

ALLEGATO

SCHEDE DEI CASI STUDIO

INDICE DEI CASI STUDIO

1	MUSEO DEI BAMBINI	ROMA - ITALIA	MUSEO	PV
2	SEDE CENTRALE ECN	PETTEN - OLANDA	UFFICI	PV
3	ISTITUTO TECNICO	UMBERTIDE - ITALIA	SCUOLA	PV/ST
4	POLO SCIENTIFICO	SESTO FIORENTINO - ITALIA	UNIVERSITA'	PV
5	CAMPUS LAS LAGUNILLAS	JEAN - SPAGNA	UNIVERSITA'	PV
6	AULA PAOLO VI	CITTA' DEL VATICANO - ITALIA	AUDITORIUM	PV
7	CASTELLO DI GROENHOF	FLOUNDERS - BELGIO	RESIDENZA	PV/ST
8	CONDOMINIO PRIVATO	VERONA - ITALIA	RESIDENZE	PV
9	CASA A RALEIGH ROAD	LONDRA - UK	RESIDENZA	PV
10	BOWATER HOUSE	WEST MIDLAND - UK	RESIDENZE	PV
11	RIFUGIO ALPINO	TRENTO - ITALIA	AGRITURISMO	PV/ST
12	ABITAZIONE SOLGARDEN	KOLDING - UK	RESIDENZA	PV
13	EDIFICIO WILLIAM	BOSTON - USA	UFFICI	PV
14	EDIFICIO NORTHUMBERLAND	NORTHUMBRIA - UK	UNIVERISTA'	PV
15	MINISTERO DELL'AMBIEBTE	MONACO - GERMANIA	AMMINITRAZIONE	PV
16	REICHSTAG	BERLINO - GERMANIA	AMMINITRAZIONE	PV
17	STAZIONE DELLA METROPOLITANA	NEW YORK	STAZIONE	PV
18	EDIFICIO MWB	BAMBERG - GERMANIA	UFFICI	PV
19	EDIFICIO SCOLASTICO	BALE - SVIZZERA	SCUOLA	PV
20	SCUOLA PRIMARIA E SECONDARIA	EGGENSTAIN - GERMANIA	SCUOLA	ST
21	SEDE MAJER INC. - WALKER	WALKER - USA	COMMERCIALE	EO
22	CITY HOUSE	CROYDON - USA	AMMINITRAZIONE	EO
23	STAZIONE DI RIFORMIMENTO	WEST YARMOUTH - USA	GAS STATION	EO
24	CITY HALL	RENO - USA	AMMINITRAZIONE	EO
25	ABBEY PARK CAMPUS	LEICESTER - UK	UNIVERSITA'	EO
26	KINIG'S COLLEGE	WIMBLEDON - UK	UNIVERSITA'	EO



	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	Comune di Roma	MdBR Scalr Onlus
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1920	1999 - 2001
DESTINAZIONE D'USO:	deposito mezzi pubblici	spazi espositivi e didattici
SEDIME COMPLESSIVO:	1500 mq	1500 mq
ALTEZZA MASSIMA:	12 m	12 mq
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto PV (40%)

LOCALIZZAZIONE:

Roma, Italia

CONTESTO:

centro storico

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione, retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

Studio Abbate & Vigevano

TIPO DI CAPTATORE:

fotovoltaico con celle di silicio policristallino

POSIZIONE CAPTATORI:

lucernari in copertura, pensiline

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

142 mq (lucernario)+76 mq (pensiline) = 218 mq

POTENZA NOMINALE:

8,2 kWp (lucernario)+7 kWp (pensiline) = 15,2 kWp



CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

L'edificio si trova nella zona storicamente denominata "Spazio Flaminio", tra la parte meridionale di Villa Borghese e Piazza del Popolo, sito nell'ex deposito tranviario di proprietà comunale; l'intervento di ristrutturazione dei manufatti sorti tra il 1870 ed il 1920 è stato il volano per una grande opera di riqualificazione urbanistica di quest'area degradata della città, la superficie coperta misura 2500mq inseriti in 3000 mq di parco.

La principale sala espositiva è stata ricavata da un padiglione dalla struttura in ghisa progettata dall'ingegnere francese Polenceau e completamente recuperata e portata all'esterno della tamponatura, il progetto è basato sulla trasparenza, da qui l'intento di rendere determinate il rapporto con l'esterno, questa caratteristica è garantita dall'utilizzo di pareti vetrate e lucernari fotovoltaici che permettono, tramite l'utilizzo di sistemi meccanizzati, di controllare ed ottimizzare l'ingresso della luce naturale nelle varie condizini di illuminazione e di clima (fig. 1.9), cambiando così anche l'immagine trasmessa dell'edificio nelle diverse ora della giornata.

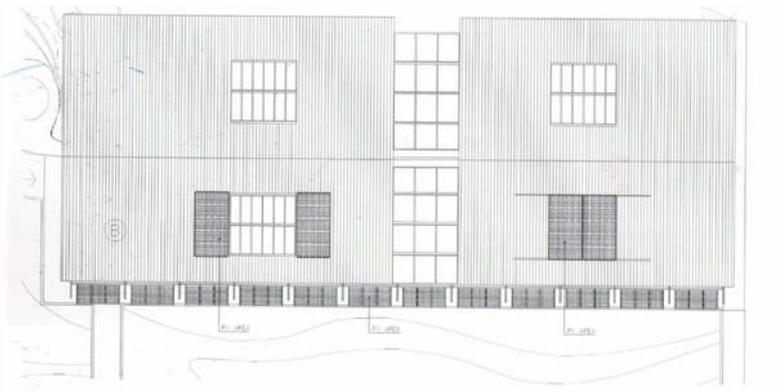
DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'impianto fotovoltaico è costituito da due sistemi inseriti nei lucernari e nelle pensiline integrati nel padiglione espositivo (fig. 1.1, 1.2, 1.4); il primo sistema da 8,2 kw ha sostituito parte delle tegole della vecchia copertura con un lucernario composto da moduli fotovoltaici trasparenti quadrati in doppio vetro da 1145 m (fig. 1.3, 1.5), la copertura utilizza un telaio in alluminio, vengono lasciate a vista tutte le scatole di giunzione dei moduli dei motori che permettono il movimento di alcune sezioni del lucernario, quest'ultimo raccordato alla struttura in ghisa con vetri trasparenti.

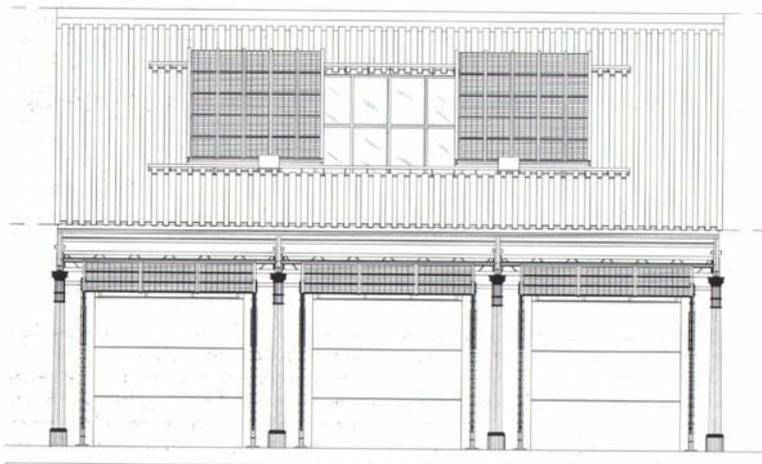
Il sistema fotovoltaico a pensilina da 7 kw funziona con sezioni fisse e mobili fornendo una schermatura alla facciata sud ed impiega moduli PV da 555 mm x 1255 mm, i motori e le parti meccaniche sono prodotti industrialmente ed a trasmettere il movimento sono dei bracci lenticolari posti in corrispondenza dei pilastri (fig. 1.6, 1.7, 1.8).

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

L'enfasi di evidenziare, per motivi insiti nella funzione didattica primaria di questo museo, il ricorso alle energie rinnovabili ha portato a caratterizzarne in modo determinante l'estetica, adottando soluzioni che, pur essendo innovative e conferendo un'immagine apprezzabile all'edificio, risultano eccessivamente dispendiose in fase di realizzazione e manutenzione, in relazione al beneficio apportato in termini energetici. Emerge inoltre, anche dalle testimonianze dirette, come l'introduzione del fotovoltaico solo nelle ultime fasi progettuali abbia pregiudicato la possibilità di avere un approccio totale ed organico ad una progettazione sostenibile, che non risultasse l'assemblaggio di due progetti: uno di restauro e l'altro di retrofitting energetico seppur ben operato.



1.1 Pianta copertura



1.2 Prospetto lato sud



1.3 Particolare lucernario FV



1.4 Vista del padiglione espositivo



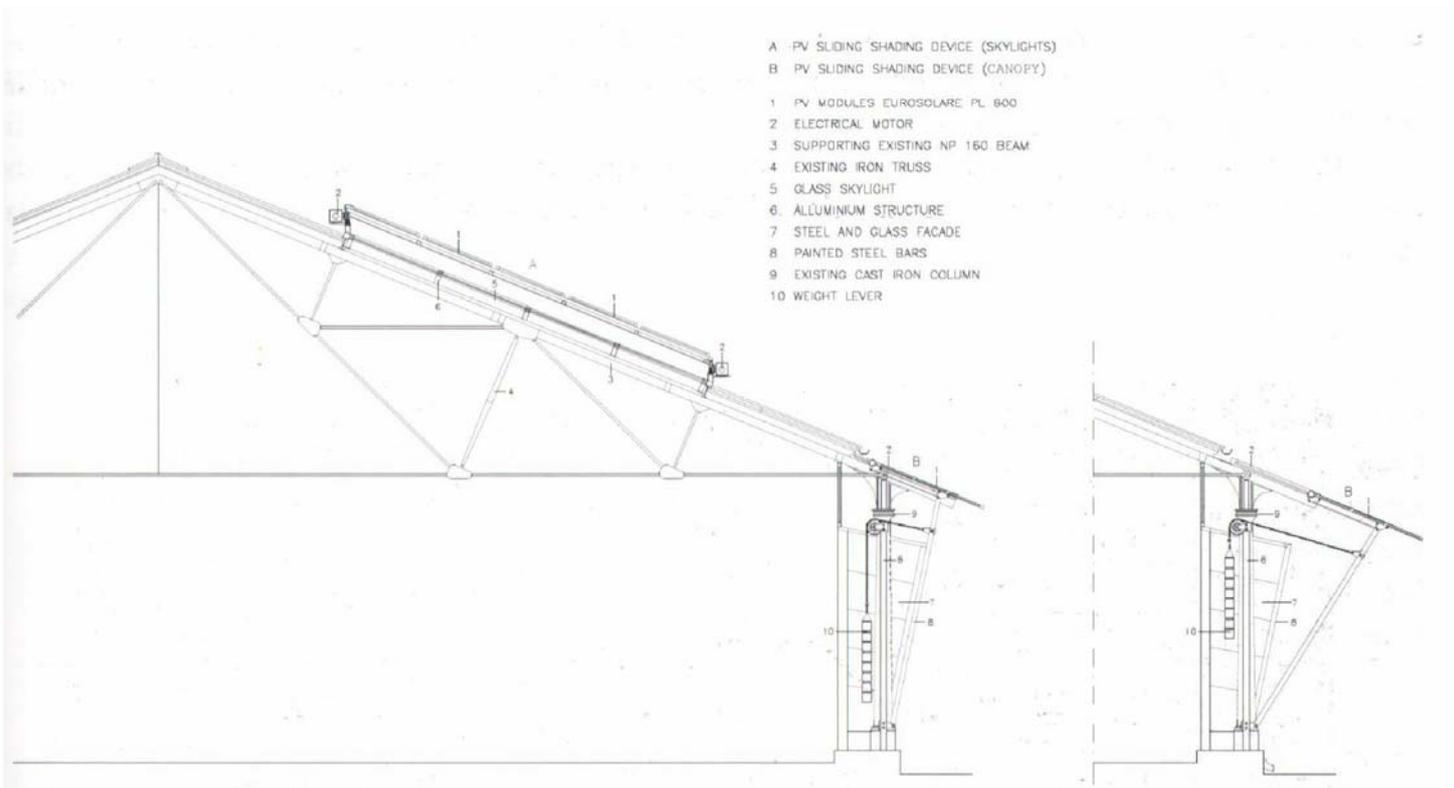
1.5 Vista interno padiglione espositivo



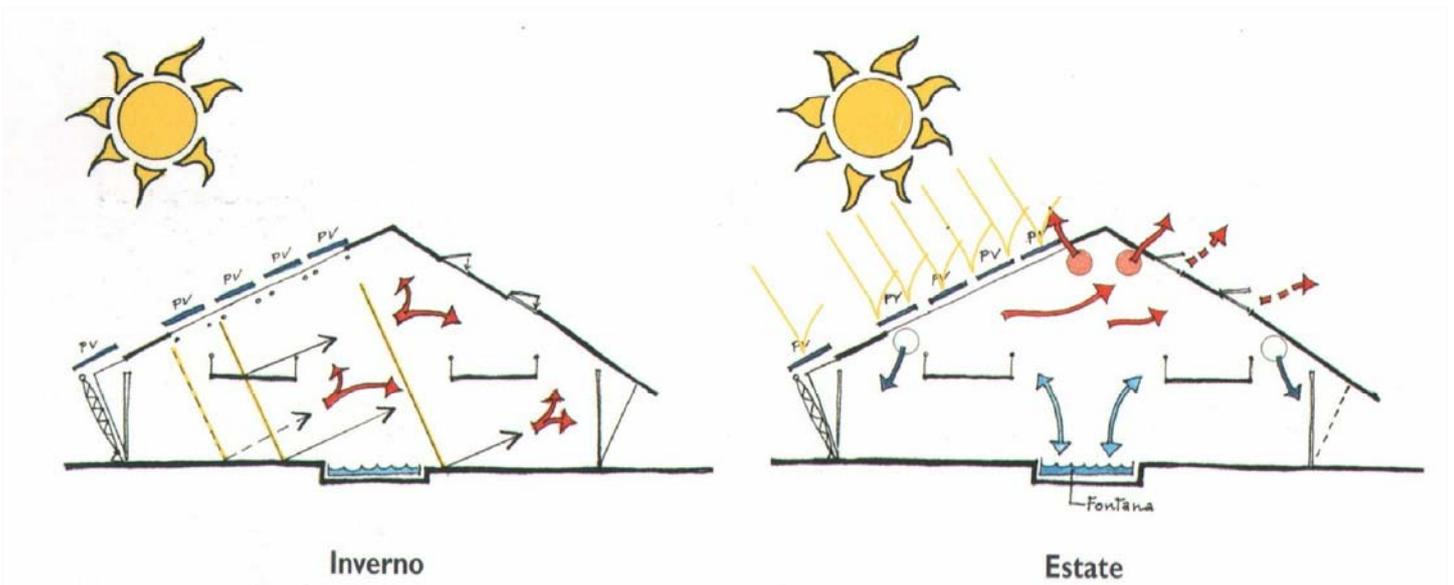
1.6 Particolare pensiline FV



1.7 Struttura pensiline fotovoltaiche



1.8 sezione degli impianti PV nel padiglione espositivo



1.9 schema climatico nelle vari stagioni

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	società privata	società privata
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1963	1999-2000
DESTINAZIONE D'USO:	uffici - laboratori	uffici - laboratori
SEDIME COMPLESSIVO:	750 mq	750 mq
ALTEZZA MASSIMA:	15 m	16 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto PV

LOCALIZZAZIONE:

Petten , Olanda

CONTESTO:

periferia industriale

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione, retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

BEAR Architecten, Studio Abbate & Vigevano

TIPO DI CAPTATORE:

pannelli fotovoltaico in silicio policristallino

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura, facciata

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

700 mq

POTENZA NOMINALE:

71 kW

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

L' area si trova a nord del villaggio di Petten a 100 metri dal Mare del Nord, questa vicinanza che ha determinato la corrosione ed il rapido deterioramento dei materiali impiegati negli anni '60 per l'edificazione.

L'edificio del 1963, chiamato anche "edificio 31", ospita uffici e laboratori e occupa un sedime di 3530 mq, l'intervento mirato a consolidare strutturalmente, a rendere minimi i consumi migliorandone l'isolamento ed a introdurre un impianto PV d'avanguardia, ha fatto sì che anche la distribuzione interna venisse rivista, ponendo tutti i laboratori a nord e gli uffici a sud.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'obiettivo primario è stato quello di ridurre del 75% il consumo energetico per il riscaldamento e del 35% il fabbisogno energetico da qui la scelta di integrare un impianto PV composto essenzialmente da tre parti: i frangisole in facciata sud, la pensilina che si trova sopra tutta la facciata sud e la copertura (fig. 1.1, 1.2). Il frangisole riduce dell'85% l'irradiazione solare diretta, è composto da 13 stringhe di lamelle, tutte fisse ed inclinate di 37° rispetto all'orizzonte trenne che una fila per piano a cui è consentito il movimento, poichè dagli studi emergeva che un sistema di motorizzazione non avrebbe portato i benefici a fronte dei costi di realizzazione; ciascuna lamella misura 300 cm ed è larga 84 cm, sulla parte frontale è coperta da da moduli PV standard policristallini da 478 mm x 1006 mm (in tutto 546), è composta da una lamina d'alluminio verniciata e piegata forata sul retro per areazione e cablatura dei moduli (fig. 2.3); sono montate su una griglia di profilati verticali IPE 120 ricoperti da un carter d'alluminio attaccata all'altezza dei solai e su cui s'aggancia un intelaiatura metallica per garantire la pulizia e la manutenzione della facciata (fig. 2.5, 2.6).

