



**ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E L'AMBIENTE**

DIVISIONE PROM

PROGETTO PEAT

***CONVENZIONE ENEA - REGIONE CAMPANIA
PER L'ATTIVITA' DI SUPPORTO ALLA REDAZIONE DEL***

***PIANO ENERGETICO DELLA
REGIONE CAMPANIA***

RAPPORTO RELATIVO AL:

- ***PUNTO 6 (VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DELL'ENERGIA SOLARE)***

DEL PROGRAMMA DI ATTIVITA'

marzo 2001

**CONVENZIONE TRA REGIONE CAMPANIA ED ENEA PER
L'ATTIVITA' DI SUPPORTO ALLA REDAZIONE DEL PIANO
ENERGETICO REGIONALE**

**L'ATTIVITA' È STATA REALIZZATA DAL PROGETTO PEAT (PIANIFICAZIONE
ENERGETICO – AMBIENTALE TERRITORIALE) DELLA DIVISIONE PROM**

RESPONSABILE DELL'ATTIVITÀ: DOTT. EMIDIO D'ANGELO

RESPONSABILE TECNICO – SCIENTIFICO: DOTT. GIOVANNI LAI

Indice

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DELL'ENERGIA SOLARE DELLA REGIONE CAMPANIA

. PREMESSA.....	4
1. DESCRIZIONE DELLA RISORSA.....	4
1.1 Fenomenologia.....	4
1.2 Quantificazione della risorsa.....	5
2. TECNOLOGIE DI IMPIEGO DELL'ENERGIA SOLARE.....	7
2.1 Captatori solari a bassa temperatura.....	7
2.1.1 <i>Descrizione</i>	7
2.1.2 <i>Prestazioni</i>	8
2.1.3 <i>Limitazioni termofisiche</i>	9
2.1.4 <i>Altre limitazioni</i>	10
2.1.5 <i>Impatto ambientale</i>	10
2.2 Celle fotovoltaiche per la conversione diretta.....	10
2.2.1 <i>Descrizione</i>	10
2.2.2 <i>Prestazioni</i>	11
2.2.3 <i>Limitazioni</i>	12
2.2.4 <i>Impatto ambientale</i>	12
3. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DELL'ENERGIA SOLARE DELLA REGIONE CAMPANIA.....	13
3.1 Solare termico.....	13
3.2 Solare fotovoltaico.....	18
4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	21
. BIBLIOGRAFIA.....	23

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DELL'ENERGIA SOLARE DELLA REGIONE CAMPANIA

. Premessa

Nell'ambito delle attività per la predisposizione del Piano Energetico della Regione Campania, l'ENEA ha avuto, tra gli altri, il compito di effettuare una valutazione del potenziale regionale dell'energia solare utilizzabile per gli usi termici a bassa temperatura e per la conversione diretta in energia elettrica. Nel presente lavoro, dopo una sintetica descrizione e quantificazione della risorsa "energia solare" (Cap. 1) e delle relative tecnologie di conversione energetica (Cap. 2), viene effettuata (Cap. 3), dopo una preliminare valutazione delle caratteristiche climatiche della Regione ai fini dello sfruttamento della risorsa, una dettagliata analisi tecnico – economica di primo livello sull'utilizzo dell'energia solare per usi termici, in particolare per la produzione dell'acqua calda sanitaria nel settore residenziale e turistico della Regione, e per la conversione diretta dell'energia solare in energia elettrica, nelle applicazioni diffuse in edilizia con moduli di piccola potenza collegati alla rete elettrica e negli impianti di potenza significativa (*campi fotovoltaici*). Per tutte queste applicazioni viene stimata a livello regionale l'energia producibile utilizzando la risorsa "energia solare" e la conseguente energia primaria risparmiata, unitamente alla produzione evitata di anidride carbonica ed agli investimenti necessari per la realizzazione degli interventi. Il Cap. 4 riporta, infine, la sintesi dei risultati.

Cap. 1 - Descrizione della risorsa

1.1 Fenomenologia

L'energia radiativa emessa dal sole si propaga nello spazio senza interferenze fino al raggiungimento dei pianeti. In prossimità del pianeta Terra, la presenza dell'atmosfera comincia a determinare una interferenza alla propagazione dell'energia raggiante, con il risultato di un suo parziale assorbimento ed una parziale diffusione per riflessione. Poiché l'aria atmosferica è trasparente alla radiazione, salvo questa modesta interferenza descritta, la maggior parte dell'energia che arriva al limite dell'atmosfera raggiunge il suolo terrestre. Questa energia non solo è minore quantitativamente ma anche qualitativamente dell'energia extraterrestre, in quanto alcune lunghezze d'onda subiscono un maggiore assorbimento nell'attraversamento dell'atmosfera.

Il 48% della potenza irradiata ricade nella banda del visibile (lunghezze d'onda tra 0,38 e 0,78 μm , che danno all'occhio umano la sensazione della luce di diverso colore); il 45,6% nella banda dell'infrarosso (lunghezze d'onda maggiori di 0,78 μm) e solo una piccola parte nella banda dell'ultravioletto (lunghezze d'onda minori di 0,38 μm).

In termini quantitativi la "sorgente" energetica sole potrebbe soddisfare da sola tutta la nostra richiesta di energia necessaria per le esigenze di comfort e sviluppo. Essa presenta inoltre il grande vantaggio di essere pulita (non inquinante), disponibile gratuitamente in quantità praticamente illimitata nel tempo, e distribuita uniformemente sul territorio in quantità anche considerevole in valore assoluto.

Esistono però alcuni fattori che riducono la potenzialità di tale fonte. Essa non è direttamente controllabile dall'uomo, ha un carattere periodico (si pensi alla variabilità stagionale e giornaliera), dipende dalle condizioni meteorologiche e dalla posizione della specifica località; si presenta con una bassa densità energetica. Questi svantaggi possono essere superati solo sviluppando al meglio idonei sistemi di captazione, concentrazione ed accumulo.

La captazione consiste nell'esporre alla radiazione solare una piastra di materiale assorbente che converta la radiazione in calore o direttamente in elettricità; la conversione è limitata in temperatura o in tensione dall'essere il flusso della radiazione incidente, detto **irradianza**, non superiore a 1 kW/m^2 . Per aumentare tale flusso ed ottenere una conversione con produzione di calore a maggior temperatura o elettricità a maggior intensità, la radiazione può

essere concentrata con mezzi ottici, cioè per riflessione di superfici che la ricevano e la riflettano focalizzandola in un'area minore. Il rapporto di concentrazione è pressappoco il rapporto tra l'area di riflessione e l'area di focalizzazione dell'energia riflessa, al netto delle perdite che si hanno nella riflessione. L'accumulo del calore convertito consiste nel disporre di masse opportune che vengano riscaldate e possano mantenere l'energia termica alla temperatura del conferimento per un periodo sufficientemente lungo prima di cederla ad un utilizzatore.

1.2 Quantificazione della risorsa

Si può quantificare l'energia solare disponibile al suolo partendo dal valore che essa ha al limite dell'atmosfera e riducendolo opportunamente per ottenere il valore che raggiunge il suolo terrestre.

Si definisce **irradianza normale extratmosferica**, I_0 , l'energia solare incidente nell'unità di tempo su una superficie di area unitaria disposta normalmente ai raggi solari ed al limite dell'atmosfera terrestre (W/m^2). Essa dipende dall'energia emessa dal sole e dalla distanza tra il Sole (sorgente) e la Terra (ricevitore). Pur ritenendo costante in prima approssimazione l'energia emessa dal sole, l'eccentricità dell'orbita della terra intorno al sole determina una distanza mutua che varia durante l'anno (1,7%). E' comunque possibile attribuire a I_0 un valore medio durante l'anno, che si può assumere pari a $1.367 W/m^2$.

L'**irradianza globale** istantanea incidente su una superficie comunque orientata e inclinata (I), espressa in W/m^2 , è somma della **componente diretta** (I_d), della componente diffusa (I_f) e della componente riflessa dal terreno e da altre superfici (I_r). I valori di irradianza su superfici orizzontali o verticali orientate nelle varie direzioni sono desumibili dai dati climatici della località.

Per i calcoli di programmazione energetica sono sufficienti i valori di irradianza globale su superfici orizzontali e su superfici verticali orientate a Sud, laddove per i calcoli impiantistici particolari sono necessari i dati per tutte le esposizioni.

In alternativa all'irradianza, che è una potenza per unità di superficie, ci si può riferire **all'irradiazione**, energia per unità di superficie, misurabile in MJ/m^2 ovvero kWh/m^2 .

Per il territorio italiano, per un'immediata valutazione della disponibilità teorica della risorsa solare in termini di potenza o di energia per unità di superficie si può ricorrere alle seguenti formulazioni approssimate.

Si ricorda che le valutazioni di programmazione territoriale ammettono, per loro natura, approssimazioni maggiori di quelle richieste dalla progettazione ingegneristica di singoli sistemi.

a) *Irradianza globale alle ore 12 del solstizio di estate (valore massimo) su superficie orizzontale:*

$$I_{OR} = I_0 \cdot 0,81 \cos(L-23) \cos(L-23) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1.1)$$

dove L è la latitudine del luogo in gradi; 23 è la latitudine del Tropico settentrionale approssimata al grado; 0,81 un coefficiente adimensionale che tiene conto sia della trasparenza che della riflessione-diffusione atmosferica in condizioni di sereno.

b) *Irradianza globale alle ore 12 del solstizio di estate su superficie verticale esposta a sud:*

$$I_{VS} = I_0 \cdot 0,81 \cos(L-23) \cos[90-(L-23)] + 30\% \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1.2)$$

L'incremento percentuale tiene conto della riflessione media di radiazione dal suolo circostante.

c) *Irradianza globale alle ore 12 del solstizio di estate su superficie esposta a sud ma inclinata di α sull'orizzontale:*

$$I_{\alpha S} = I_0 \cdot 0,81 \cos(L-23) \cos[\alpha-(L-23)] + 30\% \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1.3)$$

d) *Irradianza globale alle ore 12 del solstizio di estate su superficie esposta a sud ma inclinata di L sull'orizzontale:*

$$I_{LS} = I_0 \cdot 0,81 \cos(L-23) \cos 23 + 15\% \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1.4)$$

e) *Irradiazione annuale globale su superficie orizzontale:*

$$E_{OR} = 1.900 I_{OR} \text{ (kWh/m}^2\text{anno)} \quad (1.5)$$

f) Irradiazione globale su superficie esposta a sud inclinata di L sull'orizzontale:

$$E_{LS} = 2.000 I_{LS} \text{ (kWh/m}^2\text{anno)} \quad (1.6)$$

Nelle due ultime formule I_{OR} e I_{LS} devono essere misurati in kW/m^2 ; i coefficienti 1.900 e 2.000 rappresentano ore di insolazione equivalente.

Cap. 2 Tecnologie di impiego dell'energia solare

2.1 Captatori solari a bassa temperatura

2.1.1 Descrizione

I captatori solari a bassa temperatura sono l'elemento principale di tutti gli impianti che utilizzano l'energia solare per la conversione in energia termica. La loro finalità è raccogliere l'energia raggiante del sole e trasferirla ad un fluido utilizzato per il riscaldamento e la climatizzazione di abitazioni e/o per il riscaldamento di acqua per uso domestico, sanitario, sportivo od industriale. La radiazione solare su di essi incidente è dell'ordine di 1 kW m^{-2} e le temperature raggiungibili dal fluido non superano mai i 100°C .

Il più noto captatore solare a bassa temperatura è il pannello solare o collettore solare. Esso è generalmente costituito da una piastra canalizzata, generalmente di rame o di alluminio, in cui una faccia è annerita ed esposta alla radiazione solare. L'altra faccia è isolata posteriormente dall'ambiente mediante uno strato di isolante (lana di vetro o poliuretano espanso). Anteriormente il pannello è ricoperto da una o più coperture trasparenti che hanno lo scopo di limitare le perdite termiche per convezione e irradiazione dalla faccia superiore della piastra. Tali coperture devono essere trasparenti alla radiazione solare mentre devono risultare opache per la radiazione infrarossa emessa dalla piastra che si riscalda. Il vetro è il materiale che offre queste garanzie.

Esposto alla radiazione solare il pannello si riscalda e cede energia termica al fluido termovettore che circola nella piastra. Energia termica viene poi scambiata dal fluido termovettore con il liquido del circuito utilizzatore (ad esempio acqua di un impianto di riscaldamento). Considerata la variabilità giornaliera della fonte energetica primaria sole, ad ogni sistema a pannelli solari può essere accoppiato un accumulatore di calore (ad esempio un contenitore coibentato) che ha lo scopo di accumulare energia termica quando ne viene convertita di più di quanta ne venga utilizzata, e rendere tale energia termica disponibile quando l'irradiazione solare è insufficiente o assente.

Una seconda applicazione termica a bassa temperatura dell'energia è costituita dall'architettura passiva, cioè dalla possibilità di progettare edifici in modo da rendere massimo l'apporto dell'energia solare per la loro climatizzazione. Tra i sistemi e captatori solari passivi distinguiamo le finestre (sistemi a guadagno diretto), le pareti ad accumulo, i camini solari.

Ampie superfici di vetrate esposte a sud consentono elevati valori di guadagno di energia solare per il riscaldamento invernale e la struttura dell'ambiente funge in tal caso da accumulatore. Le stesse vetrate devono essere protette dalla radiazione solare durante l'estate al fine di evitare surriscaldamenti dell'ambiente. Ciò può essere ottenuto con aggetti orizzontali o schermi (tapparelle, ecc.).

Le pareti ad accumulo sono pareti esposte a sud, la cui faccia esterna è annerita, in modo da aumentare l'assorbimento della radiazione solare, e protetta da una o più superfici trasparenti alla radiazione solare. Le pareti presentano una elevata capacità termica, fungono da accumulatore e trasferiscono energia termica all'ambiente interno. Con aperture poste in alto ed in basso della parete, è possibile anche far circolare aria dall'ambiente tra l'accumulatore e la superficie trasparente, riscaldarla e contribuire al riscaldamento. Per ridurre le perdite della parete-accumulatore, durante la notte è necessario aumentare l'isolamento termico verso l'esterno.

Nel camino solare il sistema di captazione è sprovvisto di inerzia termica ed è separato dal sistema di accumulo. L'aria circola tra una parete isolata e la superficie trasparente esterna e si riscalda. L'accumulo termico avviene nel soffitto e nelle altre pareti dell'ambiente.

Un collettore solare ideale è quello che riesce a captare tutta l'energia solare su di esso incidente ed a trasferirla al fluido termovettore. Nella realtà solo una parte dell'energia incidente (diretta, diffusa e riflessa) riesce ad essere trasferita. Se indichiamo con Q_u l'energia per unità di tempo utile ceduta al fluido (W), possiamo definire un rendimento di prestazione del collettore come rapporto fra l'energia utile raccolta in un certo periodo di tempo e l'energia solare incidente nello stesso periodo.

L'energia per unità di tempo Q_u (W) è:

$$Q_u = Q_a - Q_p \quad (2.1)$$

dove Q_a è l'energia per unità di tempo assorbita dal collettore (W) e Q_p è quella persa, per convezione, conduzione ed irraggiamento verso l'ambiente esterno (W).

La quantità di energia assorbita da un collettore solare dipende dalle caratteristiche ottiche dei materiali che lo compongono, in particolare dal coefficiente di trasmissione della radiazione solare (τ) della copertura del collettore, e dal coefficiente di assorbimento della radiazione solare (α) della piastra; e pertanto dal loro prodotto valutato per incidenza normale $(\tau\alpha)_n$. Per una copertura con lastra di vetro di 4 mm e per una piastra assorbente nera, $(\tau\alpha)_n$ assume il valore di 0,80.

Il coefficiente di trasmissione τ di una copertura diminuisce rapidamente all'aumentare dell'angolo di incidenza della radiazione solare e del numero di coperture. Anche il coefficiente di assorbimento diminuisce all'aumentare dell'angolo di incidenza. Rispetto ad un'incidenza normale tale riduzione è trascurabile fino ad angoli di incidenza di circa 40° .