Il sistema di copertura è stato ideato come parasole per il raffrescamento passivo del tetto, nello spazio che intercorre tra i due sono state collocati condotti ed installazioni tecnologiche per il trattamento dell'aria, la copertura è costituita da profilati in acciaio IPE 240 che sostengono una lamiera increspata, sopra di questa è stato posto uno strato isolante coperto a sua volta da una lamina di EPDM come impermeabilizzante; al di sopra del pacchetto sono stati installati 456 moduli PV da 525 mm x 1006 mm.

In ultimo per la pensilina che copre per tutta la lunghezza la facciata a sud, creando un'appendice della copertura sino a qui impiegati moduli PV in silicio monocristallino da 550 mm x 1100 mm realizzati appositamente dalla Shell Solar montati su 12 pannelli trasparenti (fig. 2.4).

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

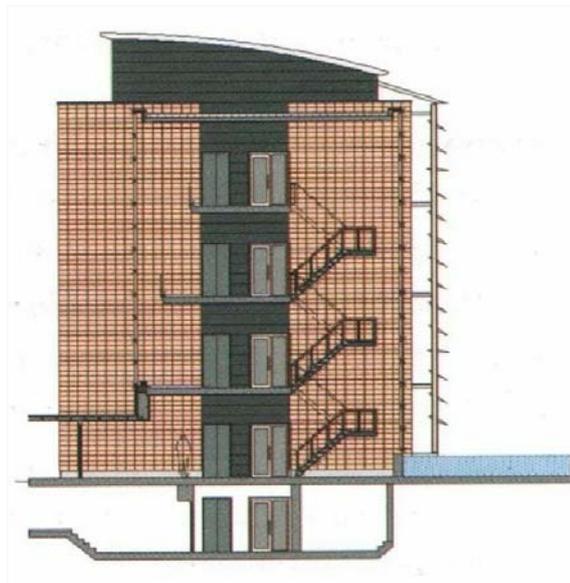
L'intervento nel complesso risultata estremamente organico nelle sue varie parti e si integra perfettamente con il costruito preesistente a tal punto da creare un'immagine totalmente nuova ed estremamente gradevole dell'edificio che sembra essere stato realizzato ex-novo.

Il frangisole in facciata, la copertura e la pensilina, pur adottando tecnologie costruttive processi progettuali e componenti totalmente diversi, conferiscono all'edificio un linguaggio unitario e riconoscibile agli antipodi dell'anonimato che caratterizzava il progetto del 1963.

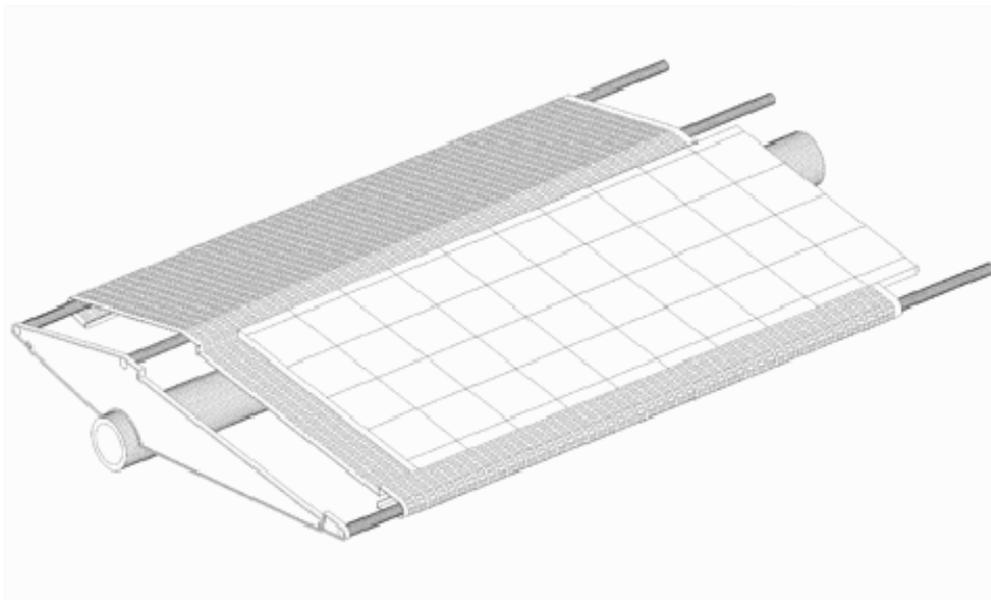
Il difetto più rilevante emerge soprattutto dalle testimonianze dei dipendenti dell'ECN che lavorano all'interno degli uffici schermati dal frangisole, essi lamentano una scarsa e limitata vista dell'esterno alle varie altezze delle postazioni lavorative.



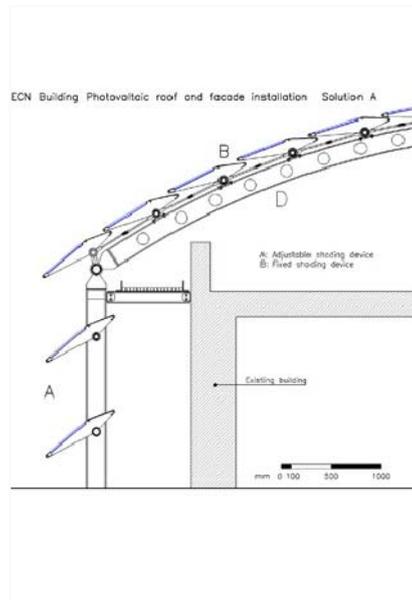
2.1 Vista del modello dell'Edificio 31



2.2 Prospetto laterale ovest



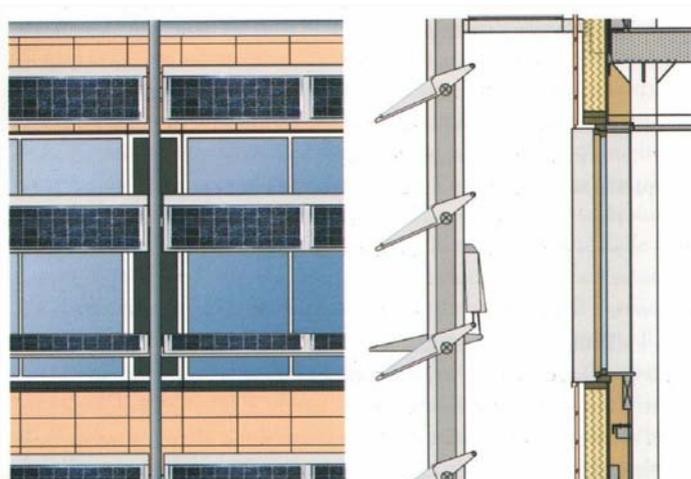
2.3 Particolare della lamella fotovoltaica



2.4 Sezione pensilina-frangisole



2.5 Vista del frangisole in facciata



2.6 Particolare del frangisole

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	pubblica	pubblica
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1972	2000
DESTINAZIONE D'USO:	istituto tecnico	istituto tecnico
SEDIME COMPLESSIVO:	nd	nd
ALTEZZA MASSIMA:	15 m	15 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/PV/captatori di calore

LOCALIZZAZIONE:

Umbertide, Italia

CONTESTO:

periferia urbana

TIPO D' INTERVENTO:

retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

Studio PRAU di Roma

TIPO DI CAPTATORE:

pannelli PV, captatori di calore a loop convettivo

POSIZIONE CAPTATORI:

facciata, copertura

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

parzialmente integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

200 mq

POTENZA NOMINALE:

20 kW

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

Gli edifici del complesso erano caratterizzati da pessime condizioni dal punto di vista della coibentazione, dell'illuminazione naturale (inadeguata per le attività didattiche) e del consumo di energia per il riscaldamento degli ambienti, l'intervento di riqualificazione energetica viene effettuato sui due blocchi edilizi rivolti con le facciate principali a sud-est, dopo numerosi rilevamenti strumentali e simulazioni digitali per verificare le condizioni di comfort delle aule.

Per mantenere nell'involucro condizioni climatiche favorevoli e ridurre i consumi è stato necessario lavorare in più direzioni: sfruttando i principi della progettazione solare passiva, ricorrendo a soluzioni che riducono il fabbisogno energetico e introducendo un impianto che permetta la produzione attiva di energia.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Le scelte messe in campo sono state: soluzioni architettoniche per ovviare ai problemi di illuminazione degli ambienti, ricorso a soluzioni bioclimatiche per il riscaldamento, ed introduzione del fotovoltaico per produrre energia.

Sul fronte esterno, in facciata, è stato posto un frangisole con struttura metallica ad asse orizzontale con lamelle regolabili, posta a 40 cm dalla facciata per ottimizzare la quantità della luce che entra nelle aule, nella parte sottostante le finestre delle aule, in facciata, sono stati installati degli elementi captanti la radiazione solare senza accumulo a loop convettivo, essi garantiscono i trasferimenti di calore spontaneo, al tradizionale sistema di riscaldamento è demandato il solo compito di integrare, quando è necessario, il lavoro svolto da tali dispositivi; le funzioni di immagazzinamento e di distribuzione dell'energia termica è demandato all'edificio stesso, per questo motivo quest'intervento è da considerarsi una soluzione solare passiva. L'associazione del sistema di facciata con gli elementi captanti a loop convettivo si presenta con le caratteristiche di una facciata energetica integrata che costituisce una seconda pelle dell'edificio.

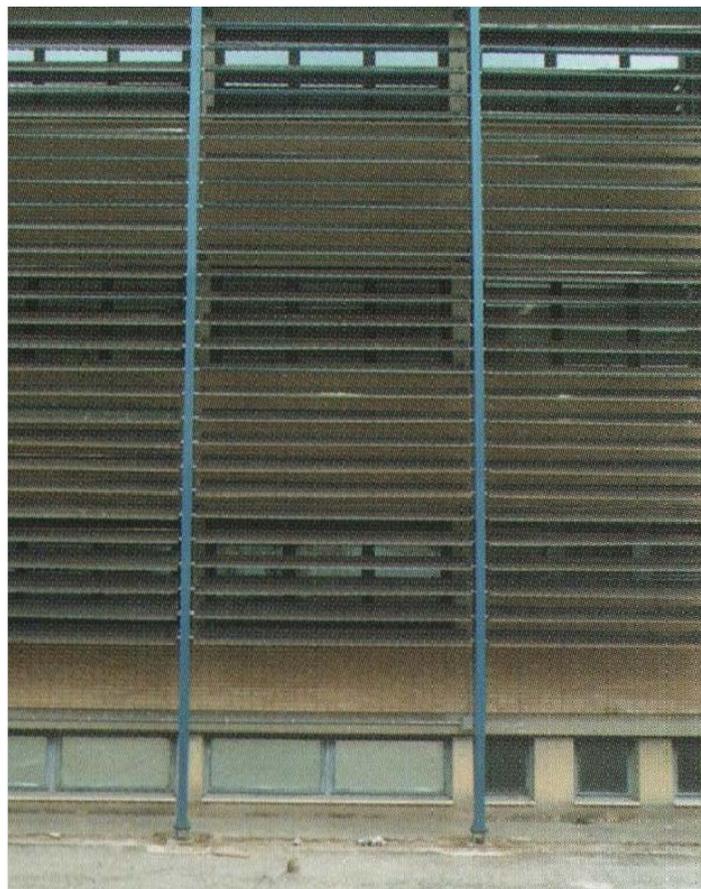
E' stato infine posto, come sistema di produzione attivo di energia un impianto fotovoltaico in copertura sulla falda a sud, sopra i frangisole, inizialmente pensato per coprire l'intero tetto, poi ridotto in fase progettuale per problemi di inefficienza, il tipo di impianto; che sviluppa 20 kw di potenza è formato da componenti standard: pannelli in silicio policristallino montati su un telaio in alluminio fissato sopra la vecchia copertura.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

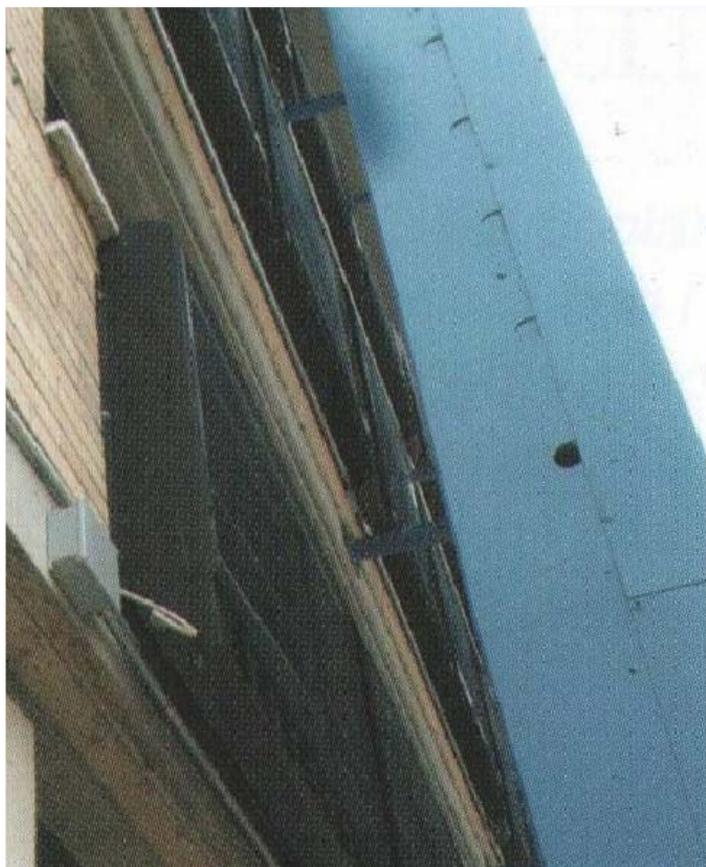
Come detto l'edificio dal punto di vista energetico e della coibentazione aveva dei seri problemi che hanno spinto la Provincia ad intervenire, la soluzione adottata, che simula una facciata energetica integrata composta dai tre sistemi attivi e passivi sopra descritti era il modo meno oneroso per intervenire in modo da ovviare ai problemi tecnici ed operare un restyling del manufatto; appare però evidente che gli elementi captanti l'energia solare non offrono una soluzione ottimale al problema del riscaldamento, sia per la posizione: dietro il frangisole al riparo dall'irradiazione solare diretta, sia perchè non permettendo l'accumulo di calore risultano scarsamente efficienti se si pensa alla relazione che intercorre tra la necessità di energia termica e le condizioni climatiche esterne dettate dalle stagioni e dall'ora del giorno.



3.1 Vista del frangisole dell'edificio dei laboratori



3.2 Vista del frangisole dell'edificio delle aule



3.4 Elemento captante dell'energia termica



3.5 Vista del frangisole dell'interno delle aule



3.3 Vista complessiva della facciata enegetica dell'edificio delle aule

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	Università degli studi di Firenze	Università degli studi di Firenze
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1988	2004
DESTINAZIONE D'USO:	aule - biblioteca - uffici	aula - biblioteca - uffici
SEDIME COMPLESSIVO:	3150 mq	3150 mq
ALTEZZA MASSIMA:	10 m	12 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto PV

LOCALIZZAZIONE:

Sesto Fiorentino, Italia

CONTESTO:

periferia

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione, retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

ETA Florence, arch. L. Ceccherini Nelli

TIPO DI CAPTATORE:

fotovoltaico con celle in silicio policristallino

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

non integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

200 mq

POTENZA NOMINALE:

21 kW



CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

L'impianto è posto sull'edificio che ospita le aule e la biblioteca del Polo Scientifico di Sesto Fiorentino, sviluppa complessivamente 20 kW e copre solo parzialmente il fabbisogno energetico dell'edificio poiché la maggior parte della corrente viene immessa nella rete ENEL; il suo principale scopo è infatti l'applicazione di nuovi prodotti tecnologici unita all'interazione didattica, caratteristiche queste senza le quali la realizzazione non sarebbe stata supportata dal finanziamento Europeo prevista per questi casi.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'impianto fotovoltaico è posto in copertura della corte dell'edificio di proprietà dell'Università degli Studi di Firenze, è installato su una struttura in acciaio zincato costituita da: 4 travi reticolari che poggiando sui lati corti del corpo di fabbrica e coprono una luce di 22 metri (fig. 4.2), un'orditura secondaria di 25 travi composte dall'accoppiamento di due IPE poste diagonalmente ai lati della corte per motivi di orientamento, una struttura di sostegno costruita con profili omega saldati a cavalletti ad L su cui sono montati i moduli PV (fig. 4.6), passerelle per la manutenzione in acciaio grigliato poste sulle travi principali e secondarie a formare un camminamento largo 1 metro nel primo caso e 60 cm nel secondo (fig. 4.4).

Il sistema captante è composto da 160 moduli di tipo vetro/teflon trasparente con una potenza di 125 W ognuno, suddivisi in cinque sottosistemi ciascuno dei quali fa capo ad un inverter, i moduli sono inclinati di 35° sull'orizzontale ed orientati a sud, la produttività energetica del sistema è stimata intorno a 24700 kWh/anno.

Le componenti elettriche usate sono all'avanguardia, gli inverter trasformano l'energia in corrente alternata per l'immissione in rete, sono dotati di sistemi di autodiagnostica, protezione e trasmissione dati a PC, con il quale sarà possibile monitorare il sistema in ogni istante e studiarne i dati (fig. 4.5); è inoltre provvisto di un dispositivo di inseguimento del punto di potenza massima per ottimizzare il funzionamento del sistema al variare delle condizioni operative ed ambientali.