L'energia perduta dipende dalla temperatura della piastra, dalle proprietà radiative della piastra e della copertura trasparente, dalle condizioni ambientali (temperatura dell'ambiente e temperatura equivalente della volta celeste, velocità del vento). La temperatura della piastra dipende a sua volta dalla temperatura di ingresso del fluido termovettore nel collettore e dalla quantità di fluido termovettore che circola (portata del fluido espressa in kg/s).

L'energia per unità di tempo dispersa dal collettore solare è valutabile con la relazione:

$$Q_p = U_c A_c (T_p - T_a) \quad (2.2)$$

dove U_c è il coefficiente di scambio termico globale tra la piastra e l'aria o coefficiente di perdita ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$), T_p è la temperatura media della piastra ($^\circ C$), T_a è la temperatura dell'aria ambiente ($^\circ C$) ed A_c l'area della superficie captante (m^2).

2.1.2 Prestazioni

L'efficienza istantanea del captatore può essere espressa da:

$$\varepsilon = F_R(\tau\alpha)n - [F_R U_c (T_{ff} - T_a)] / I \quad (2.3)$$

in cui T_{ff} è la temperatura del fluido termovettore all'ingresso nel collettore, $F_R(\tau\alpha)n$ (adimensionale) e $F_R U_c$ ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) sono dei parametri, di captazione e di perdita rispettivamente, di seguito esposti.

Per i collettori con fluido vettore *liquido* vengono forniti i seguenti valori indicativi:

	$F_R (\tau\alpha)_n$	$F_R U_c (W/m^2 \text{ } ^\circ C)$
<i>piastra non selettiva, 1 vetro</i>	0.85	7.5
<i>piastra selettiva, 1 vetro</i>	0.85	4.5
<i>piastra non selettiva, 2 vetri</i>	0.75	5.0
<i>piastra selettiva, 2 vetri</i>	0.75	3.5

Per i collettori con fluido vettore *aria* vengono forniti i seguenti valori indicativi:

	$F_R (\tau\alpha)_n$	$F_R U_c (W/m^2 \text{ } ^\circ C)$
<i>piastra non selettiva, 1 vetro</i>	0.60	5.0
<i>piastra selettiva, 1 vetro</i>	0.60	3.0
<i>piastra non selettiva, 2 vetri</i>	0.50	3.5
<i>piastra selettiva, 2 vetri</i>	0.50	2.5

Dalla conoscenza del rendimento istantaneo ε è possibile valutare la potenza termica istantanea captata Q_{capt} (W) da un collettore di area A_c (m^2) su cui incida la irradianza I (W/m^2):

$$Q_{\text{capt}} = A_c \varepsilon I \quad (\text{W}) \quad (2.4).$$

2.1.3 Limitazioni termofisiche

Quando l'irradiazione è inferiore ad un determinato limite, il rendimento può assumere valori negativi. In effetti il collettore fornisce energia utile solo quando I è maggiore di un valore critico, il quale è tanto maggiore quanto maggiore è la differenza ($T_{ff} - T_a$). Questo fatto determina delle limitazioni di uso dei captatori piani.

Essi possono essere usati con maggiore efficienza nelle applicazioni a bassa temperatura T_{ff} anche in presenza di una bassa T_a , ad esempio in inverno.

Nella programmazione territoriale, salvo progetti specifici, è opportuno limitarsi ai seguenti usi (con T_{fu} si intende la temperatura di uscita del fluido termovettore dal captatore solare, necessaria al trasferimento di calore nella particolare applicazione):

- riscaldamento di piscine ($T_{fi} = 25^{\circ}\text{C}$; $T_{fu} = 30^{\circ}\text{C}$);
- produzione di acqua calda sanitaria ($T_{fi} = 30^{\circ}\text{C}$; $T_{fu} = 45^{\circ}\text{C}$);
- riscaldamento ambientale mediante ventilconvettori ($T_{fi} = 40^{\circ}\text{C}$; $T_{fu} = 50^{\circ}\text{C}$);
- altre preparazioni tecnologiche (ad esempio nell'industria alimentare) ($T_{fi} \leq 40^{\circ}\text{C}$; $T_{fu} \leq 50^{\circ}\text{C}$);
- preriscaldamenti vari ($T_{fi} \leq 40^{\circ}\text{C}$; $T_{fu} \leq 50^{\circ}\text{C}$).

Introduciamo allora l'**utilizzabilità dell'energia** ϕ come frazione di energia solare utilmente captata, rispetto a quella ricevuta con intensità superiore ad un livello critico, per il quale ε sia positivo.

Definendo un valore di ϕ medio annuale, ϕ_a , esso rappresenta il rendimento medio di captazione positiva; moltiplicando ϕ_a per l'irradiazione annuale ricevuta da una superficie al suolo terrestre, si ottiene l'energia annuale utile trasferibile all'utilizzatore.

In prima approssimazione, valida per gli scopi della pianificazione territoriale nel territorio italiano, ma non per il calcolo impiantistico:

$$\phi_a = 0,60 \quad \text{per } T_{fi} = 25^{\circ}\text{C}; T_{fu} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\phi_a = 0,45 \quad \text{per } T_{fi} = 30^{\circ}\text{C}; T_{fu} = 45^{\circ}\text{C}$$

$$\phi_a = 0,35 \quad \text{per } T_{fi} = 40^{\circ}\text{C}; T_{fu} = 50^{\circ}\text{C}$$

nel caso di captatore orizzontale od esposto a sud con inclinazione sull'orizzontale pari a $L \pm 10\%$ (L è la latitudine del luogo).

2.1.4 Altre limitazioni

La principale limitazione non termodinamica sta nel fatto che le superfici al suolo terrestre, dove possono essere sistemati i captatori (la superficie del suolo o delle coperture o delle facciate degli edifici) ancorché libere da altri usi o funzioni, non sono completamente ricopribili di captatori. Infatti, a meno di non distendere i captatori su tali superfici, essi devono essere installati in modo da non proiettare ombra su quelli contigui.

Nel caso di captatore installato al suolo o su copertura orizzontale ed esposto a sud con inclinazione sull'orizzontale pari a $L \pm 10\%$, la ricopribilità, definita come rapporto tra la superficie captante e quella area su cui è sistemata al fine di non ombreggiare i captatori contigui, risulta mediamente di 0,60 per le latitudini italiane.

2.1.5 Impatto ambientale

L'unico impatto ambientale può essere quello visivo; nelle norme comunali di attuazione del piano energetico o nei piani paesaggistici possono essere indicate le modalità di installazione che minimizzino tale impatto e impongano limitazioni dimensionali (soprattutto in altezza).

Può essere favorito allo scopo l'inserimento dei captatori negli elementi di copertura o di facciata, anche allo scopo di ridurre i costi delle medesime, nel caso di nuove costruzioni. Si tenga presente che tale installazione presenta difficoltà per assicurare la tenuta all'aria e all'acqua delle coperture e facciate e che quindi la piastra captante deve essere trattata con la tecnologia dell'inserimento nei telai delle facciate continue o degli infissi.

2.2 Celle fotovoltaiche per la conversione diretta

2.2.1 Descrizione

Con questa tecnologia si sfrutta la proprietà di alcuni materiali, tra i quali il silicio, di generare energia elettrica quando vengono colpiti dalla radiazione solare. Rappresenta pertanto una tecnologia che permette di ottenere dal sole direttamente energia elettrica.

Un impianto fotovoltaico è costituito da celle fotovoltaiche, componenti semiconduttori che realizzano la conversione diretta di energia solare in energia elettrica, inserite in moduli, connesse elettricamente tra loro e racchiuse in un involucro sigillato. Più moduli sono inseriti in un pannello e sono esposti alla radiazione solare. Altri componenti dell'impianto sono un sistema di accumulo, costituito da batterie di accumulatori, con il compito di volano tra l'energia generata dal campo e quella richiesta dal carico, ed un inverter che trasforma la corrente continua generata dall'impianto in corrente alternata.

Le celle fotovoltaiche sono in genere costituite da uno dei seguenti materiali: silicio, fosforo di indio, arseniuro di gallio, tellurio di cadmio, fosforo di gallio, solfuro di cadmio. Quello più utilizzato è però il silicio che ha anche il valore di efficienza teorico della conversione

più alto (24%). Prove eseguite in laboratorio hanno dimostrato che difficilmente il valore dell'efficienza di conversione supera il 18%. In ogni caso i materiali impiegati devono essere molto puri.