All'impianto è stato collegato un display a cristalli liquidi posto nell'atrio dell'edificio che oltre a ricevere i dati ricavati dal monitoraggio operativo mostra le informazioni relative all'impianto ed alcuni valori che ne esprimono la produttività istantanea e totale a scopo conoscitivo; questo è inserito in un programma didattico che ha visto coinvolti studenti, professori e professionisti in un ciclo di conferenze, nella varie fasi di progettazione, di costruzione e nello studio dei dati derivanti dal monitoraggio del sistema (fig. 4.6).

ANLISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Il presupposto per l'installazione di questo impianto è sicuramente la realizzazione di una struttura metallica pesante ed estremamente onerosa rispetto alla produttività in termini energetici che, pur non modificando esteriormente l'immagine dell'edificio cambia la percezione che si ha della corte, coprendola parzialmente e riducendo in modo rilevante l'illuminazione degli ambienti esterni ed interni (fig. 4.7). Di fatto il sistema poteva essere posto direttamente sulla copertura esistente dei corpi di fabbrica, tale intervento va comunque letto in relazione alla sua valenza didattica e sperimentale, obiettivi questi della ricerca Europea che ne ha promosso la realizzazione.



4.1 Viste dell'impianto



4.2 Orditura principale della struttura



4.3 Vista dell'impianto dalla copertura dell'edificio



4.4 Passerella per la manutenzione



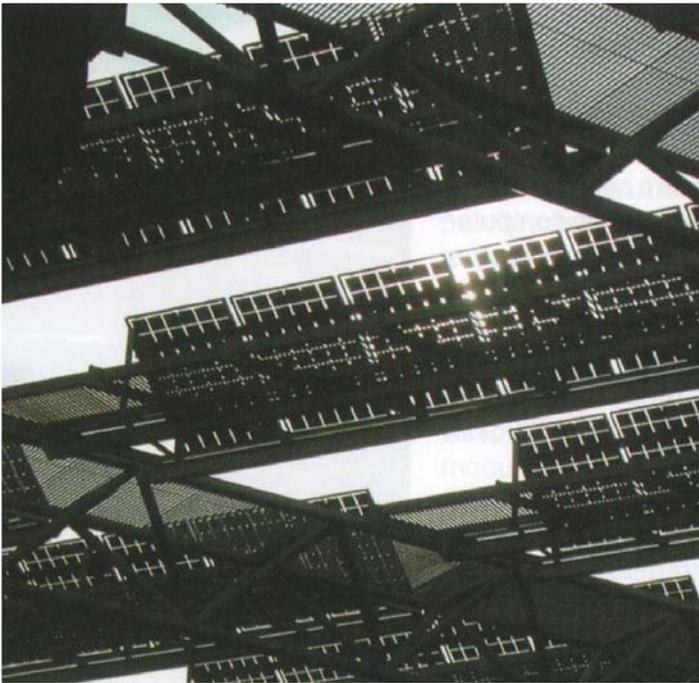
4.5 Inverter nel locale tecnico dell'impianto



4.6 Travi secondarie, cavalletti e moduli PV



4.7 Una delle visite degli studenti all'impianto



4.7 La luce filtrata dall'impianto



4.8 Vista zenitale dell'edificio

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	Università degli studi di Jean	Università degli studi di Jean
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1990	1996-2000
DESTINAZIONE D'USO:	università	università
SEDIME COMPLESSIVO:	950 mq	950 mq
ALTEZZA MASSIMA:	12 m (edificio), 3,5 m (pensiline)	12 m (edificio), 3,5 m (pensiline)
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto PV

LOCALIZZAZIONE:

Jean , Spagna

CONTESTO:

periferia

TIPO D' INTERVENTO:

retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

ing. J. Aguilera, ing. P.Perez, arch. M.Martinez

TIPO DI CAPTATORE:

pannelli fotovoltaici in silicio mono e policristallino

POSIZIONE CAPTATORI:

facciata e pergola dell'edificio, pensiline

TIPOLOGIA DI IMIANTO:

non integrato, parzialmente integrato (pensiline)

SUPERFICE CAPTANTE:

1094 mq (pensiline), 575 mq (edificio)

POTENZA NOMINALE:

200 kW



CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

Il campus dell'Università di Jaen è situato fuori città e circondato dalla campagna e da pochi edifici; è uno spazio aperto comunicante con in suo intorno e nessuno degli edifici vicini mette in ombra parte degli edifici del campus (fig. 5.1, 5.2, 5.4).

Il principale obiettivo del progetto era l'integrazione in un campus universitario di un impianto fotovoltaico di medie dimensioni, a mezzo dell'adozione di soluzioni architettoniche diversificate (parcheggi, pergola, facciata), il fotovoltaico consente la produzione del 15-20% dell'energia utile a coprire il fabbisogno del campus ed ha una produttività annua di 280 MWh.

DESRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il generatore delle pensiline del parcheggio e della pergola è composto da 160 + 20 moduli in silicio monocristallino in celle quadrate, quello della facciata dell'edificio è di 27 moduli in celle di silicio policristallino, tutti con intelaiatura in alluminio anodizzato ed in vetro temperato e tedlar.

Il progetto è costituito da quattro differenti sistemi fotovoltaici con diverse soluzioni per la loro integrazione, lo schema generale di tutti i sistemi prevede un generatore PV connesso in rete tramite un inverter, per ospitare i dispositivi elettrici e di raccolta dati è stato costruito un piccolo stabile.

Il sistema integrato nelle pensiline del parcheggio è composto da un generatore di 640 moduli (8 stringhe da 80 muduli) PV da 70 kW; la pendenza delle falde su cui è posto l'impianto è di 7,5°, esse presentano un orientamento di 30° sud-ovest. Di questi sistemi ce ne sono due perfettamente identici, che corrono paralleli su due file di queste pensiline dalla struttura metallica (fig. 5.1, 5.2).

Il secondo sistema, con un generatore di 20 kW di potenza, è integrato in una pergola collocata presso l'edificio costruito per ospitare i dispositivi elettrici e di comando del fotovoltaico, è costituita da due parli ugali che si attaccano ai lati corti del piccolo fabbricato posto davanti ella facciata fotovoltaica dell'edificio del campus (fig. 5.3, 5.4).

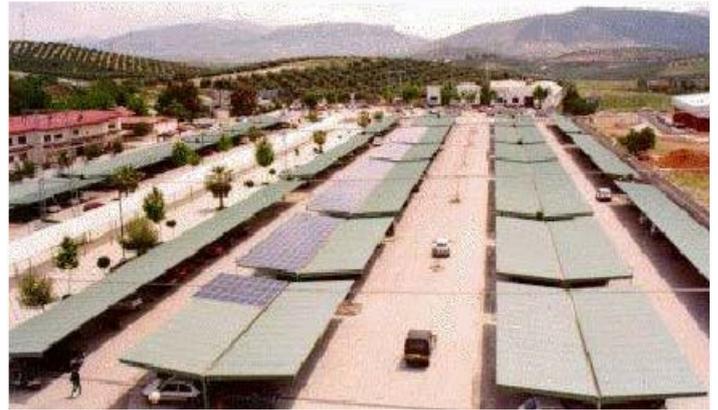
Nell'ultimo sistema PV il generatore, da 40 kW di potenza, è integrato nella facciata dell'edificio esistente (fig. 5.5), la realizzazione consiste nel rivestimento aggiuntivo della facciata sud dell'edificio che ospita le aule universitarie, è stata progettata una struttura in acciaio che regge i moduli PV ad 1 metro di distanza dalla facciata e prevede aperture in corrispondenza delle finestre (fig. 5.6), essa copre tutta la faccia dell'edificio innalzandosi 0,5 metri sopra la sua altezza con una parte aggiuntiva che sostiene moduli PV con un inclinazione che permette un rendimento maggiore.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Ciascuno dei sistemi che compongono l'impianto hanno portato un eccezionale miglioramento al campus in termini di efficienza energetica ed estetici. L'apporto energetico dipendente dalla superficie captante poteva essere sicuramente reso maggiore del 15-20% , estendendo i generatori a tutte le pensiline del parcheggio. Lo scopo principale finalizzato alla ricerca per l'applicazione del PV ad edifici esistenti e ad incentivare la diffusione e la ricerca di tali soluzioni tecnologiche in questa regione della Spagna, giustifica tutte le scelte fatte in fase progettuale, è da aggiungere alla valutazione complessiva l'apporto promozionale positivo che ha ricevuto il campus dopo l'intervento, diventando un simbolo delle energie rinnovabili applicate agli edifici pubblici preesistenti.



5.1 Vista del parcheggio



5.2 Vista del parcheggio



5.3 Struttura delle pergole



5.4 Vista della pergola e dell'edificio



5.5 Vista della facciata dell'edificio prima dell'intervento



5.6 Passerella per la manutenzione della facciata fotovoltaica



5.7 Struttura della facciata fotovoltaica



5.8 Vista dell'edificio dopo l'intervento



5.9 Facciata fotovoltaica rivolta a sud

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	Stato del Vaticano	Stato del Vaticano
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1971	2008
DESTINAZIONE D'USO:	auditorium, aula magna	auditorium, aula magna
SEDIME COMPLESSIVO:	5000 mq	5000 mq
ALTEZZA MASSIMA:	32 m	32 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete distribuzione/impianto PV

LOCALIZZAZIONE:

Città del Vaticano, Italia

CONTESTO:

centro storico

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione, retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

ing. L. De Santoli, arch. F. Viola

TIPO DI CAPTATORE:

Thin Film Transiston in silicio amorfo

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

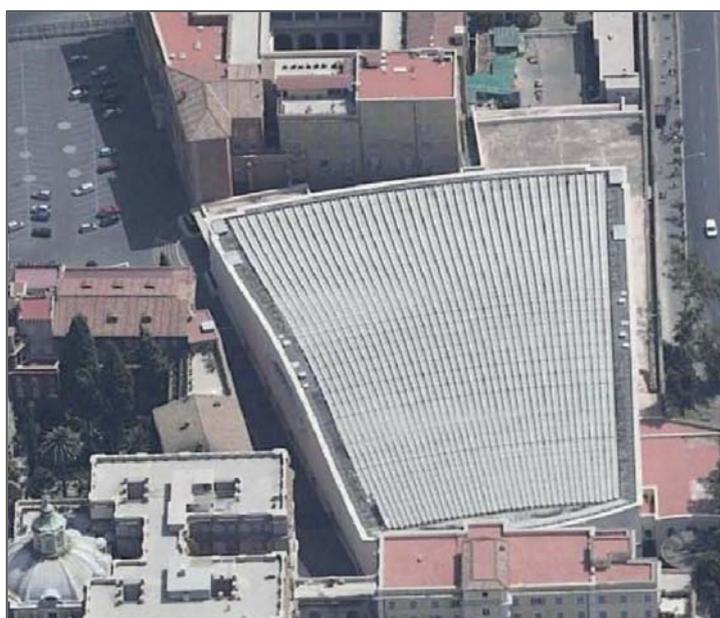
non integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

2000 mq

POTENZA NOMINALE:

221 kW

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

Il progetto si inserisce in un ambizioso programma del Vaticano che ha come obiettivo quello di coprire il 20% del fabbisogno energetico totale ricorrendo a fonti rinnovabili.

L'esigenza alla base dell'intervento è il rinnovamento e la ristrutturazione del tetto dell'Aula delle Udienze intitolata a Paolo VI, progettata dall'ingegnere Pierluigi Nervi, che, in modo quasi premonitore utilizzò per la copertura 1200 tegole in cemento armato frangisole costituite da una metà rivolta perfettamente a sud ed un'altra simmetricamente rivolta a nord.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La superficie totale della copertura misura 5000 mq, come da progetto la parte coperta dal fotovoltaico è solo di 2000 mq mentre altri 2000 mq sono coperti da schermi per potenziare la quantità di energia captata (fig. 6.2).

Il tetto solare, donato dall'impresa SolarWorld al Vaticano, è stato realizzato nel rispetto delle linee architettoniche, è composto da 2400 pannelli fotovoltaici, sono stati installati in sostituzione ai pannelli preesistenti in cemento armato delle tegole, riproducendone dimensioni e forma.

L'impianto è entrato in funzione dopo una fase di studio preliminare erogando circa 221 kW di energia pulita, i 300MWh annui di energia elettrica copriranno parte dei consumi dell'aula e di alcuni edifici circostanti permettendo di evitare 225.000 Kg di anidride carbonica; la qualità del progetto e gli intenti che lo hanno sostenuto hanno portato la Solar World e l'ingegnere progettista dell'impianto Livio De Santoli ad essere insigniti del Premio Solare Europeo.

Nel progetto si è cercato di non influire minimamente sull'immagine dell'edificio pur ricorrendo ad un sistema PV non integrato nell'architettura, montato su una struttura metallica (fig. 6.6), l'impianto è stato realizzato nel massimo rispetto del progetto di Nervi, lasciando inalterato il caratteristico disegno ondulatorio della volta (fig. 6.5), per far ciò si è sacrificato il 10% della produttività potenziale dell'impianto, inoltre per garantire un miglior inserimento cromatico che non impattasse percettivamente con l'intorno, sono stati scelti dei pannelli in thin film (fig. 6.10), per le inclinazioni non ottimali della copertura, con una particolare colorazione rinunciando alla massima capacità di assorbimento possibile con altri prodotti utilizzabili in questo caso.

Le nuove tegole in alluminio su cui è montata la superficie captante sono di larghezza doppia rispetto a quelle originali per aumentare la superficie PV, su di esse sono ancorati i pannelli (fig. 6.8, 6.9, 6.10).

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

L'intervento, estremamente apprezzato dal Vaticano e dai critici, è diventato un simbolo della riconversione energetica di edifici di particolare pregio, è stato eseguito in maniera minuziosa fin dalle fasi progettuali con lo studio e l'analisi di varie ipotesi tecnologiche e costruttive che hanno portato alla realizzazione di un'opera unica nel suo genere, per la capacità di conciliare impiego di tecnologie all'avanguardia, mantenendo il carattere architettonico e rispettando il contesto in cui si trova il manufatto.



6.1 Vista aerea dell'area



6.2 Schermi riflettenti e pannelli PV in relazione agli edifici circostanti



6.3 Vista dei pannelli PV



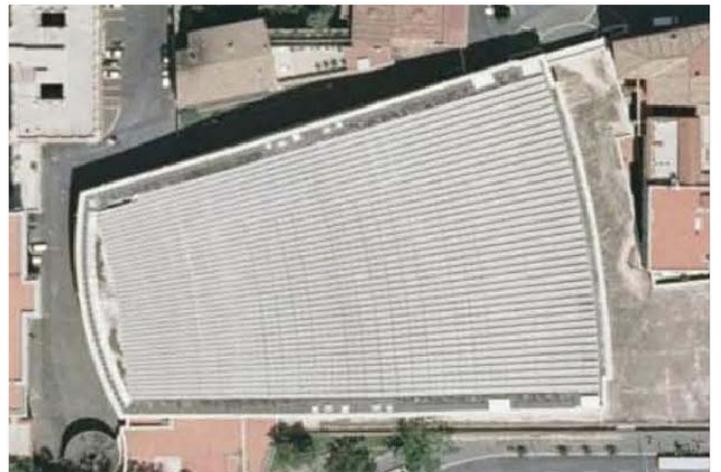
6.4 Vista della copertura fotovoltaica



6.5 Vista del profilo curvilineo dell'aula



6.6 La struttura metallica su cui sono poste le tegole fotovoltaiche



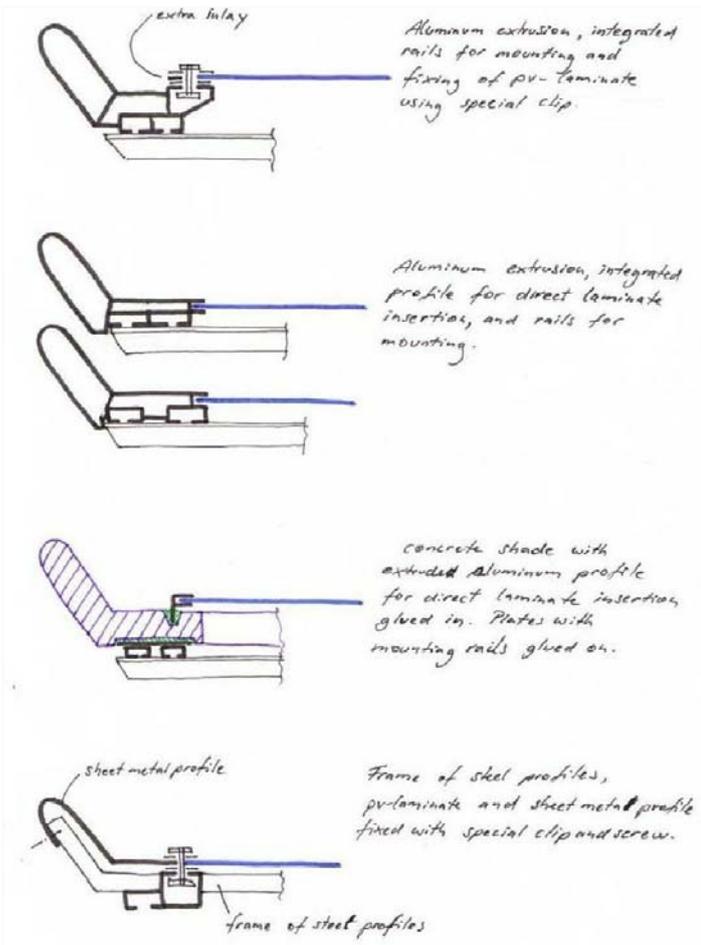
6.7 Vista zenitale dell'edificio



6.8 Disegno della tegola fotovoltaica



6.9 dimensionamento della tegola fotovoltaica



6.9 studio dei possibili ancoraggi dei pannelli fotovoltaici



6.10 Colorazioni possibili del Thin-Film

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	privato	privato
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1830	1996 - 1999
DESTINAZIONE D'USO:	residenza privata	residenza didattica
SEDIME COMPLESSIVO:	320 mq	350 mq
ALTEZZA MASSIMA:	11 m	13,5 mq
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/PV e solare termico

LOCALIZZAZIONE:
Flounders, Belgio

CONTESTO:
campagna

TIPO D' INTERVENTO:
ristrutturazione, retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:
Studio Philippe Samyn & Partners

TIPO DI CAPTATORE:
PV in celle di silicio policristallino e collettori solari

POSIZIONE CAPTATORI:
facciata (PV) e pergolato (solare termico)

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:
non integrato

SUPERFICE CAPTANTE:
38 mq (frangisole PV)+12 collettori di 24 m

POTENZA NOMINALE:
nd



CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

L'edificio si trova nell'aperta campagna, inserito in un parco di sua pertinenza, all'estrema periferia della cittadina di Flounders, si tratta di un castello appartenuto ad una famiglia nobile belga, rivestito in pietra (fig. 7.1) ed edificato attorno al 1830, le prescrizioni della soprintendenza ai beni architettonici locale richiedevano che l'intervento fosse stato completamente rimovibile senza quindi cambiare in modo irreversibile il manufatto.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento è consistito in: una riqualificazione energetica ed una riorganizzazione totale degli interni, che ha portato anche alla creazione di nuovi spazi, resa possibile dall'utilizzo della struttura metallica realizzata per sostenere i nuovi impianti energetici.

L'edificio è stato mantenuto uguale su tutti i lati tranne che nel prospetto rivolto a sud, sul quale è stata affiancato un nuovo fronte in acciaio e vetro a 2,7 metri di distanza (fig. 7.2, 7.3), questo spazio che intercorre è sede di una serra vetrata al piano terra (fig. 7.5), una loggia con schermi solari apribili per la ventilazione al primo piano (fig. 7.6) ed alcuni frangisole fotovoltaici al secondo piano (fig. 7.3, 7.8), orientabili tramite un dispositivo interno all'edificio; all'ultimo piano è stato realizzato un pergolato in acciaio, con collettori solari in vetro per copertura (fig. 7.4).

Questa facciata è asimmetrica come quella originale dell'edificio, i sette moduli che la compongono corrispondono all'organizzazione elettrica del fotovoltaico (fig. 7.2, 7.3); le stringhe collegate verticalmente consentono di limitare le perdite di efficienza dell'impianto, dovuti a parziali problemi di ombreggiatura.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Nel complesso la ristrutturazione conferisce un notevole pregio all'edificio, accostando materiali nuovi a quelli preesistenti, questo risulta essere un intervento estremamente significativo anche nell'ambito dell'applicazione di sistemi innovativi per la generazione di energia presa da fonti rinnovabili.

La nuova struttura in acciaio che ospita frangisole e collettori solari, conferisce una nuova immagine all'edificio, caratterizzata dal parallelo tra due sistemi di facciata che si valorizzano a vicenda, creando un manufatto apprezzabile anche per un linguaggio fatto di contrasti.

Da apprezzare è inoltre la possibilità che viene sfruttata, dalla realizzazione della struttura in acciaio, per creare degli spazi nuovi ai vari livelli, in cui gli elementi captanti svolgono una vera e propria funzione architettonica di riparo e copertura.



7.1 Prospetto sud prima dell'intervento



7.2 prospetto sud dopo l'intervento



7.3 Vista della facciata



7.4 Terrazza con pergolato coperto dai collettori solari



7.5 Serra al piano terra



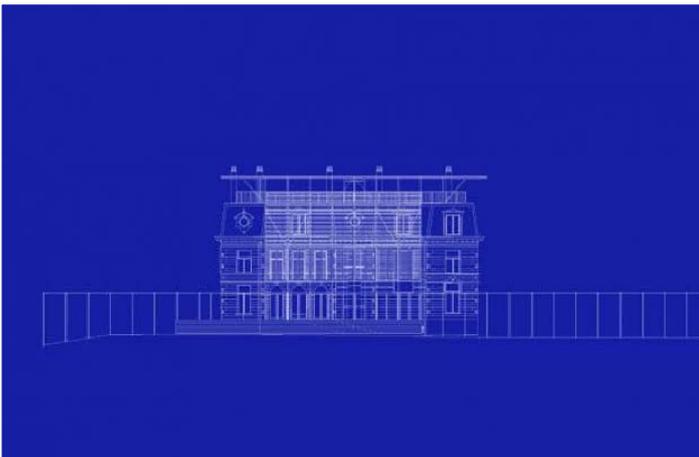
7.6 Loggia al primo piano



7.7 Vista dell'edificio da sud-est



7.8 particolare dell'obolo coperto dai frangisole fotovoltaici



7.9 Disegno del prospetto sud

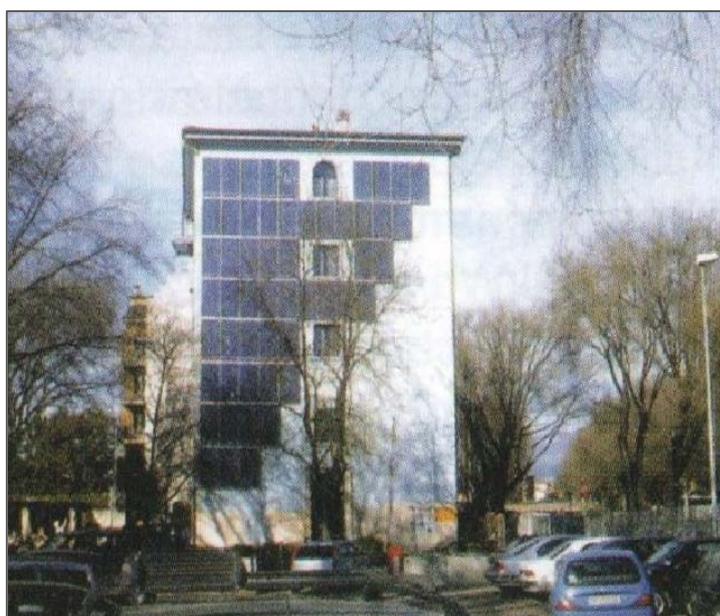


7.10 Disegni dei prospetti laterali est - ovest

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	ACLI	ACLI
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1950	2003
DESTINAZIONE D'USO:	residenza privata - uffici	residenza privata - uffici
SEDIME COMPLESSIVO:	300 mq	300 mq
ALTEZZA MASSIMA:	17 m	17 mq
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE: Verona, Italia
CONTESTO: urbano
TIPO D' INTERVENTO: ristrutturazione, retrofit energetico
PROGETTISTA DELL'IMPIANTO: SE Project Verona
TIPO DI CAPTATORE: PV in celle di silicio policristallino
POSIZIONE CAPTATORI: facciata
TIPOLOGIA DI IMPIANTO: parzialmente integrato
SUPERFICE CAPTANTE: 180 mq
POTENZA NOMINALE: 20 kW



CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

L'edificio è situato in un quartiere residenziale, non lontano dal centro storico della città di Verona, è un tipico condominio residenziale risalente agli anni cinquanta, una realizzazione tipica delle architettura in cemento armato del periodo post - bellico.

Il manufatto, di proprietà delle ACLI ed affittato in gran parte a studi professionali, è stato ristrutturato e riqualificato energeticamente con la sostituzione degli infissi e dei vetri, migliorandone la capacità di isolamento, ed installando un rivestimento fotovoltaico in facciata.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Inizialmente i proprietari avevano presentato un progetto per l'installazione del fotovoltaico in copertura, solo successivamente, per la possibilità che c'era di ottenere finanziamenti ministeriali per il fotovoltaico, è stata invece valutata la seconda ipotesi di integrazione di un impianto PV, posto sulle facciate sud-est e sud-ovest, sopra il rivestimento.

L'impianto influisce notevolmente anche sull'architettura dell'edificio, in particolare nella zona del vano scale, in cui è stata sostituita una facciata in vetro cemento con moduli fotovoltaici ad elevata trasparenza, consentendo una buona illuminazione naturale.

Sono stati montati 133 moduli fotovoltaici in silicio policristallino di tipo standard, con la struttura di sostegno in alluminio nascosta che li aggancia alle facciate.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Il sistema fotovoltaico senza dubbio apporta dei vantaggi energetici all'edificio apprezzabili, la scelta di installarlo in facciata, procedendo ad uno sfruttamento intensivo delle superfici, era senz'altro obbligata per poter massimizzare le dimensioni della superficie captante, la soluzione adottata per il vanoscale dove è stata posta una vetrata fotovoltaica in sostituzione alla precedente, coniuga in modo positivo aspetti funzionali, estetici ed energetici.

Per quanto riguarda l'installazione sulle due facciate: tra gli intenti del progettista c'era anche la volontà di riuscire a migliorare l'estetica anonima del condominio, inserendo dei pannelli che potessero renderlo simile agli edifici vicini, che presentano facciate vetrate; il risultato non è dei migliori, i pannelli, posti in maniera asimmetrica sulla facciata sud-est per ovviare a problemi di inefficienza dati dall'ombreggiamento, risultano un semplice collage di materiali che non rispetta l'ordine e la geometria della facciata e della sue aperture, inoltre le ombre degli alberi proiettate in facciata nelle prime ore del mattino, riducono comunque in modo notevole l'efficienza dell'impianto.



8.1 Facciata sud - ovest



8.2 Angolo rivolto a sud

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	privata	privata
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1940	2005
DESTINAZIONE D'USO:	residenza privata	residenza privata
SEDIME COMPLESSIVO:	80 mq	80 mq
ALTEZZA MASSIMA:	9 m	9 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE:

Londra, UK

CONTESTO:

urbano

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione - retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

Solar Century, Jeremy Legget

TIPO DI CAPTATORE:

PV in celle di silicio amorfo

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

120 mq

POTENZA NOMINALE:

17 kW

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

Questa abitazione si trova in una zona residenziale della periferia di Londra, in questo quartiere, case unifamiliari terra - cielo, praticamente uguali, sono accoppiate due a due e poste su ambo i lati di strade parallele.

Questo rappresenta uno dei primi edifici in Gran Bretagna in cui sia stato installato, in una ristrutturazione un impianto con tegole fotovoltaiche.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il manto di copertura è stato completamente costruito con questo materiale, la cui configurazione è molto simile a quella dei tetti tradizionali; la corrente generata dall'impianto supera il fabbisogno dell'edificio, pertanto l'eccedenza viene rimessa in rete.

Esteticamente l'edificio presenta una superficie fotovoltaica uniforme di colore rossastro (fig. 9.3), che assomiglia molto ai sistemi di copertura in tegole normali, i moduli sono realizzati in silicio amorfo con spessore da 5 mm, montato ed incapsulato su uno strato di elastomero Tefzel, le cellule fotovoltaiche incapsulate sono incollate su una plastica di colore scuro, materiale che provvede alla connessione tra le varie tegole (fig. 9.4).

La tegola fotovoltaica è formata da 12 celle montate in linea sul supporto di plastica, essa viene posta poi sulla struttura di legno del tetto.

La tenuta all'acqua è garantita dal sovrapporre di una tegola all'altra, le celle PV in silicio amorfo sono formate da tre strati attivi a tripla giunzione, che permettono una capacità di captazione estremamente alta.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Questo sistema fotovoltaico costituito da tegole, oltre ad essere estremamente efficiente e produttivo in termini energetici, permette di essere montato senza dover ricorrere a particolari strutture aggiuntive che, oltre ad essere onerose e pesanti, compromettono spesso l'immagine complessiva del manufatto. Il risultato estetico è estremamente positivo per la costruzione ed il colore delle nuove tegole; in definitiva, questo risulta essere un intervento particolarmente indicato nei casi in cui si interviene su un vecchio edificio che necessita del rifacimento della copertura, poiché unisce alla funzione di un tetto estremamente resistente e leggero, la possibilità di ricorrere alle fonti rinnovabili per la totale alimentazione dell'edificio.



9.1 Vista dell'abitazione



9.2 copertura fotovoltaica



9.3 Tegole fotovoltaiche



9.4 Disegno schematico della copertura con tegole fotovoltaica

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	società immobiliare	società immobiliare
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1960	1994
DESTINAZIONE D'USO:	appartamenti	appartamenti
SEDIME COMPLESSIVO:	360 mq	360 mq
ALTEZZA MASSIMA:	46 m	46 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE:

West Midland, UK

CONTESTO:

periferia

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione - retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

OVE Arup, Cladding Sistem Ltd.

TIPO DI CAPTATORE:

PV in celle di silicio policristalline

POSIZIONE CAPTATORI:

facciata

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

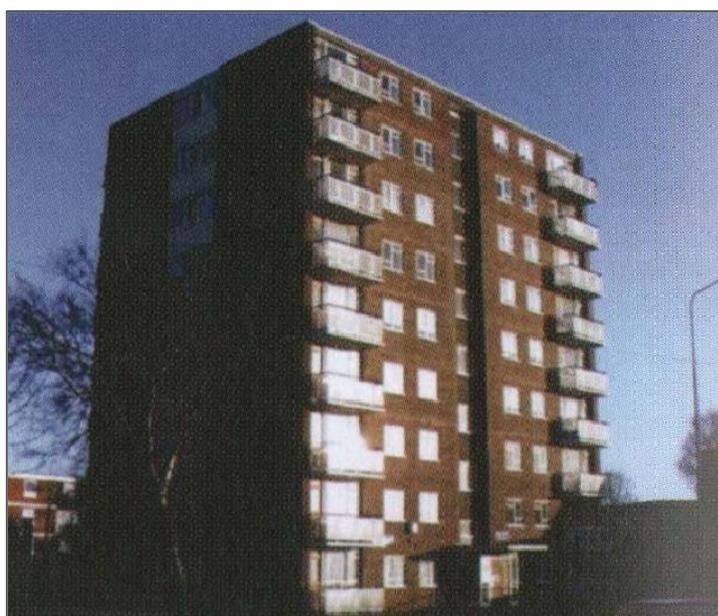
integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

52 mq

POTENZA NOMINALE:

14,9 kW

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

L'edificio, di proprietà della società immobiliare Sandwell Buildings Service Division, risale agli anni '60; la Bowater house ha nove piani con 36 appartamenti, gli alloggi dispongono di soggiorni e camere orientate ad est, mentre ad ovest sono disposte le cucine ed i bagni.

E' stato eseguito una ristrutturazione completa ed un retrofit energetico, che hanno mutato in meglio anche l' estetica del palazzo, oltre alle condizioni di vivibilità degli interni.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'installazione fotovoltaica è stata realizzata in facciata, con 36 moduli di 1,3 m x 1,1 m, con celle fotovoltaiche in silicio policristallino integrate, montate su un telaio in alluminio.

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 kW, questo intervento migliora l'edificio per efficienza energetica e per isolamento termico, la nuova facciata offre una maggiore protezione isolante rispetto alla precedente.

L'installazione 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 vantaggio più importante è stato dato dal risparmio di emissioni di anidride carbonica.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Il restauro nel suo complesso ha reso l'edificio più gradevole esteticamente rispetto alla realizzazione originale, la bassa qualità progettuale unita all'impiego di materiali a basso costo, faceva sì che le condizioni climatiche degli appartamenti fossero pessime; merito fondamentale dell'intervento e dell'introduzione in facciata del fotovoltaico, è stato quello di implementare enormemente l'isolamento termico oltre che di ridurre notevolmente i consumi.

Unico aspetto negativo, non imputabile direttamente alla realizzazione dei lavori di ristrutturazione, ma alla rete pubblica di distribuzione, è la mancata possibilità di estendere il fotovoltaico a tutta la parte di facciata che poteva ospitarlo, dando un'immagine più apprezzabile e meno frammentata dell'edificio dall'esterno e migliorandone in maniera esponenziale l'efficienza.



10.1 Integrazione del fotovoltaico in facciata

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	privata	società
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1948	2004
DESTINAZIONE D'USO:	stalla e caseria	hotel - ristorante
SEDIME COMPLESSIVO:	250 mq	250 mq
ALTEZZA MASSIMA:	9 m	9,5 m
FONTI ENERGETICHE:	generatore diesel	generatore diesel/PV/solare termico

LOCALIZZAZIONE:

Villa Lagarina, Italia

CONTESTO:

parco naturale in montagna

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione - retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

Studio Leoni & Leoni

TIPO DI CAPTATORE:

PV in silicio monocristallino, collettori solari

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

integrato (PV), parzialmente integrato (solare termico)

SUPERFICE CAPTANTE:

50 mq (PV), 13 mq (collettori)

POTENZA NOMINALE:

6,3 kW

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

La Malga Cimana sorge nel Comune di Villa Lagarina, inserita in un ambiente naturale nel Trentino, vicino al lago Cej; inizialmente adibita a stalla casearia, è stata trasformata dopo gli interventi di ristrutturazione, in una sorta di rifugio alpino, in cui, aspetti produttivi, turistici e culturali si integrano.