2.2.2 Prestazioni

Le prestazioni della singola cella sono valutate in termini di rendimento ε_{cel} definito come:

$$\varepsilon_{\text{cel}} = P_{\text{cel}} / [A_{\text{cel}} I] \quad (2.5)$$

dove P_{cel} è la potenza elettrica (W) fornita dalla cella e A_{cel} l'area della cella (m^2) esposta alla radiazione solare di irradianza I .

Il rendimento di un modulo costituito da n celle e di area totale A è:

$$\varepsilon_{\text{mod}} = P_{\text{cel}} n / [A_{\text{mod}} I] = FR \varepsilon_{\text{cel}} \quad (2.6)$$

con FR fattore di riempimento del modulo pari a:

$$FR = n (A_{\text{cel}} / A_{\text{mod}}) \quad (2.7)$$

Le prestazioni globali di un impianto fotovoltaico possono essere condotte con metodi basati sull'utilizzabilità della radiazione solare. Il metodo proposto si basa sull'ipotesi di carico elettrico costante.

L'energia elettrica del giorno medio del mese, E_e (kWh), fornita da un campo fotovoltaico in cui $A = \Sigma A_{\text{mod}}$ e l'irradiazione media giornaliera del mese sia E_s (kWh/m^2), è pari a:

$$E_e = A \varepsilon_{\text{mod}} E_s \quad (2.8)$$

dove ε_{mod} è il rendimento medio annuale del modulo (si applica con sufficiente approssimazione anche al mese) che può essere assunto, per le tecnologie commercialmente disponibili:

silicio monocristallino $\varepsilon_{\text{cel}} = 0,13$; $\varepsilon_{\text{mod}} = 0,12$ (per celle quadrate)

silicio policristallino	$\varepsilon_{\text{cel}} = 0,11$; $\varepsilon_{\text{mod}} = 0,10$ (per celle quadrate)
silicio amorfo	$\varepsilon_{\text{cel}} = 0,07$; $\varepsilon_{\text{mod}} = 0,07$.

Moltiplicando il valore E_e per i giorni del mese si ottiene l'energia elettrica media del mese.

Analogamente si può estendere la procedura al calcolo annuale, per cui:

$$E_e = A \varepsilon_{\text{mod}} E_s \quad (2.9).$$

In questo caso E_e e E_s sono rispettivamente l'energia elettrica annualmente convertita e l'energia solare annualmente captata (kWh).

2.2.3 Limitazioni

Al contrario dei captatori termici, le celle fotovoltaiche non presentano limitazioni termofisiche; quando arriva radiazione esse la convertono in elettricità senza necessità di superamento di valori di soglia o critici.

Sussistono però le medesime limitazioni di ricopribilità nella stessa misura del 60% delle coperture piane per moduli inclinati di $L \pm 10\%$ sull'orizzontale.

2.2.4 Impatto ambientale

Si possono fare le stesse considerazioni già svolte per i captatori termici. Poiché l'energia da trasportare è quella elettrica, non già quella interna termica di un fluido, le connessioni all'utilizzazione sono più semplici: ciò determina una maggiore flessibilità di adattamento spaziale dei moduli fotovoltaici, che possono assumere configurazioni anche di interesse architettonico e funzionale, come coperture di parcheggi, di aree di servizio ecc.

Cap. 3 - Valutazione del potenziale dell'energia solare della Regione Campania

3.1 Solare termico

L'energia solare, contrariamente ad altre fonti rinnovabili, si caratterizza per una diffusione piuttosto omogenea in ambiti territoriali di grandi dimensioni come ad esempio quello regionale. L'energia solare presenta, infatti, una variabilità molto modesta in funzione della latitudine, fatta eccezione per particolari situazioni microclimatiche locali, relative, ad esempio, ad una orografia sfavorevole che provochi ombreggiamenti per periodi prolungati di tempo durante la giornata o consenta la formazione diurna di nuvole.

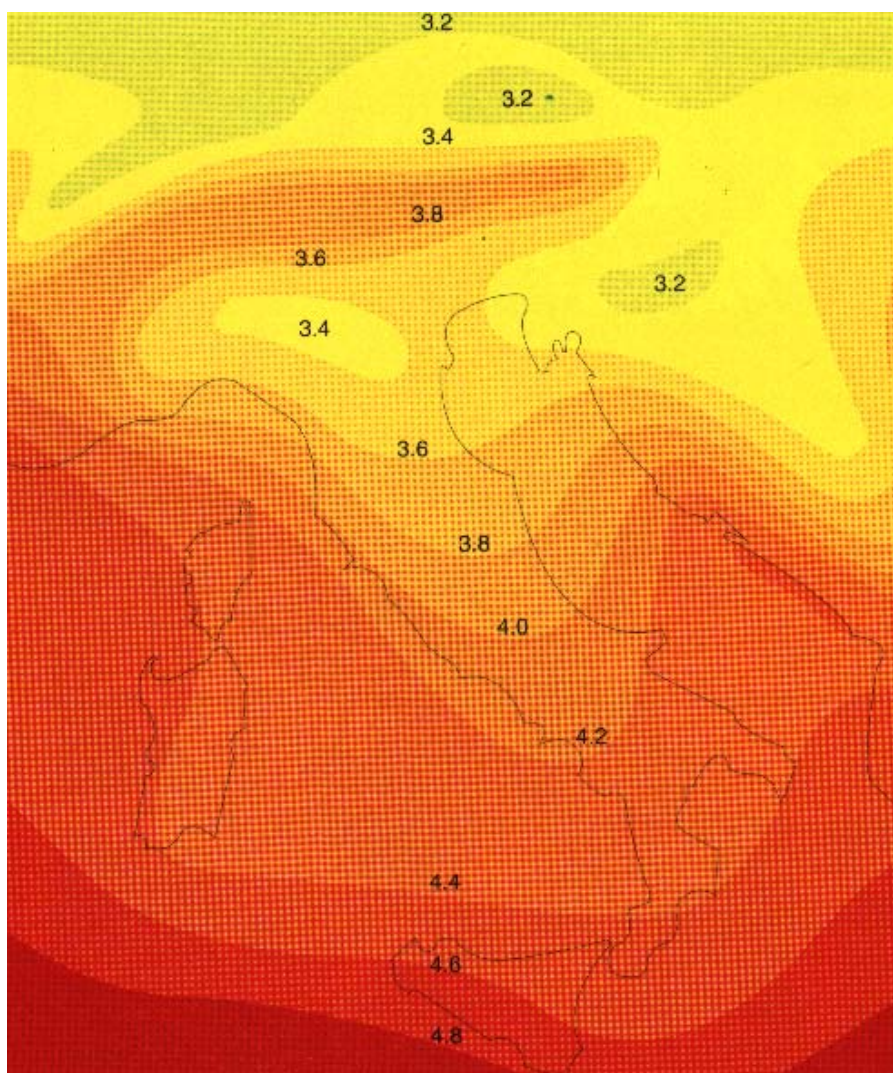


Fig. 1 – Carta solare italiana (kWh/m² giorno)

A conferma di ciò, si può rilevare dalla carta solare di Fig. 1 come nella Regione Campania il valore medio annuale della irradiazione globale solare incidente sul piano orizzontale sia compreso sostanzialmente tra 4.0 e 4.2 kWh/m² giorno, corrispondenti a 1.460 – 1.533 kWh/m² anno, con una variazione massima tra le varie zone della Regione del 5%.

I valori assoluti della irradiazione solare registrati in Campania sono quelli tipici del clima mediterraneo soleggiato, che privilegia principalmente le zone costiere le quali, per il benefico effetto termico del mare, godono di una minore copertura durante l'inverno e nelle stagioni intermedie, ed in estate sono meno soggette a formazioni nuvolose. Queste ultime tendono per lo più a concentrarsi sui rilievi, soprattutto in estate, per la condensa pomeridiana delle brezze del mare o delle vallate. La riduzione dell'irradiazione solare dovuta alle nuvole ed al cielo coperto in prossimità dei rilievi è stimata dell'ordine del 10%.

L'analisi della distribuzione dei 511 comuni della Regione Campania per zone climatiche (v. Tab. 1) mostra, infatti, che l'87% dei comuni è compreso all'interno delle zone "C" e "D", con un numero di gradi giorno (Gg) inferiore, quindi, a 2100, mentre solo il Comune di Treviso (AV), con 3445 Gg, ricade nella zona "F".

	Zona climatica					
	A Gg ≤ 600	B 600 < Gg ≤ 900	C 900 < Gg ≤ 1400	D 1400 < Gg ≤ 2100	E 2100 < Gg ≤ 3000	F Gg > 3000
Caserta	-	-	72	27	5	-
Benevento	-	-	11	54	13	-
Napoli	-	-	87	5	-	-
Avellino	-	-	7	63	48	1
Salerno	-	-	48	105	5	-
TOTALE	-	-	225	254	71	1

Tab. 1 – Distribuzione dei comuni della Regione Campania per zone climatiche

La relativa mitezza del clima della Regione comporta che la domanda di calore per riscaldamento ambienti e per la produzione di acqua calda sanitaria del settore residenziale sia significativamente inferiore rispetto alla media italiana, come si evince dalla Tab. 2 che mostra il confronto dei consumi unitari regionali e nazionali di questo settore.

Tab. 2 – Consumi unitari del settore residenziale (Campania, Italia)

	Consumo energetico per riscaldamento per abitazione (tep/abitazione)		Consumo energetico per riscaldamento per mq (kep/mq)		Consumo energetico per abitazione per cucina (tep/abitazione)		Consumi elettrici per abitazione usi elettrici specifici (KWh/abitazione)		Consumi energetico per acqua calda (tep/abitazione)	
	Campania	Italia	Campania	Italia	Campania	Italia	Campania	Italia	Campania	Italia
1988	0,44	0,96	5,05	10,5	0,031	0,095	0,188	0,164	0,077	0,14
1989	0,46	0,95	5,20	10,3	0,034	0,095	0,196	0,170	0,081	0,15
1990	0,46	0,95	5,15	10,2	0,036	0,095	0,198	0,176	0,086	0,15
1991	0,54	1,07	6,04	11,4	0,036	0,094	0,210	0,182	0,085	0,16
1992	0,56	0,96	6,24	10,1	0,037	0,093	0,210	0,187	0,088	0,15
1993	0,50	0,95	5,47	10,0	0,036	0,091	0,211	0,190	0,087	0,15
1994	0,40	0,82	4,40	8,5	0,031	0,090	0,208	0,192	0,083	0,14
1995	0,46	0,92	5,00	9,6	0,032	0,089	0,206	0,193	0,086	0,15
1996	0,46	0,93	4,97	9,7	0,033	0,089	0,205	0,194	0,085	0,16

Le condizioni climatiche della Regione Campania favoriscono, perciò, in quasi tutte le località, l'installazione di impianti solari per uso termico, in particolare nel settore residenziale e nel settore turistico. In linea di principio in questi settori è possibile prevedere l'utilizzo di impianti solari per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento ambienti. In realtà, mentre la domanda di calore per la produzione di acqua calda sanitaria è pressoché costante durante tutto l'anno, e quindi anche in estate, l'energia solare disponibile durante la stagione invernale è molto minore che in estate ed, inoltre, la temperatura in uscita del fluido termovettore dal captatore solare per il riscaldamento ambienti deve essere più elevata di quella necessaria per la produzione di acqua calda. Risulta quindi evidente che l'utilizzo più idoneo di impianti ad energia solare per usi termici è quello per la produzione di acqua calda sanitaria, in quanto vi è quasi sempre contemporaneità tra domanda ed offerta, anche se in particolare durante i mesi invernali è preferibile prevedere l'integrazione con un sistema tradizionale di produzione. Per questa applicazione, in condizioni meteorologiche simili a quelle italiane, l'area di collettore necessaria varia da 0,6 – 0,65 m² a persona per i climi caldi meridionali ed 1- 1,2 m² per l'Italia settentrionale (valori calcolati sulla base di un consumo giornaliero stimato di 60 - 70 litri d'acqua calda a 45° per persona).

Gli impianti attuali, con pochi e semplici accorgimenti, possono superare i 15 anni di vita utile. Nell'arco dell'anno, con un impianto solare ben dimensionato, si può risparmiare tra il 50 ed il 70% ed oltre del costo dell'energia necessaria alla produzione di acqua calda sanitaria.

L'energia risparmiata in un anno varia, come è ovvio, in funzione della tipologia dell'impianto tradizionale utilizzato. Nell'Italia meridionale, dove la copertura massima del fabbisogno di acqua calda con impianti ad energia solare è ritenuta possibile fino da un massimo del 75% circa, l'energia risparmiata in un anno per metro quadrato di collettore è di circa 950 kWh (670 kWh a persona) rispetto alla produzione di acqua calda con lo scaldabagno elettrico, di 120 m³ di metano per metro quadrato di collettore (85 m³ a persona) rispetto alla produzione tramite caldaia autonoma a gas e di 170 m³ per metro quadrato di collettore (120 m³ a persona) rispetto alla produzione tramite caldaia centralizzata a gas. Il conseguente risparmio economico risulta, rispettivamente, di 330.000 lire per metro quadrato di collettore (240.000 lire a persona), di 132.000 lire (94.000 lire a persona) e di 187.000 lire (132.000 lire a persona). Il costo medio degli impianti solari, in lenta diminuzione già da alcuni anni, è di circa 1.300.000 – 1.500.000 lire per metro quadrato installato (IVA compresa) per gli impianti unifamiliari, e di circa 700.000 – 800.000 lire per metro quadrato installato (IVA compresa), nel caso di trasformazione di impianti centralizzati. I tempi di ritorno di questi investimenti, nel caso di sostituzione dello scaldabagno elettrico, sono di 3-4 anni, considerando una famiglia meridionale di 4 – 5 persone ed un costo medio dell'energia elettrica di 350 lire/kWh. Una valutazione che tenga conto, inoltre, anche degli sgravi IRPEF del 36% attualmente in vigore, porta a stimare un tempo di ritorno di circa 2 anni.

L'utilizzazione dell'energia solare per usi termici attraverso i captatori solari a bassa temperatura ha, inoltre, raggiunto un livello di maturità più che accettabile che dovrebbe consentirne una più ampia diffusione. Questa maturità si traduce in una standardizzazione degli schemi impiantistici più adatti alle varie utenze, in particolare quelle del settore residenziale (mono e plurifamiliare), del settore alberghiero e turistico in generale (campeggi, residences, ecc.), dei centri sportivi e delle piscine. La standardizzazione degli schemi impiantistici si traduce a sua volta in una economicità delle installazioni laddove vengano riscontrati:

- a) la fattibilità tecnica (principalmente come disponibilità degli spazi necessari ad una corretta disposizione ed installazione, in primo luogo, dei captatori solari e, in secondo luogo, delle tubazioni e degli altri componenti d'impianto);
- b) la corrispondenza temporale e, ove possibile, quantitativa, tra la curva di carico della domanda e la disponibilità della risorsa solare;
- c) l'integrazione architettonica con le strutture esistenti.

La valutazione, su base regionale, del potenziale dell'energia solare per usi termici può essere effettuata, in una approssimazione valida per le finalità della pianificazione di primo livello come la presente, sulla base della stima dell'energia solare captabile ("offerta") mediante sistemi di conversione applicati su superfici considerate adatte per l'utilizzo di questa tecnologia, come i tetti, le terrazze e le facciate delle abitazioni e le superfici marginali, e della "domanda" di energia compatibile con i livelli termici consentiti da questi sistemi. Risulta, tuttavia, abbastanza intuitivo come la valutazione del potenziale dell'energia solare (almeno per la Regione Campania, ed in generale per l'Italia), contrariamente a quella delle altre fonti rinnovabili di energia, *non trova una limitazione nella disponibilità della risorsa (offerta), quanto nella domanda di energia che presenta il territorio compatibile con le tecnologie di conversione della risorsa stessa*. Questa domanda deve essere considerata nella situazione specifica, per quanto precede, essenzialmente quella per la produzione di acqua calda sanitaria nel settore residenziale e turistico. In definitiva, *il potenziale teorico massimo dell'energia solare ad uso termico della Regione verrà stimato valutando il fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria nel settore residenziale e turistico*. Questo fabbisogno può essere soddisfatto, in linea teorica, attraverso l'installazione di una idonea superficie di captatori solari sulle facciate e sui tetti e/o terrazze degli edifici.