Ssono state realizzate una serie di camere da letto e servizi, per ospitare 32 persone, si è creato un uno spazio commerciale ed espositivo; poichè la Malga non era elettrificata è stato realizzato un impianto di 6,3 kW ed un collettore solare a tubi sottovuoto.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

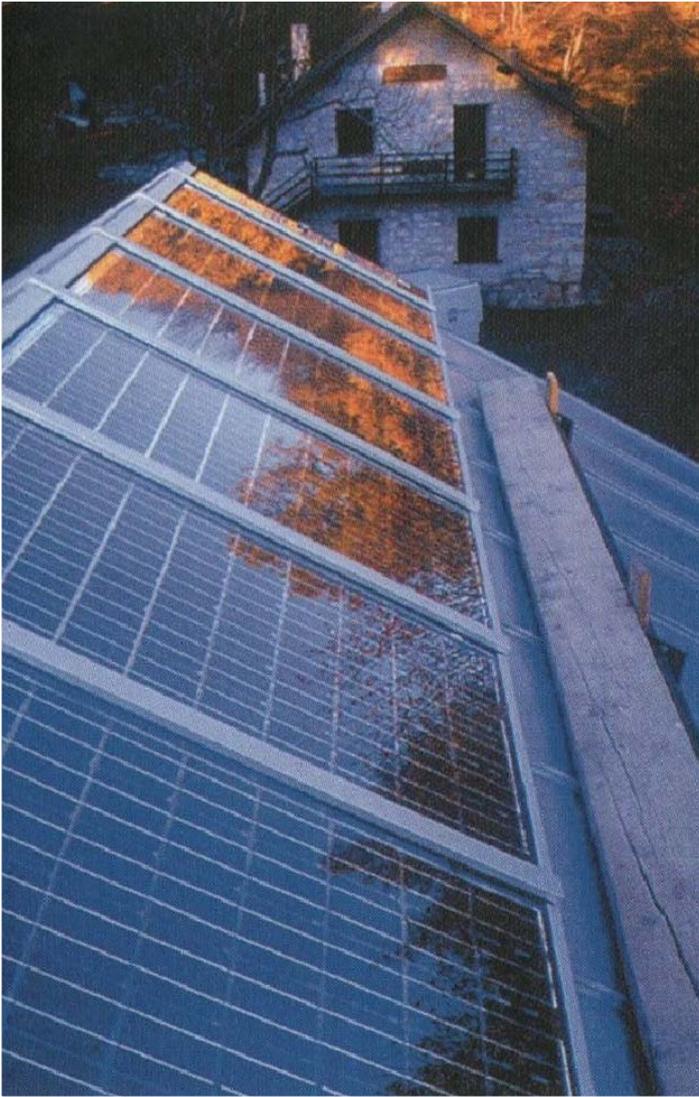
L'impianto fotovoltaico è stato realizzato con un sistema di moduli trasparenti con celle distanziate, in modo da trasformare un lucernario centrale sul lato sud - est, i collettori solari sono posti sulla stessa falda, in posizione più bassa rispetto all'impianto fotovoltaico. La creazione del lucernario centrale consente la diffusione della luce all'interno dell'edificio, funzionando come un camino solare "light pipe" e presenta un inclinazione di 30°.

Sono state calcolate le ombre della vegetazione e dei rilievi montuosi, per poter posizionare l'impianto in maniera ottimale, la struttura a cui è ancorato è in legno lamellare di abete; sulla sommità c'è il lucernario realizzato con un telaio standard in alluminio, con pannelli vetro/vetro e celle in silicio monocristallino. Sono stati installati 65 moduli PV suddivisi in cinque stringhe, la produzione annua è stata di 10.500 kWh; i pannelli che contengono la serpentina dei collettori solari in acciaio, sono inclinati di 30° ed hanno una capacità di 500 litri.

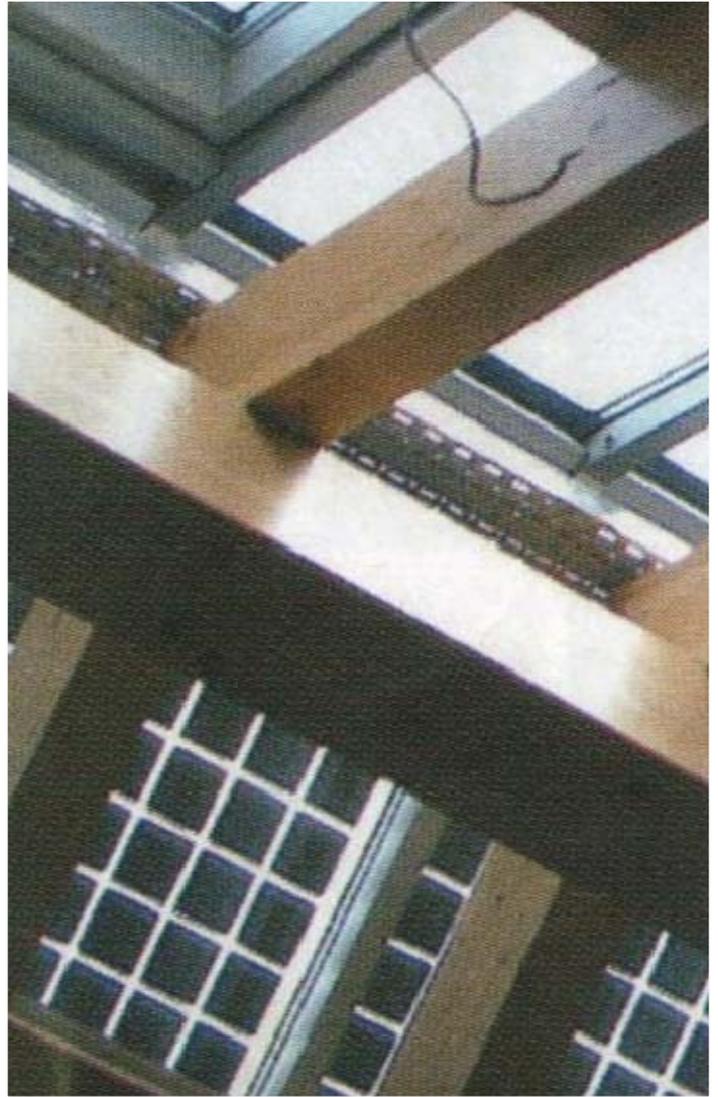
ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Nella ristrutturazione della Malga, il ricorso all'energia solare è stata una scelta praticamente obbligata dall'impossibilità di connettersi alla rete di distribuzione; l'edificio è stato inoltre concepito con criteri eco-compatibili a testimonianza delle attitudini didattiche e naturalistiche che i turisti svolgono nel soggiorno al suo interno.

L'integrazione tra un edificio costruito in maniera estremamente semplice e con materiali locali con soluzioni tecnologiche estremamente curate fin nei dettagli, ha portato ad una realizzazione che mantiene intatti i caratteri originali, pur presentando negli interni ambienti estremamente confortevoli e di notevole qualità.



11.1 Lucernario centrale fotovoltaico



11.2 Lucernario visto dall'interno



11.3 Colmo del tetto con lucernario fotovoltaico



11.4 Vista della Malga

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	privati	società privata Solgarden Kolding
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1939	1997
DESTINAZIONE D'USO:	appartamenti	appartamenti
SEDIME COMPLESSIVO:	5689 mq	5689 mq
ALTEZZA MASSIMA:	18 m	23 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE:
Kolding, Danimarca

CONTESTO:
periferia urbana

TIPO D' INTERVENTO:
ristrutturazione - retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:
Kjaer, Tichter A/S

TIPO DI CAPTATORE:
PV in silicio monocristallino

POSIZIONE CAPTATORI:
copertura, facciata

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:
integrato (facciata), non integrato (copertura)

SUPERFICE CAPTANTE:
932 mq

POTENZA NOMINALE:
106 kW



CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

Solgarden, che in danese significa "giardino del sole" è un palazzo di circa 80 appartamenti, costruito alla fine degli anni '30 risponde pienamente ai canoni stilistici del modernismo internazionale.

Durante il biennio '96 - '97 è stato realizzato un intervento di grandi dimensioni su questo edificio residenziale a Kolding, promossa dal Comune della cittadina danese e dal Ministero dell' Ambiente. I lavori hanno coinvolto diversi aspetti: il rifacimento delle fondazioni, il miglioramento dell'isolamento dell'edificio, l'installazione degli impianti fotovoltaici che, oltre alla produzione di energia ha avuto il compito di sviluppare la conoscenza delle tecnologie che permettessero l'installazione di impianti fotovoltaici su edifici esistenti.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Forma, dimensione ed orientamento, hanno fatto sì che fosse stato perfetto per una sperimentazione su larga scala, il sistema fotovoltaico è suddiviso in due parti, uno di grandi dimensioni è montato sul tetto (fig. 12.3), l'altro è integrato nei balconi della facciata a sud (fig. 12.4). In questi 8 gruppi di verande, i pannelli semitrasparenti in vetro tralucidato per garantire la privacy, sono stati inseriti nella balaustra e misurano una superficie complessiva di 175 mq.

Il sistema in copertura si compone di 4 fasce continue di 846 moduli semitrasparenti in silicio monocristallino, esse seguono la curvatura del corpo di fabbrica e sono montate su una struttura di cavalletti in acciaio. Il generatore è suddiviso in 16 settori ed è connesso alla rete pubblica tramite 105 piccoli inverter.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Questo complesso residenziale è diventato un manifesto per l'integrazione del fotovoltaico, si tratta di una delle maggiori realizzazioni su edifici residenziali del nord Europa, l'installazione dei due sistemi contribuisce a migliorare l'immagine dell'edificio senza cancellarne le caratteristiche architettoniche originali, che risultano di notevole interesse. Le verande fotovoltaiche scandiscono in modo ritmico la facciata (fig. 12.1), consentendo l'utilizzo per diverse ore al giorno di luce solare e abbattendo il consumo di elettricità; l'impianto PV riduce di circa 2000 Kg all'anno le emissioni di anidride carbonica.



12.1 Vista della facciata sud



12.2 vista della facciata a nord



12.3 Impianto in copertura



12.4 Verande fotovoltaiche



12.5 Vista dalla piazza a sud

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	Servizi Amministrativi Americani	Servizi Amministrativi Americani
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1940	1999
DESTINAZIONE D'USO:	uffici	uffici
SEDIME COMPLESSIVO:	1900 mq	1900 mq
ALTEZZA MASSIMA:	32 m	32 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE:

Boston, USA

CONTESTO:

urbano

TIPO D' INTERVENTO:

retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

ENRON ENERGY, Servizi Amministrativi Americani

TIPO DI CAPTATORE:

PV in silicio amorfo

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

116 mq

POTENZA NOMINALE:

37 kW

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

L'edificio è posto su una banchina, ed il progetto ha dovuto tener conto della presenza dell'acqua e del vento che soffia ad alte velocità in quella zona; quando è stato il momento di sostituire la copertura è stato deciso di installare una copertura fotovoltaica integrata.

La guardia costiera è il principale inquinante dello stabile situato vicino al distretto finanziario, oltre al fotovoltaico, l'edificio è stato fornito di un sistema a vapore che alimenta la caldaie per migliorare le capacità di trattamento dell'aria.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

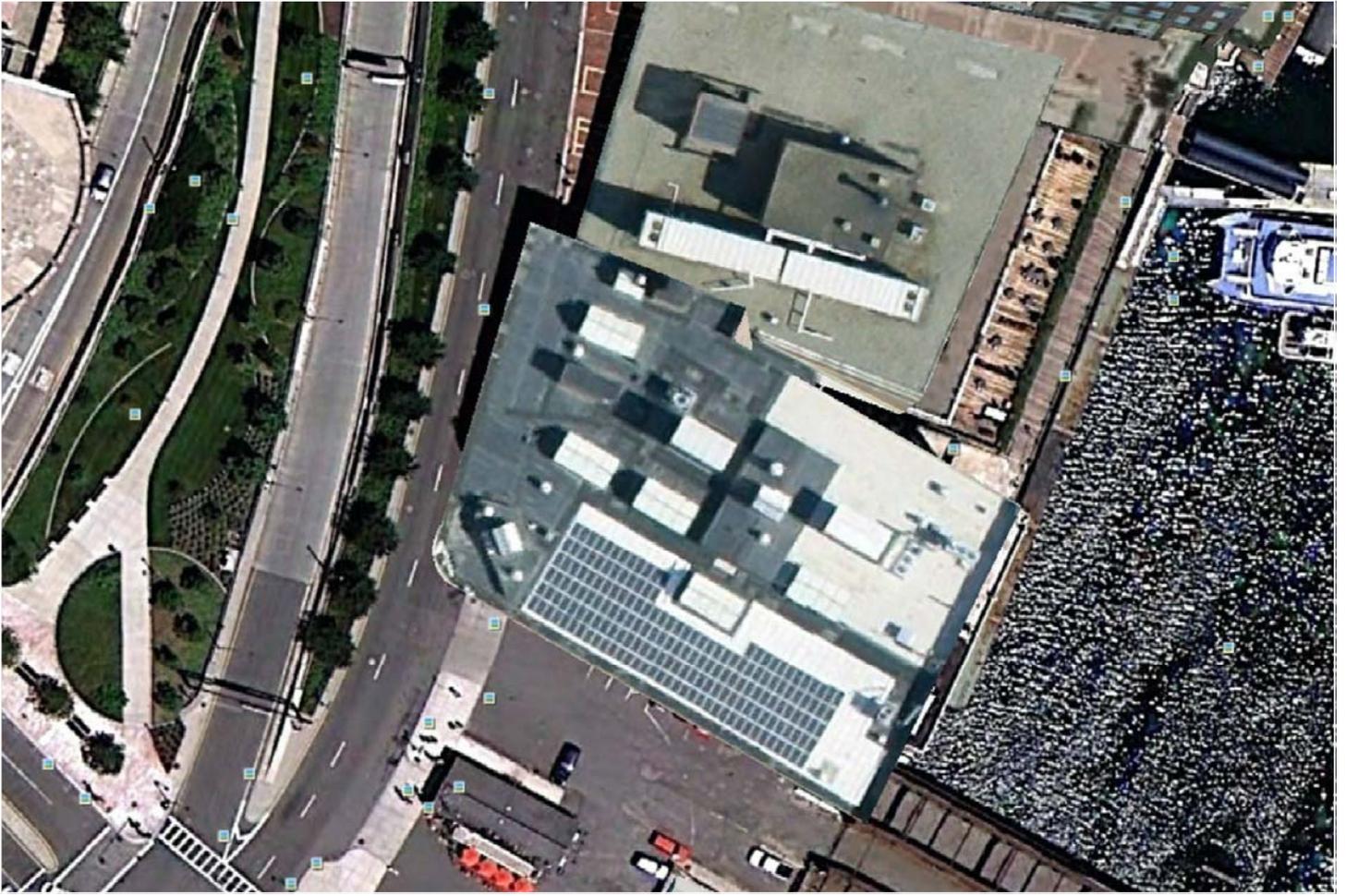
L'impianto fotovoltaico è costituito da 372 pannelli in silicio amorfo connessi in serie di 12, ogni pannello ha una potenza massima di 100 W; i pannelli sono di elevata qualità e permettono di generare 50.000 kWh all'anno.

Come sistema di montaggio è stata usata una rotaia metallica con un sistema di ancoraggio nella quale sono stati infilati i pannelli, tutta la struttura è fermata alla copertura lungo il perimetro, utilizzando un ancoraggio ad incastro sul cordolo di cemento a bordo copertura.

Tale sistema consente all'acqua di defluire sulla vecchia copertura, pertanto non è stato necessario aggiungere nuovi displuvi; i pannelli di controllo dell'impianto sono stati posti in un vano all'ottavo piano, parte dell'attico ha necessitato di un'addizionale copertura metallica.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

L'impianto dal punto di vista architettonico non influisce minimamente sull'immagine dell'edificio, è perfettamente integrato e complanare alla copertura, questo fatto lo rende sicuramente meno produttivo di un impianto orientabile o costituito da elementi captanti inseguitori; la soluzione adottata è ottimale per preservare la forma dello stabile che la ospita anche in copertura, soprattutto perchè è estremamente visibile anche dall'alto dalla miriade di uffici che si trovano all'interno dei grattacieli che sovrastano l'edificio dei Servizi Amministrativi Americani.



13.1 Vista zenitale del palazzo



13.2 Vista della copertura



13.3 L'impianto in copertura

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTÀ'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	Università di Northumberland	Università di Northumberland
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1960	1994
DESTINAZIONE D'USO:	Università	Università
SEDIME COMPLESSIVO:	1600 mq	1600 mq
ALTEZZA MASSIMA:	25 m	25 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE:

Northumbria, UK

CONTESTO:

urbano

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione, retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

BP Solar, IT Power, OVE Arup, SMA

TIPO DI CAPTATORE:

PV in silicio monocristallino

POSIZIONE CAPTATORI:

facciata

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

390 mq

POTENZA NOMINALE:

39,5 kW

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

Il Northumberland Building è un edificio universitario rettangolare di forma allungata di 5 piani, costruito nel 1960, si trova a nord-est dell'Inghilterra. La sua ristrutturazione è stata il primo esempio di integrazione fotovoltaica sul patrimonio esistente nel Regno Unito, in cui le operazioni di riqualificazione delle strutture architettoniche vengono abbinata all'applicazione di sistemi solari integrati.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento consiste nell'installazione di moduli fotovoltaici inclinati posti nella parte superiore delle finestre della facciata sud, si è dunque optato per un rivestimento in alluminio a spioventi che proteggessero la struttura dalle intemperie, eliminando inoltre il problema dell'umidità sul rivestimento ed abbassando la temperatura dei captatori con intercapedini ventilate, i moduli fotovoltaici sono stati inseriti nel rivestimento, in modo da andarne a costituire parte integrante.