L'energia solare effettivamente captabile per usi termici in un determinato territorio ("offerta"), può essere valutata in prima approssimazione attraverso la relazione:

$$E_{\text{com}} = A_{\text{cd}} \phi_a E_{\text{LS}} \text{ (kWh}_t\text{)} \quad (3.1)$$

dove:

- A_{cd} è l'area (m^2) disponibile sul territorio per l'installazione dei captatori solari;
- ϕ_a è il coefficiente di utilizzabilità dell'energia che assume valori compresi tra 0,60 e 0,35 in base alla temperatura di utilizzazione;
- E_{LS} è l'irradiazione globale su superficie esposta a Sud ed inclinata di L (latitudine) gradi sull'orizzontale.

Risulta quindi evidente come l'energia effettivamente utilizzabile sia in particolare funzione della superficie disponibile sul territorio per l'installazione di sistemi di captazione dell'energia solare. La valutazione di questa superficie a livello regionale, ma anche su scala molto più ridotta

come quella comunale, comporta l'effettuazione di indagini territoriali di non facile realizzazione e che comunque esulano dalle finalità di questo lavoro. Tuttavia, utilizzando i risultati di uno studio effettuato a livello comunitario da M. van Brummelen ed E.A. Alsema ("Estimation of the PV potential in OECD countries" 12th European PVSEC, Amsterdam, 1994) ed accettato dall'Unione Europea ("Photovoltaics in 2010", Luxembourg, 1996), risulta possibile stimare in prima approssimazione la superficie captante disponibile nella Regione Campania.

La stima, sufficientemente conservativa, riportata in questo studio che pesa gli spazi anche sulla base di una serie di vincoli economici, tiene conto sia dei terreni agricoli dismessi sia delle superfici di copertura delle abitazioni, uffici, industrie, utilizzabili senza ulteriori impegni territoriali. Utilizzando tali criteri è stato determinato per l'Italia un potenziale di circa 3.300 km² (di cui 542 km² di coperture di edifici, facciate, ecc.) che, rapportati alla superficie campana, corrispondono complessivamente a circa **149 km²**, di cui **24,5 km²** di coperture di edifici e facciate. *Quest'ultimo valore rappresenta, dunque, la potenziale superficie captante dell'energia solare utilizzabile per usi termici presente nella Regione Campania.*

La domanda potenziale di energia per la produzione di acqua calda può essere valutata, in prima approssimazione, attraverso la stima del consumo di energia per questo uso. Nel settore residenziale, nel 1996, il consumo di energia per la produzione di acqua calda della Regione è stato valutato in 144.155 tep, corrispondenti a 4.580 MWh/giorno. Per le condizioni climatiche della Campania, si può ritenere che, in media, la resa utile e, quindi, il risparmio di energia primaria per m² di captatore solare sia di circa 800 kWh/anno. Nell'ipotesi di soddisfare il fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria con la massima copertura consentita con impianti ad energia solare (75%), la superficie teorica necessaria risulta, pertanto, di circa **1 km²** (corrispondenti a circa **1 milione di m²** di pannelli), ossia il 4% del totale della superficie complessiva disponibile a tal fine nella Regione.

Realisticamente, tuttavia, risulta proponibile solo l'obiettivo di installare una superficie captante significativamente minore di quella teorica. Nell'ipotesi che la Regione Campania persegua a livello regionale l'obiettivo del governo italiano di installare 3 milioni di metri quadrati di captatori solari entro il 2010 (v. "Libro Bianco sulle energie rinnovabili"), il tasso di incremento specifico di nuove installazioni di captatori solari dovrebbe essere compreso tra 16 e 52 m² ogni mille abitanti per anno. Questo comporta che nella Regione dovrebbero essere installati dai 20.000 ai 125.000 metri quadrati per anno, con un superficie installata al 2010 compresa tra circa **93.000 e 302.000 metri quadrati**. Il risparmio di energia primaria al 2010 corrispondente a questo obiettivo risulta, pertanto, compreso tra circa **6.400 e 20.800 tep**. Questo risparmio corrisponde allo 0,5 – 1,8% dei consumi di energia primaria previsti al 2010 nel settore residenziale campano nello

scenario tendenziale di basso consumo, ed allo 0,5 – 1,6% nello scenario di alto consumo, e la corrispondente produzione evitata di CO₂ prevista al 2010 risulta compresa tra **17.920 e 58.240 tonnellate**, valutata con il coefficiente di 2,8 Mt di CO₂ per Mtep prodotto, utilizzato nel Libro Bianco per la produzione di energia termica da fonti rinnovabili. Gli investimenti complessivi previsti sono compresi tra **75 e 242 miliardi di lire**.

Anche il settore turistico – alberghiero si presta, come è noto, per le sue caratteristiche, ad utilizzare i captatori solari per la produzione di acqua calda sanitaria. Secondo i dati ISTAT relativi a questo settore, la Regione Campania presenta, nel 1998, la ricettività mostrata nella Tabella 3.

	Alberghi	Campeggi e Villaggi turistici	Alloggi in affitto iscritti al R.E.C.	Agriturismo	Altri esercizi	Totale
Numero	1.419	173	419	55	15	2.081
Posti letto	88.364	65.109	4.932	719	1.074	160.198

Tab. 3 – Regione Campania: distribuzione della ricettività turistica per tipologia di esercizio (1998)

Una stima del fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria in questo settore, che tiene conto degli effettivi pernottamenti in funzione della capacità ricettiva degli esercizi e dei consumi giornalieri di acqua calda tipici del settore, porta a valutare in circa 28.500 MWh/anno l'energia necessaria a tal fine, valore che rappresenta appena l'1,7% del fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda del settore residenziale campano. Tale fabbisogno potrebbe essere, in linea teorica, soddisfatto attraverso l'installazione di circa **26.700 m²** di captatori solari. Realisticamente, tuttavia, deve essere valutato che al 2010 solo una percentuale compresa tra il 20 ed il 50% della domanda di calore negli esercizi turistici potrà essere soddisfatta mediante impianti solari e che, quindi, potranno essere installati ragionevolmente dai **5.340 ai 13.350 metri quadrati** di captatori solari. Con queste ipotesi, il risparmio annuale di energia primaria in questo settore al 2010 sarà compreso tra circa **370 e 920 tep**, e la corrispondente emissione evitata di CO₂ sarà compresa tra **1.036 e 2.576 tonnellate**. Gli investimenti necessari a tal fine saranno compresi tra **4,3 e 10,7 miliardi**.

Ai fini del presente lavoro non sono stati considerati altre possibili applicazioni dell'energia solare per usi termici, quali la produzione di acqua calda sanitaria per piscine, centri sportivi e del settore terziario in generale, in quanto non sono disponibili i dati di base necessari all'analisi, ed,

inoltre, queste applicazioni devono essere considerate marginali rispetto alle precedenti e, perciò, non significative ai fini della pianificazione energetica.

3.2 Solare fotovoltaico

Il solare fotovoltaico non rappresenta ancora un'opzione commercialmente matura per la produzione di energia elettrica, in quanto il costo dei moduli e quindi degli impianti, benché in continua incoraggiante diminuzione, è ancora troppo elevato (attualmente si attesta intorno ai 15 M£/kW) e, di conseguenza, il costo dell'energia elettrica prodotta (attualmente compresa tra le 750 e le 1.100 £/kWh) non risulta competitiva con quella prodotta da fonti tradizionali e da altre fonti rinnovabili (idroelettrico ed eolico in particolare). Nonostante ciò, il mercato mondiale dei moduli fotovoltaici, pur essendo molto recente (ha assunto una dimensione visibile solo nel corso degli anni '80), nell'ultimo decennio ha registrato una continua crescita. Alla fine del 1998 la potenza totale installata nel mondo era di circa 400 MW e fino al 2010 si prevede che il tasso medio annuo di crescita si attesti intorno al 17%, anche se per le applicazioni che prevedono il collegamento alla rete si prevede una crescita del 25%. Il forte sviluppo a livello mondiale si basa su una reale domanda di mercato presente nei Paesi in via di sviluppo (PVS), in particolare per l'alimentazione elettrica delle abitazioni isolate, e nei paesi industrializzati, dove sono stati avviati programmi di incentivazione e di sostegno finanziario a favore di progetti di "tetti e facciate fotovoltaiche" da collegare alla rete. L'Unione Europea (U.E.), in particolare, si prefigge l'obiettivo di ridurre sensibilmente i costi (del 30% per le applicazioni collegate alla rete) attraverso una maggiore apertura del mercato. A questo scopo l'U.E. ha attivato una Campagna attraverso la quale prevede che si creino le condizioni per installare nei Paesi dell'Unione circa 650 MWp al 2003, e di produrre sistemi per altri 350 MWp per l'esportazione verso i PVS, mentre l'obiettivo finale al 2010 rimane, secondo le stime del Libro Bianco, l'installazione di 3.000 MWp.

L'Italia, dove esistono condizioni di irradiazione molto favorevoli per applicazioni su larga scala, è stata in passato per molto tempo all'avanguardia nel settore fotovoltaico. All'epoca della sua realizzazione da parte dell'ENEL la centrale di Serre, in Campania, era, infatti, la più grande del mondo. Il Libro Bianco italiano per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili prevede un ambizioso programma di sviluppo di questo settore, al fine di consentire l'incremento della potenza installata dai 16 MWp del 1997 ai 300 MWp al 2010, attraverso la promozione del mercato da attivarsi, almeno nel breve periodo, nell'ambito del programma tetti e facciate fotovoltaiche elaborato congiuntamente dal Ministero dell'Industria e dal Ministero dell'Ambiente con il supporto tecnico dell'ENEA. Questo programma prevede la connessione degli impianti alla rete

elettrica di bassa tensione e l'integrazione dei moduli fotovoltaici nelle strutture edili. Il sostegno all'investimento arriva al 75% del costo standard di riferimento (16 M€/kW per impianti fino a 5 kW e 14 M€/kW per impianti con potenze comprese tra 5 e 50 kW). Inoltre, il programma prevede la rimozione della barriera relativa alle autorizzazioni ed all'interfaccia con la rete, attraverso la possibilità di scambiare liberamente energia con la rete. Bisogna tuttavia registrare che, purtroppo, questo programma, nonostante sia stato annunciato da tempo, non è ancora decollato, causando evidenti ripercussioni sullo sviluppo e la diffusione di questa tecnologia.

Le favorevoli condizioni di irradiazione della Campania, già evidenziate nel paragrafo precedente, comportano che nella Regione sia possibile prevedere anche lo sviluppo di applicazioni del solare fotovoltaico.

La potenzialità nel territorio regionale della risorsa solare con la tecnologia delle celle fotovoltaiche per *applicazioni diffuse con moduli di piccola potenza collegati alla rete elettrica*, può essere valutata attraverso la stima dell'energia solare annua per unità di superficie effettivamente convertita in energia elettrica (E_{com}), e pertanto risparmiata, e dalla disponibilità sul territorio di superficie potenzialmente captante.

Applicando una relazione analoga a quella già introdotta per il solare termico si ottiene, su base annua,:

$$E_{com} = A_{cd} \eta E_{LS} \quad (\text{kWh}_e) \quad (3.2)$$

dove:

- A_{cd} è l'area (m^2) disponibile sul territorio regionale per l'installazione di celle fotovoltaiche, pari alla somma delle superfici orizzontali (coperture piane e tetti) e verticali esposte a sud, moltiplicate per il fattore di disponibilità χ , ossia:

$$A_{cd} = \sum \chi (A_{cop} + A_{vsud}) \quad (\text{m}^2) \quad (3.3)$$

dove A_{vsud} è l'area (m^2) delle superfici verticali esposte a sud del tipo a facciata continua, che può essere desunta solo da un'indagine tipologica specifica, e per A_{cop} vale quanto riportato

per il solare termico. Il fattore di occupazione χ in questo caso può essere assunto pari a 0,5 per i terrazzi e pari a 0,3 per i tetti e le superfici verticali.

- η è il rendimento medio di conversione fotovoltaica, che può essere assunto, in funzione del tipo di materiale utilizzato per la cella pari a 0,13 – 0,15.
- E_{LS} è l'irradiazione globale su superficie esposta a Sud ed inclinata di L (latitudine) gradi sull'orizzontale.

Nel caso, invece, si debba prendere in esame la realizzazione di *campi fotovoltaici*, cioè di impianti di potenza superiore ai 5 kW, l'energia producibile è praticamente limitata solo dall'estensione del suolo che si vuole impegnare. Individuati i siti idonei all'installazione di questi impianti, infatti, l'energia elettrica producibile annualmente è data:

$$E_T = (E_{LS} A b d \eta) / C \quad (\text{kWh}_e) \quad (3.4)$$

in cui:

- E_{LS} = irradiazione solare media su superfici inclinate a 30° esposte a Sud (kWh/m^2 anno)
- A = area del terreno (m^2)
- b = coefficiente di riduzione dell'area per servizi che può essere assunto pari a 0,9
- $C = T/L$, coefficiente di riempimento per pannelli multi righe, è dato dalla relazione:

$$T/L = \sin i \tan (23,45 + F) + \cos i \quad (3.5)$$

dove: T è la distanza tra due righe di pannelli in metri

L è la lunghezza del pannello in metri

i è l'inclinazione dei pannelli in gradi

F è la latitudine del luogo in gradi.

Si ha, in prima approssimazione, $T/L = 2,1$ per il Nord dell'Italia; $T/L = 1,9$ per il Centro; $T/L = 1,8$ per il Sud.

- d = coefficiente di riduzione di irradiazione per ombre portate dalle righe, assunto mediamente pari a 0,9

- η = rendimento dei moduli.

L'energia trasmessa alla rete elettrica risulta, quindi,:

$$E_S = K E_T \quad (\text{kWh/a}) \quad (3.6)$$

con K fattore di perdita nel collegamento elettrico alla rete, assumibile pari a 0,97.

La superficie totale dei pannelli fotovoltaici installabili, S_t , può essere determinata, infine, attraverso la relazione:

$$S_t = A b/C \quad (\text{m}^2) \quad (3.7)$$

e la potenza di picco del campo fotovoltaico, P, risulta:

$$P = 0,11 S_t \quad (\text{kW}_p) \quad (3.8).$$

La valutazione del potenziale fotovoltaico risulta, dunque, analogamente al solare termico, subordinata alla superficie captante disponibile nella Regione. Anche per questa applicazione, infatti, la valutazione del potenziale *non trova una limitazione nella disponibilità della risorsa (offerta), quanto nella domanda di energia che presenta il territorio compatibile con le tecnologie di conversione della risorsa stessa.*

Per *applicazioni diffuse con moduli di piccola potenza*, la disponibilità di superfici di coperture e facciate di edifici idonee a supportare l'installazione di moduli fotovoltaici presenti nella Regione è stata valutata in 24,5 km² (v. § 3.1). In linea teorica, dunque, nell'ipotesi che il rendimento complessivo degli impianti sia del 10%, la potenza massima ottenibile risulta di circa **2,5 GW**. Tale potenzialità deve, però, realisticamente essere ridotta in modo consistente per tenere conto non solo della scarsa economicità degli interventi, che presentano un possibile margine di convenienza solo negli edifici di nuova costruzione o nell'ipotesi del rifacimento delle facciate e/o delle coperture per motivi estetici o funzionali, quanto della inopportunità di immettere nella rete più del 10% dell'energia elettrica prodotta da una fonte aleatoria come il fotovoltaico, per problemi tecnici di stabilità della rete. Al fine di valutare il potenziale energetico di questa applicazione verranno, perciò, adottate per la Regione Campania le stesse ipotesi di diffusione al 2010 previste a livello nazionale nel Libro Bianco, che prevede a tale anno l'installazione di una potenza complessiva di 300 MW. Sulla base del rapporto tra la superficie di coperture e facciate di edifici stimata a livello

nazionale e regionale disponibile per applicazioni solari, tale obiettivo comporta che la potenza complessiva degli impianti fotovoltaici realizzabili in Regione per applicazioni diffuse nel settore residenziale e terziario ammonti, perciò, a **13,5 MW**, corrispondenti a circa **140 – 150.000 m² di pannelli**. L'energia elettrica effettivamente prodotta da tali installazioni risulterebbe di **20.250 MWh/anno**, con un risparmio di energia primaria corrispondente a **4.450 tep** ed una produzione evitata di CO₂, valutata sulla base del coefficiente di 3,18 Mt di CO₂ per Mtep utilizzato nel Libro Bianco per le emissioni prodotte dal parco termoelettrico ENEL, pari a **14.151 tonnellate**. Gli investimenti complessivi necessari a tal fine, considerando un costo medio di **16 M€/kW** uguale a quello previsto nel Programma 10.000 tetti fotovoltaici per impianti di potenza inferiori a 5 kW, risultano, quindi, di **216 miliardi di lire**.