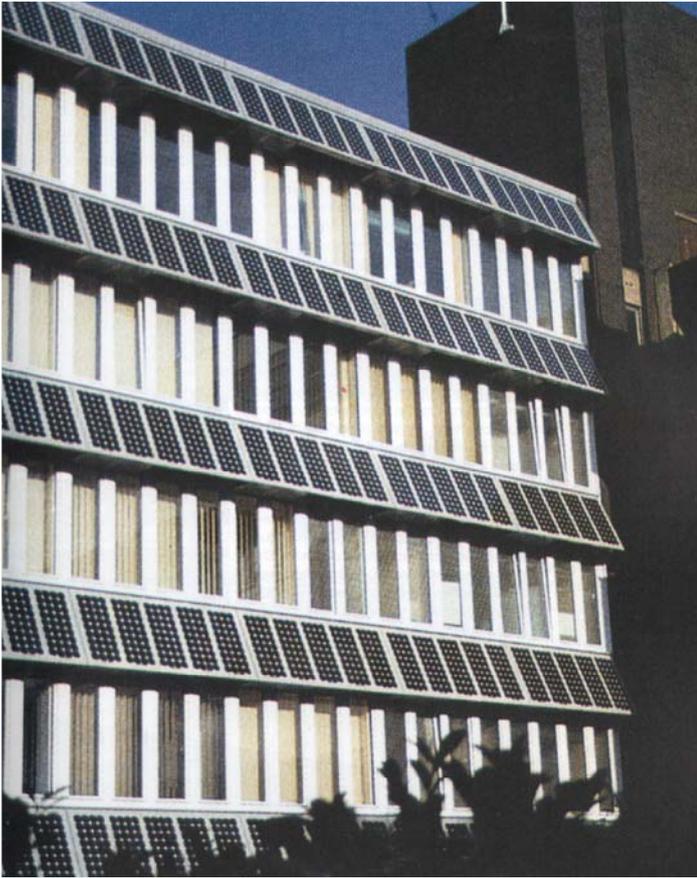
L'inclinazione di questi elementi è di 65°, il che rende ottimale la capacità di captazione, permettendo inoltre ad essi di svolgere la funzione di frangisole sulle finestre sottostanti nei mesi più caldi (fig. 14.2).

Il sistema di spioventi è suddiviso in singole unità di 3 m x 1,46 m, ognuna delle quali ospita 5 pannelli PV, in tutto sono stati impiegati 465 moduli in silicio policristallino con una potenza per ciascuno di 85 kW; i moduli sono connessi in serie da 15 e costituiscono stringhe da 31 elementi.

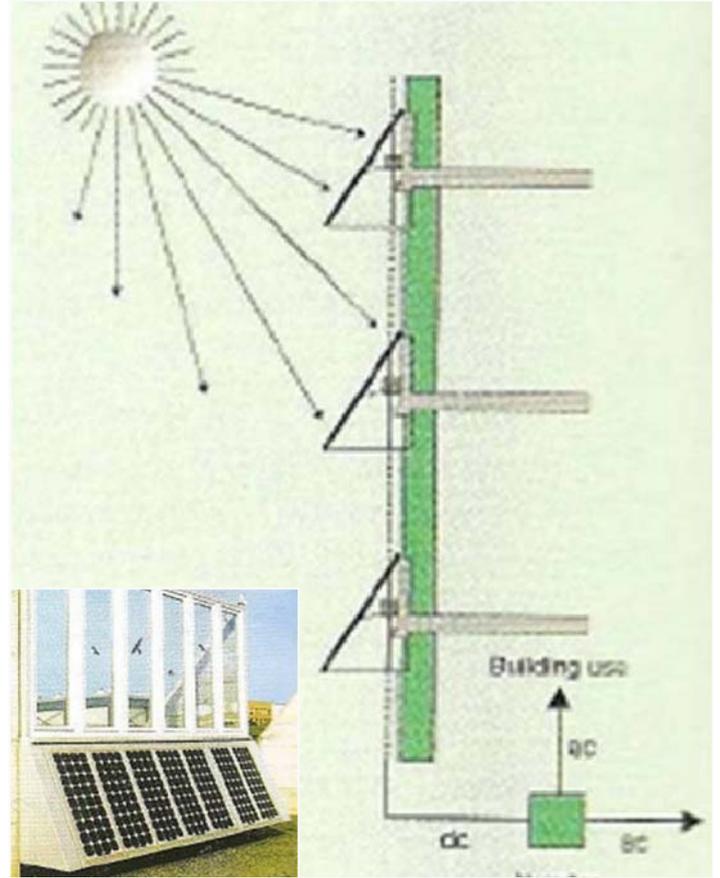
Il sistema contribuisce al fabbisogno elettronico di tutte le apparecchiature elettroniche dell'edificio e quella in eccedenza è immessa nella rete distributiva, gli inverter sono posti al piano terra mentre tutte le connessioni sono poste dietro la facciata in carter di alluminio.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

L'intervento in questione è sempre stato considerato una realizzazione da prendere in esempio, essa fa seguire ad un approccio altamente ragionato e sperimentale, l'ottenimento di risultati concreti da diversi punti di vista; il suo pregio infatti è quello di costituire un impianto fotovoltaico non unicamente attaccato all'edificio, ma in grado di integrarsi pienamente in esso ed interagirvi, vi convergono infatti: lo sfruttamento della luce solare per la produzione di energia elettrica, controllo e riduzione dell'irraggiamento solare sulle finestre, ventilazione della facciata e miglioramento dell'isolamento termico dell'edificio.



14.1 Vista della facciata sud



14.2 Scgema e modella del sistema fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	pubblica	pubblica
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1962	1993 e 2003
DESTINAZIONE D'USO:	uffici	uffici
SEDIME COMPLESSIVO:	4500 mq	4500 mq
ALTEZZA MASSIMA:	34 m	34 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE:

Monaco, Germania

CONTESTO:

urbano

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione, retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

Bornschlegel & Kurth

TIPO DI CAPTATORE:

PV in silicio policristallino e amorfo

POSIZIONE CAPTATORI:

facciata, copertura

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

integrato (facciata), non integrato (copertura)

SUPERFICE CAPTANTE:

544 mq + 1118 mq (facciata), 380 mq (copertura)

POTENZA NOMINALE:

120 kW


CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

L'edificio del Ministero dell'Ambiente Bavarese, ha subito nel corso degli anni due interventi di ristrutturazione con: il rinnovamento totale dell'immagine del grande edificio a corte, soddisfacendo la necessità di rappresentanza ed il miglioramento del bilancio energetico anche con l'introduzione di impianti fotovoltaici di diversa natura.

Il manufatto risalente agli anni '60 versava in pessime condizioni di mantenimento e, per motivi di costo, i lavori del 2003 sono stati eseguiti durante la normale attività lavorativa degli uffici.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La prima installazione del 1993 ha previsto due impianti fotovoltaici in facciata: uno integrato in film sottile e l'altro inserendo frangisole fotovoltaici, inclinati di 30°, per tutta la lunghezza, che schermassero le finestre (fig. 15.2).

Nel 2003 si sono realizzati i lavori di ristrutturazione che hanno visto, la sostituzione dei frangisole fotovoltaici con una parete vetrata continua su tutto il fronte costituita da piccole serre, queste costituiscono una seconda pelle per l'edificio contribuendo ad isolarlo termicamente, la muratura è stata rivestita da pannelli metallici forati, in grado di ventilare la facciata dell'edificio (fig. 15.3, 15.7).

Il nuovo intervento ha previsto inoltre, la realizzazione di un'altra porzione di facciata fotovoltaica utilizzando moduli posizionati su stringhe parallele, con andamento seghettato, in modo che la parte aggettante, in alluminio traforato, consenta una buona ventilazione dei moduli in film sottile (fig. 15.7, 15.9); infine un grande impianto fotovoltaico di 220 moduli standard è stato installato sulla copertura di tutto l'edificio, con inclinazione di 30°, esso poggia su una struttura a cavalletti metallici (fig. 15.5).

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

L'edificio dopo l'intervento del 2003, ha assunto un'immagine totalmente rinnovata, caratterizzata da un'architettura ad alto contenuto tecnologico estremamente apprezzabile, l'introduzione degli impianti in facciata contribuiscono a creare questa nuova estetica, fatta di parti e materiali diversi con funzioni distinte, l'apporto energetico dato dalla somma dei tre impianti è assolutamente rilevante nel bilancio totale dell'edificio; è in definitiva un ottimo esempio di integrazione del fotovoltaico sull'esistente, in cui la tecnologia è linguaggio caratterizzante.



15.1 Vista zenitale dell'edificio



15.2 Vista dell'edificio dopo l'intervento del 1993



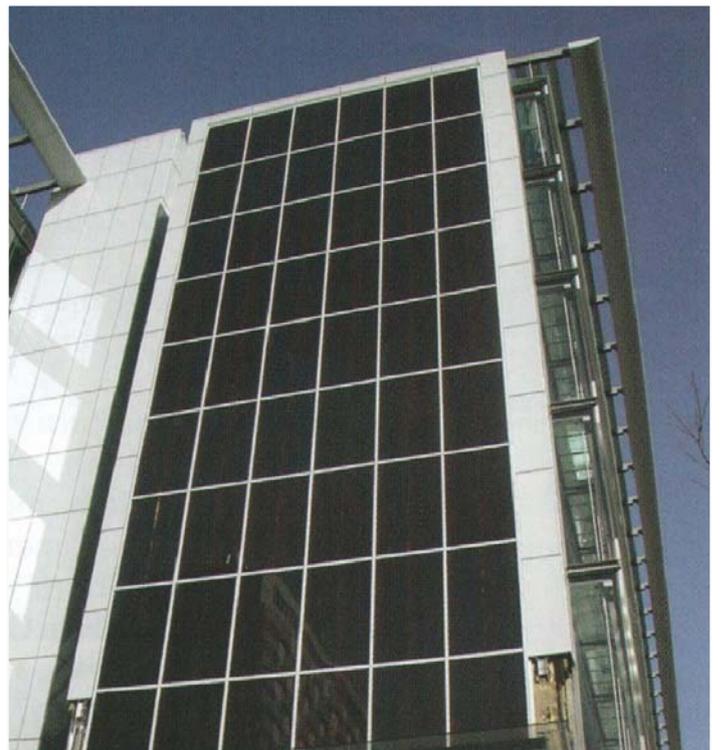
15.3 Vista dell'edificio dopo l'intervento del 2003



15.4 Impianto in copertura



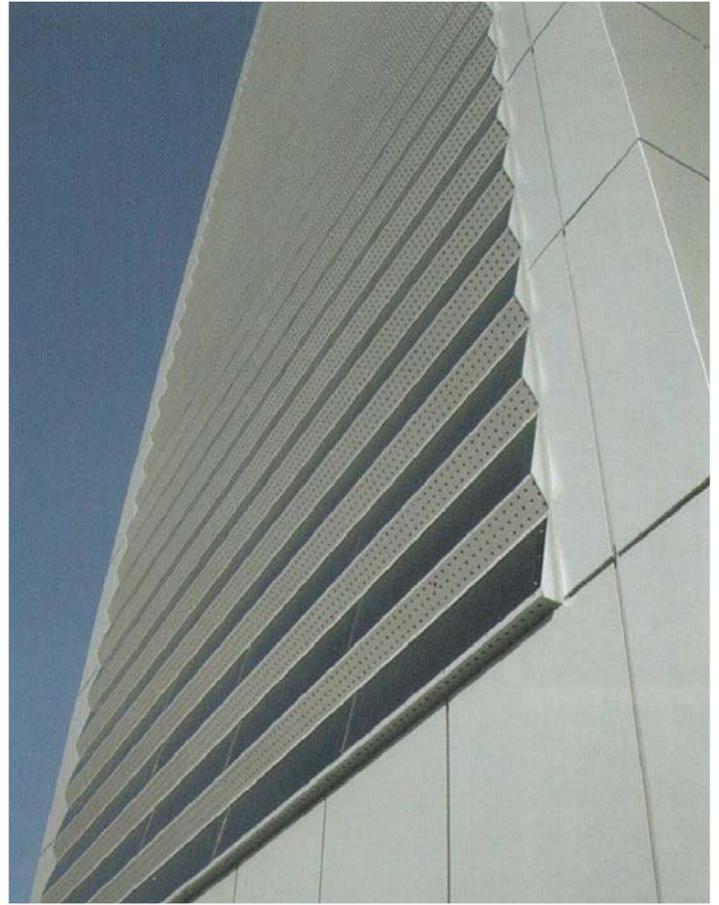
15.5 Vista della facciata sud



15.6 Facciata fotovoltaica del 1993 lato est



15.7 Facciata in vetro del 2003



15.8 facciata fotovoltaica del 2003



15.8 facciata fotovoltaica del 1993 lato est



15.9 Particolare della facciata fotovoltaica del 2003

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	pubblica	pubblica
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1894	1992
DESTINAZIONE D'USO:	sede Parlamanto	sede Parlamneto
SEDIME COMPLESSIVO:	11.200 mq	11.200 mq
ALTEZZA MASSIMA:	24 m	47 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distrbuzione	combustibili rinnovabili/impianto PV

LOCALIZZAZIONE: Berlino, Germania
CONTESTO: centro città
TIPO D' INTERVENTO: ristrutturazione, retrofit energetico
PROGETTISTA DELL'IMPIANTO: Sir. Norman Foster & Partners
TIPO DI CAPTATORE: PV in silicio monocristallino
POSIZIONE CAPTATORI: copertura
TIPOLOGIA DI IMIANTO: integrato
SUPERFICE CAPTANTE: 300 mq
POTENZA NOMINALE: 37 kW



CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

Negli anni '90, non molto tempo dopo la riunificazione, la Germania, ha ricostruito l'edificio del suo parlamnto storico, il progetto abbina il rispetto del passato ed un futuro ricco di speranze, tanto che la cupola realizzata da Foster rappresenta oggi il simbolo della rinascita nazionale. La trasformazione del Reichstag si basa su quattro concetti tra loro correlati: la valenza del Bundestag come foro democratico, la storia, l'impegno alla pubblica accessibilità ed un rigoroso programma ambientale. L'edificio fu gravemente mutilato durante la guerra e da un successivo restauro quasi irrispettoso; il nuovo intervento trae spunto dalla struttura originale, le superfetazioni storiche sono state eliminate per mettere in luce le tracce del passato.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto nasce da una riflessione sui cambiamenti sociali e politici che interessano il paese, lasciando spazio alle soluzioni tecnologiche più avanzate; l'edificio è un esempio per l'utilizzo dell'energia solare, per il ricorso sistemi di recupero e cogenerazione del calore e per l'uso di ventilazione e luce naturale.

La nuova cupola di acciaio e vetro, dal diametro di 40 metri ed un'altezza di 23 metri, svolge un ruolo importante nel sistema di ventilazione degli interni, convogliando l'aria fresca e recuperando il calore, è inoltre un pozzo di luce naturale per la Camera dell' Assemblea (fig. 16.3, 16.4), le sue finestre ed aperture sono regolate meccanicamente.

L'energia prodotta dall'edificio è trasmessa anche agli stabili circostanti, vengono utilizzati unicamente combustibili rinnovabili bruciati da un cogeneratore: olio di palma da dattero e semi di girasole. Le emissioni di anidride carbonica sono così ridotte del 94%, il calore prodotto in eccedenza viene immagazzinato in una falda acquifera naturale a 300 metri di profondità.

L'impianto PV è posto su una porzione della copertura a falde inclinate rivolta a sud, misura una superficie di 300 mq (fig. 16.2, 16.5), i pannelli sono in silicio monocristallino grigio come la pavimentazione; essi producono energia per la rotazione della schermatura della cupola computerizzata e per il sistema di ventilazione.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Il parlamento tedesco è diventato un edificio simbolico anche per il ricorso in architettura alle green technologies, esso si configura come una gigantesca macchina che funziona alla perfezione senza inquinare, i tre sistemi di generazione di energia e trattamento dell'aria e luce descritti sopra, sono stati impiegati con sapienza per fare in modo che ognuno contribuisse nella misura corretta al funzionamento dell'edificio.

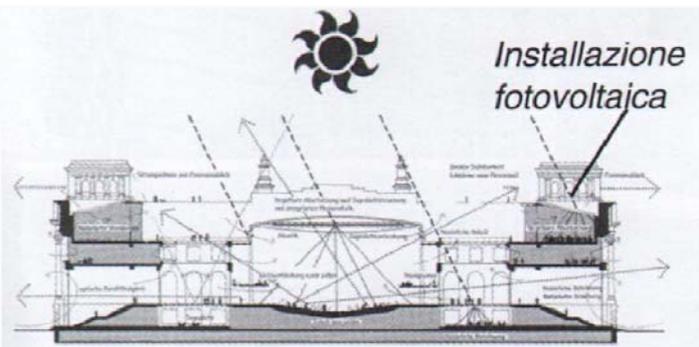
Il progetto è un esempio unico di convergenza tra: ristrutturazione rispettosa della storia, architettura contemporanea con fortissima valenza sociale ed ideologica e ricorso alle tecnologie più rispettose dell'ambiente.



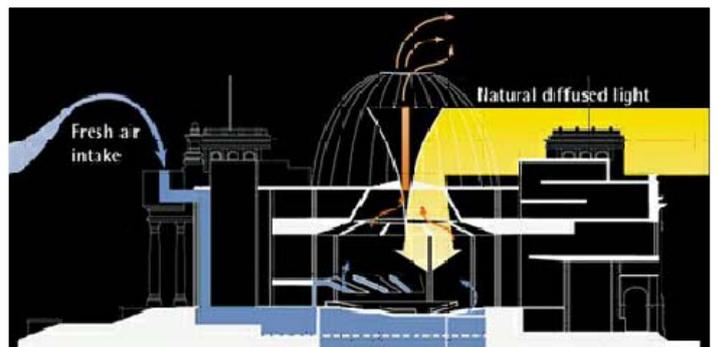
16.1 Vista della cupola



16.2 Vista dell'impianto fotovoltaico



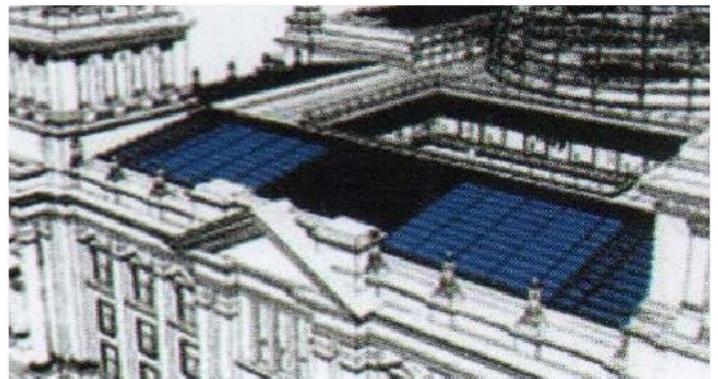
16.3 Schema della luce solare



16.4 Schema della ventilazione e dell'illuminazione naturale



16.5 Vista della facciata sud con l'impianto PV



16.6 Disegno dell'impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	pubblica	pubblica
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1916	2004
DESTINAZIONE D'USO:	stazione metropolitana	stazione metropolitane, uffici, negozi
SEDIME COMPLESSIVO:	6912 mq	6912 mq
ALTEZZA MASSIMA:	22 m	22 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE:

New York, USA

CONTESTO:

urbano

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione, retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

ENRON ENERGY, Servizi Amministrativi Americani

TIPO DI CAPTATORE:

PV in silicio amorfo

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

5700 mq

POTENZA NOMINALE:

210 kW

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

Lo Stillwell Avenue Terminal è una delle stazioni metropolitane più grandi al mondo, ha un forte valore simbolico nel contesto urbano in cui si trova poiché è la porta d'ingresso a Cony Island; fu costruita nel 1916, periodo in cui vengono realizzate le infrastrutture per i quattro treni a vapore che collegavano l'isola a New York, la zona fu circondata da parchi tematici di divertimento, perciò fin dall'inizio la stazione è stata un fondamentale crocevia per migliaia di visitatori ogni giorno.

A partire dal 2001 la stazione è stata oggetto di un piano di ristrutturazione urbano che ha compreso la valorizzazione delle spiagge vicine.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La struttura della copertura che sorregge l'impianto fotovoltaico, è formata da 3 grandi arcate di ferro, composte da profili tubolari quadrati e tiranti, essa poggia sulla struttura metallica della stazione (fig. 17.3, 17.4); la copertura semitrasparente consente di avere una buona illuminazione diurna, è ispezionabile per la manutenzione tramite passerelle e l'ausilio di cavi d'acciaio (fig. 17.6).

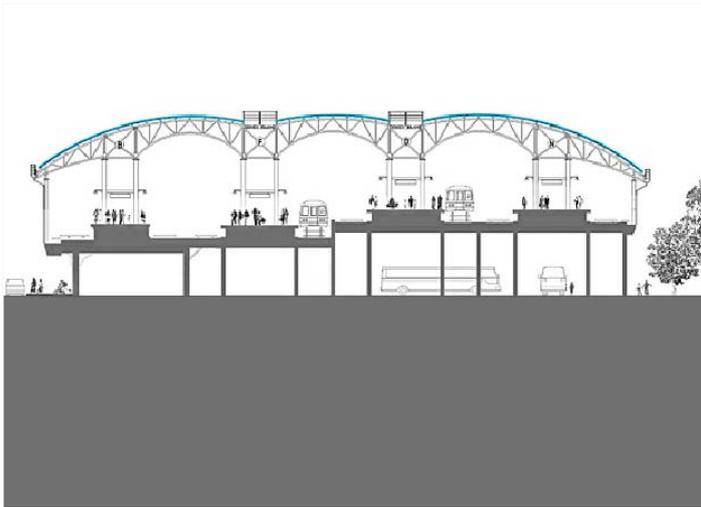
L'impianto PV è dotato di un sistema di controllo che ne verifica costantemente temperatura ed irraggiamento, al fine di verificarne il corretto funzionamento; esso è composto da 2730 pannelli in film sottile di 155cm x 134 cm, il materiale captante è stato scelto per la sua capacità di essere installato su superfici curve.

La parte attiva dei moduli, montati a stringhe da 5, è quella centrale alle campate, mentre ai lati la copertura è lasciata trasparente per permettere l'ingresso della luce; a sostegno di questi pannelli PV c'è una struttura metallica di supporto, alla quale sono avvitati i moduli tramite la loro cornice in alluminio.

L'impianto copre circa l'11% del fabbisogno energetico della stazione nelle ore di picco e circa il 30% dell'energia complessiva necessaria durante il giorno.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

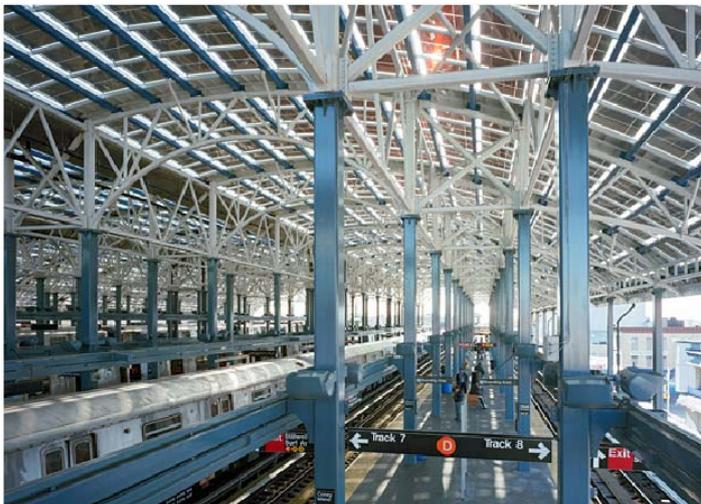
Questo sistema fotovoltaico rappresenta l'impianto con captatori in film sottile realizzato più grande al mondo, per questo è stato insignito di molti premi internazionali, nel 2007 è stato Progetto per le Energie Rinnovabili dell'anno, la stazione ha mantenuto architettonicamente l'immagine classica delle originali stazioni metropolitane dei primi del '900, con una struttura reticolare in acciaio ed una copertura formata da volte a botte, coniugata però sapientemente con l'impiego della tecnologia fotovoltaica, che, oltre a fornire un ingente quantitativo energetico, conferisce alla stazione un'immagine apprezzabile, che di notte, quando la luce interna oltrepassa le trasparenze della copertura, diventa estremamente suggestiva (fig. 17.9, 17.10).



17.1 Sezione trasversale



17.2 Vista della stazione



17.3 Struttura metallica



17.4 Struttura metallica



17.5 Coperture fotovoltaica



17.6 Passerella e pannelli fotovoltaici



17.7 Montaggio dei pannelli



17.8 Costruzione della struttura



17.9 Vista della copertura di notte



17.10 La luce artificiale che filtra la copertura

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	società privata	società privata
ANNO DI REALIZZAZIONE:	nd	1992
DESTINAZIONE D'USO:	uffici	uffici
SEDIME COMPLESSIVO:	2800 mq	2800 mq
ALTEZZA MASSIMA:	12 m	12 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE:

Bamberg, Germania

CONTESTO:

periferia

TIPO D' INTERVENTO:

installazione fotovoltaica sperimentale

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

MWB Messwandler-Bau AG

TIPO DI CAPTATORE:

PV in silicio amorfo

POSIZIONE CAPTATORI:

facciata

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

5,5 mq

POTENZA NOMINALE:

nd

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

L'edificio, di proprietà di questa società privata che si occupa di tecnologie legate all'elettricità, si trova nella periferia, scarsamente edificata, di questa cittadina al centro della Germania.

Lo stabile è stato semplicemente scelto per poter svolgere questa installazione di carattere sperimentale, in modo da testarla prima di procedere alla sua produzione seriale e quindi all'immissione sul mercato.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Questa schermatura fotovoltaica, realizzata integrando la superficie captante su membrana di poliestere, rappresenta una tensostruttura di tipo continuo unica nel suo genere.

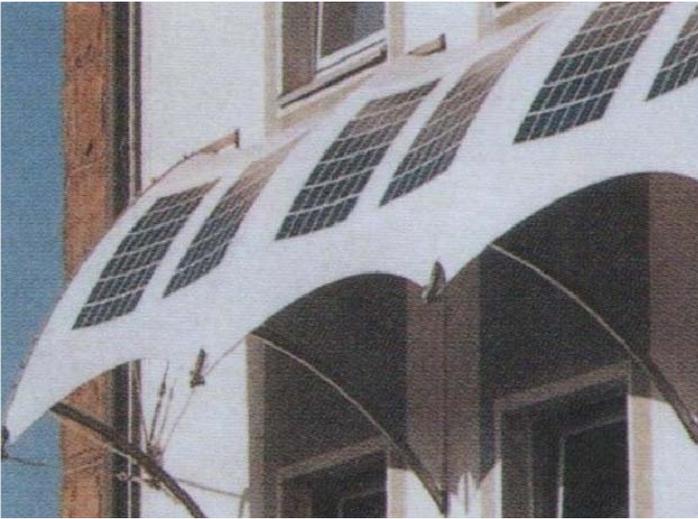
In questo esmpio realizzato nell'edificio dell'MWB a Bamberg, i moduli fotovoltaici sono 14, realizzati in film sottile, con celle in silicio amorfo, un materiale che per la sua duttilità e le sue caratteristiche fisiche, può essere lavorato quasi come un tessuto: giuntato o integrato su supporti di qualsiasi natura e forma, è infatti capace di assumere qualsiasi curvatura del supporto che lo ospita.

I moduli captanti sono 14, realizzati con 36 celle di 10 cm x 10 cm, disposte formando un quadrato di 6 x 6, sono state plastificate con una pellicola trasparente che consente la protezione delle celle dagli agenti atmosferici, senza ridurne la capacità di assorbimento e, successivamente, il film con le celle incorporate è stato sigillato a caldo sulla tenda in poliestere bianca, usata comunemente nelle tensostrutture.

La tenda è ancorata alla facciata con sette profili speciali in acciaio, formati da una doppia curva e fissati alle pareti con espansori.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Adoperare una tensostruttura come supporto per integrare celle fotovoltaiche, è sicuramente una strada che può portare dei risvolti interessanti, sia per la diffusione e l'impiego di questi sistemi in architettura negli ultimi anni, sia per gli ambiti in cui vengono impiegati: spesso le tensostrutture vengono adoperate per allestimento di spazi all'aperto temporanei, in cui non sempre è semplice ed immediato riuscire a portare corrente elettrica; questa potrebbe essere una soluzione ottimale al problema.



18.1 Vista della schermatura della MWB



18.2 Altro esempio realizzato dalla MWB di tensostruttura PV



18.3 Un tipo di tessuto fotovoltaico



18.4 Tenda PV per in dotazione all'esercito militare



18.5 Esempio di tenda PV avvolgibile



18.6 La Soft House di S. Kennedy alimentata da tende PV

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	pubblica	pubblica
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1972	2001
DESTINAZIONE D'USO:	palestra scolastica	palestra scolastica
SEDIME COMPLESSIVO:	400 mq	400 mq
ALTEZZA MASSIMA:	5 m	5,5 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto fotovoltaico

LOCALIZZAZIONE:

Bale, Svizzera

CONTESTO:

urbano

TIPO D' INTERVENTO:

retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

Enecola AG

TIPO DI CAPTATORE:

PV in silicio monocristallino

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

non integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

300 mq

POTENZA NOMINALE:

17,3 kW

**CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO**

L'edificio, situato nella prima periferia della cittadina di Bale, consiste in un'unico blocco ed è utilizzato come palestra dai bambini della scuola primaria ad esso adiacente, non è soggetto ad effetti di ombreggiamento prodotto da edifici vicini.

La sua altezza è di 5 metri, la superficie totale della copertura piana è di 400 mq, ma ne è stata impiegata solo una parte per l'impianto, per lasciare liberi dei passaggi per la manutenzione.

Il tetto in questione è un tetto verde, per questo motivo è stato realizzato un impianto con un carico estremamente contenuto.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La vegetazione che cresce fino a 40 cm di altezza, necessita di una potatura molto spesso, per questo si è lasciato più spazio possibile al verde ed agli spazi per compiere queste operazioni; come detto prima la struttura usata è molto leggera, fatta da tubolari metallici, inclinata di 30°, fissata su un fondo di ghiaia della copertura e su quello di humus su cui cresce la vegetazione, questo innovativo sistema di montaggio per tetti verdi è economico, leggero ed apprezzabile esteticamente.

Sono stati montati 216 pannelli di 52 cm x 118 cm collegati a 6 inverter, sviluppano 17,3 kW e sono in grado di produrre 14.500 kWh all'anno, l'impianto è orientato in linea con l'edificio; per il montaggio è stato necessario prima rimuovere la ghiaia e la terra in copertura, successivamente fissare superfici gommate in corrispondenza degli appoggi dei cavalletti, poi procedere al montaggio dei pannelli ed alla ristesa del fondo per la vegetazione precedentemente tolto.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Questo sistema strutturale per il montaggio di pannelli fotovoltaici per tetti verdi è il più diffuso sul mercato, porta a risultati molto apprezzabili anche dal punto di vista estetico, cosa espressamente richiesta in questo progetto dalla committenza, permette inoltre di non alterare eccessivamente il carattere dell'edificio non alzandosi molto, a differenza di altri sistemi, dalla quota originale del tetto, consente infine di mantenere la vegetazione in copertura, che contribuisce in maniera evidente alla coibentazione del tetto con buoni risultati estetici.



19.1 Vista del tetto verde dell' edificio prima dell'intervento



19.2 La scuola dopo l'intervento



19.3 Sistema strutturale impiegato nel progetto del PV



19.4 Modello più grande del sistema strutturale impiegato nella scuola



19.5 Momento dell'istallaizone dell'impianto PV



19.6 Momento del montaggio dell'impianto PV

LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	pubblica	pubblica
ANNO DI REALIZZAZIONE:	1961	2005
DESTINAZIONE D'USO:	scuola, palestra scolastica	scuola, palestra scolastica
SEDIME COMPLESSIVO:	4150 mq	4150 mq
ALTEZZA MASSIMA:	9 m	12 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	teleriscaldamento/impianto solare termico

LOCALIZZAZIONE:

Eggenstein, Germania

CONTESTO:

prima periferia

TIPO D' INTERVENTO:

ristrutturazione, retrofit energetico

PROGETTISTA DELL'IMPIANTO:

Studio Pfeif & Koch, Studio Kohler & Meinzer

TIPO DI CAPTATORE:

pannelli con collettori solari in vetro

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

TIPOLOGIA DI IMPIANTO:

integrato

SUPERFICE CAPTANTE:

1000 mq (scuola), 600 mq (palestra)

POTENZA NOMINALE:

1600 MWh/anno


CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

Il complesso scolastico si trova alla periferia della cittadina Eggenstein, nell'edificio più grande, composto da due corpi di fabbrica paralleli collegati ci sono le scuole primarie e secondarie (fig. 20.1), l'altro edificio di dimensioni più ridotte ospita il centro sportivo (fig. 20.4).

I fabbricati, realizzati negli anni '60, con materiali scadenti versavano in pessime condizioni e necessitavano di un altissimo consumo di gas per il riscaldamento, generato con delle vecchie caldaie ad olio.

Gli edifici, oggetto di inefficaci interventi di risanamento nel corso degli anni, sono stati così oggetto di una ristrutturazione totale, che ha riguardato la sostituzione degli infissi, del rivestimento esterno, delle coperture, la realizzazione di un impianto solare termico ed il collegamento ad una rete di teleriscaldamento estesa a tutto il quartiere (fig. 20.7).

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto solare impiegato, rientrante in una importante campagna di finanziamenti del governo tedesco per gli impianti solari termici, è stato estremamente ambizioso dal punto di vista dell'efficienza e delle tecnologie impiegate, una vera e propria sperimentazione che ha costituito l'input, per una serie di interventi successivi nel territorio.

Le coperture piane dei vari corpi di fabbrica paralleli, estremamente deteriorate, sono state smantellate, sopra sono state realizzate delle falde inclinate di 30°, rivolte a sud, sorrette da strutture in legno ricoperte da carter in alluminio; su di esse sono stati integrati dei collettori solari modulari a pannelli in vetro (fig. 20.1, 20.2), 1000 mq sui due corpi delle scuole e 600 mq sull'edificio della palestra, dove la grande copertura piana è stata divisa in 5 falde inclinate parallele, vetrate sui lati rivolti a nord, per consentire l'illuminazione naturale degli interni.

Nello spazio sottostante ai pannelli, è stata realizzata una camera di ventilazione con un dispositivo per il recupero del calore derivante dal riscaldamento dei collettori.