La Regione Campania dispone, inoltre, di un'ampia superficie agricola non utilizzata (66,6 kha, ISTAT, Statistiche forestali, 1994). Di questa superficie, circa 125 km² secondo le stime del § 3.1 è inutilizzata essenzialmente per motivi di carattere economico, ed è, quindi, potenzialmente idonea per l'installazione di impianti ad energia solare di potenza adeguata per la produzione di energia elettrica (*campi fotovoltaici*). L'energia elettrica producibile annualmente da questi impianti può essere valutata, in prima approssimazione, con le relazioni (3.4) e (3.6) introdotte in precedenza. Sulla base dei valori medi regionali dei parametri che intervengono in queste relazioni, l'energia elettrica producibile per metro quadrato di area impegnata in Campania risulta di circa **83 kWh/anno**, mentre l'energia trasmessa alla rete elettrica risulta di circa **80 kWh/anno**. Nell'ipotesi di voler raggiungere l'obiettivo di impegnare al 2010 solo l'1% di questa superficie agricola (1,25 km²) con impianti fotovoltaici di potenza, l'energia elettrica trasmissibile alla rete sarebbe di circa **100 GWh/anno**, con un risparmio, quindi, di **22 kTep/anno** in energia primaria e di **69.960 tonnellate di CO₂**. La superficie complessiva dei pannelli fotovoltaici necessari sarebbe, quindi, di **625.000 m²**, e la corrispondente potenza di picco di **68,7 MW**. Gli investimenti complessivi necessari a tal fine, considerando un costo medio di **14 M€/kW**, risultano, quindi, di **962 miliardi di lire**.

Ai fini del presente lavoro, infine, non è stato quantificato, in quanto non sono disponibili le informazioni ed i dati di base sulla loro consistenza e natura, il potenziale delle applicazioni relative alle utenze non collegate alla rete elettrica (abitazioni isolate, rifugi montani, alimentazione di utenze pubbliche isolate, ecc.), applicazioni che, comunque, devono essere considerate marginali rispetto alle precedenti e, perciò, non significative ai fini della pianificazione energetica.

Cap. 4 – Considerazioni conclusive

Le condizioni climatiche generali ed, in particolare, il buon livello di irradiazione solare presente nella Regione, irradiazione compresa, in prima approssimazione, tra 1.460 e 1.533 kWh/m² anno, favoriscono in Campania l'utilizzo dell'energia solare per usi termici a bassa temperatura e per la produzione di energia elettrica. L'impiego dell'energia solare per usi termici risulta particolarmente indicato nel settore residenziale e terziario (turistico in particolare) ai fini della produzione dell'acqua calda sanitaria, soprattutto laddove questa venga attualmente prodotta utilizzando boiler ad energia elettrica, mentre la produzione di energia elettrica attraverso applicazioni diffuse della tecnologia del solare fotovoltaico negli edifici e la realizzazione di impianti di potenza (*campi fotovoltaici*) risulta, attualmente, più difficile, per gli ostacoli ancora esistenti in relazione ai costi ed all'iter burocratico necessario per la realizzazione degli interventi. La riduzione, o la rimozione, di questi ostacoli burocratici e le incentivazioni finanziarie costituiscono i principali compiti che l'Amministrazione deve affrontare per consentire la diffusione e l'utilizzo della risorsa "energia solare", in particolare per la produzione diretta di energia elettrica dal sole, nella Regione.

La valutazione del potenziale dell'energia solare, contrariamente a quella delle altre fonti rinnovabili di energia, *non trova nella Regione una limitazione nella disponibilità di questa risorsa (offerta), quanto nella domanda di energia che presenta il territorio compatibile con le tecnologie di conversione della risorsa stessa.* Nella Regione Campania è stato stimato che la superficie disponibile per applicazioni dell'energia solare ammonta a circa **149 km²**, di cui **24,5 km²** di coperture di edifici e facciate. *Quest'ultimo valore rappresenta, dunque, la potenziale superficie captante dell'energia solare utilizzabile per usi termici presente nella Regione Campania.*

Di questa superficie, quella realisticamente utilizzabile annualmente per la produzione di acqua calda sanitaria nel *settore residenziale*, nell'ipotesi di perseguire a livello regionale lo stesso obiettivo previsto a livello nazionale al 2010 dal "Libro Bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili", ammonta a 20.000 – 125.000 metri quadrati.

Questo comporta che, nella Regione Campania, dovrebbero essere installati dai 20.000 ai 125.000 metri quadrati per anno di captatori solari, con un superficie installata al 2010 compresa tra **93.000 e 302.000 metri quadrati**. Il risparmio di energia primaria al 2010 corrispondente a questo obiettivo risulta, pertanto, compreso tra **6.400 e 20.800 tep**. Questo risparmio corrisponde allo 0,5 – 1,8% dei consumi di energia primaria previsti al 2010 nel settore residenziale campano nello scenario tendenziale di basso consumo, ed allo 0,5 – 1,6% nello scenario di alto consumo. La

corrispondente produzione evitata di CO₂ prevista al 2010 risulta compresa tra **17.920 e 58.240 tonnellate**. Gli investimenti complessivi previsti sono compresi tra **75 e 242 miliardi di lire**.

Nel settore *turistico – alberghiero* potranno essere installati, invece, dai **5.340 ai 13.350 metri quadrati** di captatori solari per la produzione di acqua calda sanitaria. Con queste ipotesi, il risparmio annuale di energia primaria in questo settore al 2010 sarà compreso tra **370 e 920 tep**, e la corrispondente emissione evitata di CO₂ sarà compresa tra **1.036 e 2.576 tonnellate**. Gli investimenti necessari a tal fine saranno compresi tra **4,3 e 10,7 miliardi**.

La potenza complessiva degli impianti fotovoltaici realizzabili in Regione per applicazioni diffuse nel settore residenziale e terziario è stata valutata in **13,5 MW**, corrispondenti a circa **140 – 150.000 m² di pannelli**. L'energia elettrica effettivamente prodotta da tali installazioni risulterebbe di **20.250 MWh/anno**, con un risparmio di energia primaria corrispondente a **4.450 tep** ed una produzione evitata di CO₂ pari a **14.151 tonnellate**. Gli investimenti complessivi necessari a tal fine sono stati valutati in **216 miliardi di lire**.

Nell'ipotesi di voler raggiungere l'obiettivo di impegnare al 2010 solo l'1% della superficie agricola dismessa per motivi prevalenti di carattere economico con impianti fotovoltaici di potenza, l'energia elettrica trasmissibile alla rete sarebbe di circa **100 GWh/anno**, con un risparmio, quindi, di **22 kTep/anno** di energia primaria e di **69.960 tonnellate di CO₂**. La superficie complessiva dei pannelli fotovoltaici necessaria sarebbe, quindi, di **625.000 m²**, e la corrispondente potenza di picco di **68,7 MW**. Gli investimenti complessivi necessari a tal fine sono stati valutati in **962 miliardi di lire**.

. BIBLIOGRAFIA

- 1) "Guida per la pianificazione energetica regionale" – ENEA, 1997
- 2) "Energia dal sole- Prospettive dell'energia fotovoltaica in Italia" – Hypothesis Editore, 1992
- 3) S. Petrarca, E. Cogliani, F. Spinelli: "La radiazione solare globale al suolo in Italia" – ENEA, dicembre 2000