Nel parco circostante, è stato realizzato un serbatoio stagionale in ghiaia, dove viene accumulata l'energia termica prodotta dall'impianto solare nei mesi caldi, questo grande volume di 4500 metri cubi, munito di un sistema di sondaggio e controllo per controllarne temperatura e pressione, è posto sotto terra, in corrispondenza di una piazzata che funge da piccolo anfiteatro (fig. 20.5, 20.6, 20.7). Questo sistema, una volta entrato in regime, consente al complesso di risparmiare oltre il 40% di energia termica, la restante viene fornita da una nuova centrale a teleriscaldamento.

ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

Il solare termico con serbatoio di accumulo è un sistema molto impiegato nei paesi del nord Europa, dove ha portato a straordinari vantaggi, specie se applicato a complessi di dimensioni rilevanti, in questo caso, il funzionale rifacimento del tetto in metallo, ha migliorato l'immagine di questo edificio di bassa qualità, aumentandone la coibentazione.



20.1 Vista degli edifici delle scuole



20.2 Montaggio dei moduli solari



20.3 Realizzazione del serbatoio stagionale



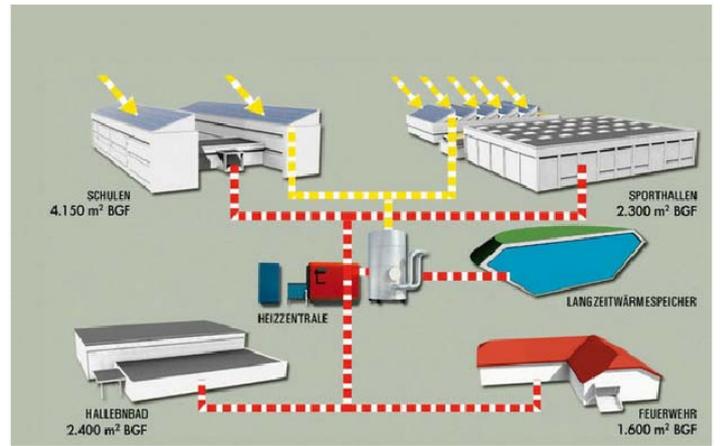
20.4 Vista della palestra



20.5 Riempimento con ghiaia del serbatoio stagionale



20.6 Spazio sopra al serbatoio d'accumulo stagionale



20.7 Schema di distribuzione dell'energia termica

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTÀ'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	società privata	società privata
DESTINAZIONE D'USO:	uffici	uffici
ALTEZZA MASSIMA:	16 m	16 m + 5 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto eolico

LOCALIZZAZIONE:

Walker, USA

CONTESTO:

periferia urbana

TIPO DI INTERVENTO:

retrofit energetico

TIPO DI IMPIANTO:

mini - eolico

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

DIMENSIONE DELL'IMPIANTO:

6 turbine ad asse orizzontale, Ø 2,1 m

POTENZA MEDIA NOMINALE:

9 kW



21.1 Le turbine sulla copertura



21.2 L'edificio prima dell'intervento

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	privati	società immobiliare - privati
DESTINAZIONE D'USO:	appartamenti	appartamenti
ALTEZZA MASSIMA:	45 m	45 m + 10 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto eolico

LOCALIZZAZIONE:
Croydon, UK
CONTESTO:
periferia urbana
TIPO DI INTERVENTO:
retrofit energetico
TIPO DI IMPIANTO:
mini - eolico
POSIZIONE CAPTATORI:
copertura
DIMENSIONE DELL'IMPIANTO:
8 turbine ad asse verticale, Ø 3,1 m
POTENZA MEDIA NOMINALE:
41,4 kW



22.1 Le turbine sulla copertura



22.2 Vista dell'edificio



22.3 L'edificio visto da nord

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	società privata	società privata
DESTINAZIONE D'USO:	stazione di rifornimento	stazione di rifornimento
ALTEZZA MASSIMA:	7 m	7 m + 3,5 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto eolico

LOCALIZZAZIONE:
West Yarmouth, USA

CONTESTO:
periferia urbana

TIPO DI INTERVENTO:
installazione impianto mini - eolico

TIPO DI IMPIANTO:
mini - eolico

POSIZIONE CAPTATORI:
copertura

DIMENSIONE DELL'IMPIANTO:
3 turbine ad asse orizzontale, Ø 2,1 m

POTENZA MEDIA NOMINALE:
4,5 kW



LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	pubblica	pubblica
DESTINAZIONE D'USO:	uffici - sede amministrativa	uffici - sede amministrativa
ALTEZZA MASSIMA:	55 m	55 m + 5 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto eolico

LOCALIZZAZIONE:

Reno, USA

CONTESTO:

centro città

TIPO DI INTERVENTO:

installazione impianto mini - eolico

TIPO DI IMPIANTO:

mini - eolico

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

DIMENSIONE DELL'IMPIANTO:

3 turbine: 1 ad asse verticale, 3 ad asse orizzontale

POTENZA MEDIA NOMINALE:

8,2 kW



24.1 Viste del Municipio



24.2 Una turbina ad asse orizzontale sull'edificio

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	Leicester College	Leicester College
DESTINAZIONE D'USO:	campus	campus
ALTEZZA MASSIMA:	21 m	20 m + 8 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto eolico

LOCALIZZAZIONE:
Leicester, UK
CONTESTO:
centro storico
TIPO DI INTERVENTO:
ristrutturazione - retrofit energetico
TIPO DI IMPIANTO:
mini - eolico
POSIZIONE CAPTATORI:
copertura
DIMENSIONE DELL'IMPIANTO:
1 turbine ad asse verticale, Ø 3,1 m
POTENZA MEDIA NOMINALE:
5,2 kW



25.1 L'edificio visto da ovest



25.2 Vista ravvicinata della turbina



25.3 L'ingresso principale del campus

LOCALIZZAZIONE	DESTINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO INTEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

	EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA':	King's College School	King's Collee School
DESTINAZIONE D'USO:	college	college
ALTEZZA MASSIMA:	12 m	12 m + 5 m
FONTI ENERGETICHE:	rete di distribuzione	rete di distribuzione/impianto eolico

LOCALIZZAZIONE:

Wimbledon, UK

CONTESTO:

periferia urbana

TIPO DI INTERVENTO:

istallazione impianto mini - eolico

TIPO DI IMPIANTO:

mini - eolico

POSIZIONE CAPTATORI:

copertura

DIMENSIONE DELL'IMPIANTO:

1 turbine ad asse verticale, Ø 3,1 m

POTENZA MEDIA NOMINALE:

5,2 kW



LOCALIZZAZIONE	DETSINAZIONE D'USO	TIPO IMPIANTO	GIACITURA	GRADO ITEGRAZIONE
CENTRO CITTA'	RESIDENZIALE	FOTOVOLTAICO	COPERTURA	TOTALE
SUBURBANA	PRODUTTIVA	SOLARE TERMICO	FACCIATA	PARZIALE
RURALE	TERZIARIO	EOLICO	TERRA	NON INTEGRATO

ALLEGATO 2

TAVOLE DI PRESENTAZIONE

1	MUSEO DEI BAMBINI	ROMA - ITALIA	MUSEO	PV
2	SEDE CENTRALE EON	PETTEN - OLANDA	UFFICI	PV
3	ISTITUTO TECNICO	UMBERTEDE - ITALIA	SCUOLA	PV/ST
4	POLO SCIENTIFICO	SESTO FIORENTINO - ITALIA	UNIVERSITA'	PV
5	CAMPUS LAS LAGUNELLAS	JENI - SPAGNA	UNIVERSITA'	PV
6	SCUOLA PRIMARIA E SECONDARIA	ST. PETERSBURG - RUSSIA	SCUOLA	PV/ST
7	CASTELLO DI GROENHOFF	FLANDERS - BELGIO	RESIDENZA	PV/ST
8	CONDOMINIO PRIVATO	VERONA - ITALIA	RESIDENZA	PV
9	CASA A RALEIGH ROAD	LONDRA - UK	RESIDENZA	PV
10	BOWATER HOUSE	WEST MIDLAND - UK	RESIDENZE	PV
11	REFUGIO ALPINO	TRENTO - ITALIA	AGRI TURISMO	PV/ST
12	ABITAZIONE SOG GAROEN	KOLDING - UK	RESIDENZA	PV
13	EDIFICIO WILLIAM	BOSTON - USA	UFFICI	PV
14	EDIFICIO MONTHUBERLAND	NORRIMBERGA - UK	UNIVERSITA'	PV
15	MINISTERO DELL'AMBIENTE	MONACO - GERMANIA	AMMINISTRAZIONE	PV
16	REGIONS TAG	BERLINO - GERMANIA	AMMINISTRAZIONE	PV
17	STAZIONE DELLA METROPOLITANA	NEW YORK	STAZIONE	PV
18	EDIFICIO MWB	BAMBERG - GERMANIA	UFFICI	PV
19	EDIFICIO SCOLASTICO	BALE - SVIZZERA	SCUOLA	PV
20	SCUOLA PRIMARIA E SECONDARIA	EGERSTADEN - GERMANIA	SCUOLA	ST
21	SEDE MAIER INC. - WALKER CITY HOTEL	WALKER - USA	COMMERCIALE	EO
22	STAZIONE DI RIFORMAMENTO	GROUDON - LIGURIA	AMMINISTRAZIONE	EO
23	CITY HALL	WEST YARMOUTH - USA	GAS STATION	EO
24	ABBAY PARK CAMPUS	RENO - USA	AMMINISTRAZIONE	EO
25	ABBAY PARK CAMPUS	LEICESTER - UK	UNIVERSITA'	EO
26	KINGS COLLEGE	WIMBLEDON - UK	UNIVERSITA'	EO

DISTRIBUZIONE



EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA': Stato del Vaticano ANNO DI REALIZZAZIONE: 1971 DESTINAZIONE DIVISO: auditorium, aula magna SEDE COMPLESSIVO: 5000 mq ALTEZZA MASSIMA: 32 m PONTI ENERGETICHE: rete di distribuzioe	PROPRIETA': Stato del Vaticano ANNO DI REALIZZAZIONE: 2008 DESTINAZIONE DIVISO: auditorium, aula magna SEDE COMPLESSIVO: 5000 mq ALTEZZA MASSIMA: 32 m PONTI ENERGETICHE: rete distribuzione/impianto p

LOCALIZZAZIONE:
Città del Vaticano, Italia
CONTESTO:
Il complesso è situato nel centro storico del Vaticano, in un'area di alta densità abitativa e di grande valore storico-artistico. L'edificio è stato progettato nel 1971 e ha subito un intervento di ristrutturazione nel 2008. L'edificio è stato progettato da Pierluigi Nicolin e ha una superficie di 5000 mq. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2008. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2008. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2008.



SCUOLA PRIMARIA EGGENSTADEN

EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA': pubblica ANNO DI REALIZZAZIONE: 1961 DESTINAZIONE DIVISO: scuola, palestra scolastica SEDE COMPLESSIVO: 4150 mq ALTEZZA MASSIMA: 9 m PONTI ENERGETICHE: rete di distribuzioe	PROPRIETA': pubblica ANNO DI REALIZZAZIONE: 2005 DESTINAZIONE DIVISO: scuola, palestra scolastica SEDE COMPLESSIVO: 4150 mq ALTEZZA MASSIMA: 12 m PONTI ENERGETICHE: teleselezionamento/impianto solare termi

LOCALIZZAZIONE:
Eggenstaden, Germania
CONTESTO:
L'edificio è stato progettato nel 1961 e ha subito un intervento di ristrutturazione nel 2005. L'edificio è stato progettato da Peter Zumthor e ha una superficie di 4150 mq. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2005. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2005.



CITY HOUSE - GROVDON

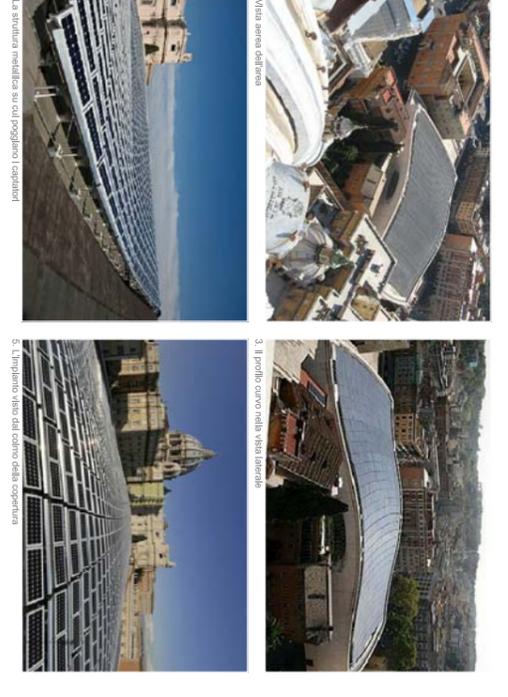
EDIFICIO ORIGINALE	EDIFICIO DOPO L'INTERVENTO
PROPRIETA': privati DESTINAZIONE DIVISO: appartamenti ALTEZZA MASSIMA: 45 m PONTI ENERGETICHE: rete di distribuzioe	PROPRIETA': società immobiliare - privati DESTINAZIONE DIVISO: appartamenti ALTEZZA MASSIMA: 45 m + 10 m PONTI ENERGETICHE: rete di distribuzione/impianto edico

LOCALIZZAZIONE:
Grovdon, UK
CONTESTO:
L'edificio è stato progettato nel 2002 e ha subito un intervento di ristrutturazione nel 2002. L'edificio è stato progettato da Foster + Partners e ha una superficie di 4150 mq. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2002. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2002.



CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'ENERGIA
 L'edificio, da anni abbandonato all'abbandono dai proprietari, la maggior parte del tetto era coperto da pannelli solari fotovoltaici che erano stati installati nel 2002. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2002. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2002.

CONTESTO E CARATTERISTICHE DELL'ENERGIA
 Il complesso scolastico si trova alla periferia della cittadina Eggenstaden, nel nord della Germania. L'edificio è stato progettato nel 1961 e ha subito un intervento di ristrutturazione nel 2005. L'edificio è stato progettato da Peter Zumthor e ha una superficie di 4150 mq. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2005. L'edificio è stato progettato con un sistema di distribuzione dell'energia che è stato migliorato nel 2005.

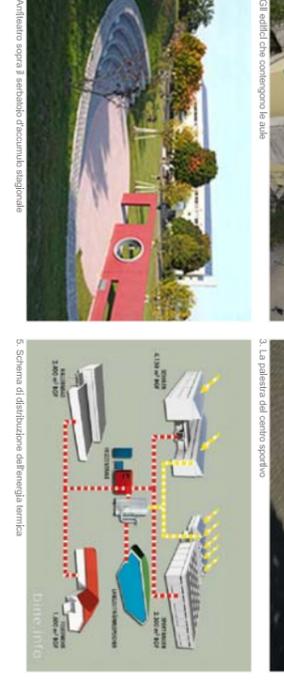


ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE

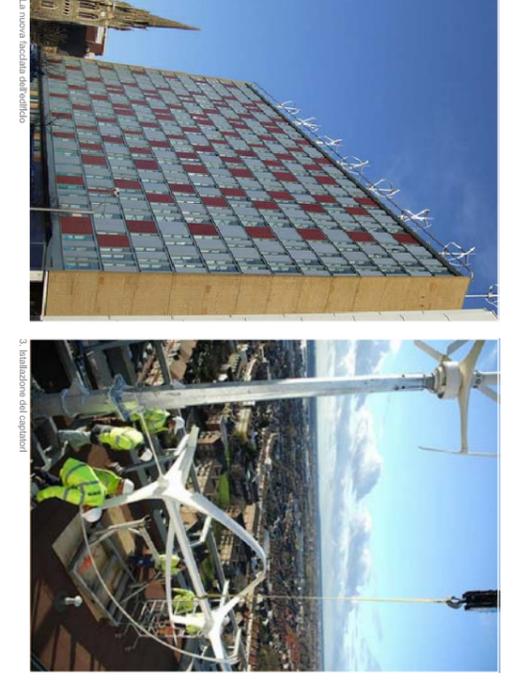
ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE
 Il progetto è stato realizzato in una importante campagna di sensibilizzazione del governo tedesco per gli edifici a basso consumo energetico. Il progetto è stato realizzato in una importante campagna di sensibilizzazione del governo tedesco per gli edifici a basso consumo energetico. Il progetto è stato realizzato in una importante campagna di sensibilizzazione del governo tedesco per gli edifici a basso consumo energetico.



DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO
 Il progetto ha investito l'edificio in ogni suo aspetto e stato migliorato il sistema di distribuzione dell'energia. Il progetto ha investito l'edificio in ogni suo aspetto e stato migliorato il sistema di distribuzione dell'energia. Il progetto ha investito l'edificio in ogni suo aspetto e stato migliorato il sistema di distribuzione dell'energia.



DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO
 Il progetto ha investito l'edificio in ogni suo aspetto e stato migliorato il sistema di distribuzione dell'energia. Il progetto ha investito l'edificio in ogni suo aspetto e stato migliorato il sistema di distribuzione dell'energia. Il progetto ha investito l'edificio in ogni suo aspetto e stato migliorato il sistema di distribuzione dell'energia.



ANALISI CRITICA DELLA REALIZZAZIONE
 Il progetto è stato realizzato in una importante campagna di sensibilizzazione del governo tedesco per gli edifici a basso consumo energetico. Il progetto è stato realizzato in una importante campagna di sensibilizzazione del governo tedesco per gli edifici a basso consumo energetico.