



ENEA

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

Ricerca
e innovazione
per un futuro
low-carbon

Le Fonti
Rinnovabili 2010



Scheda tecnologica:

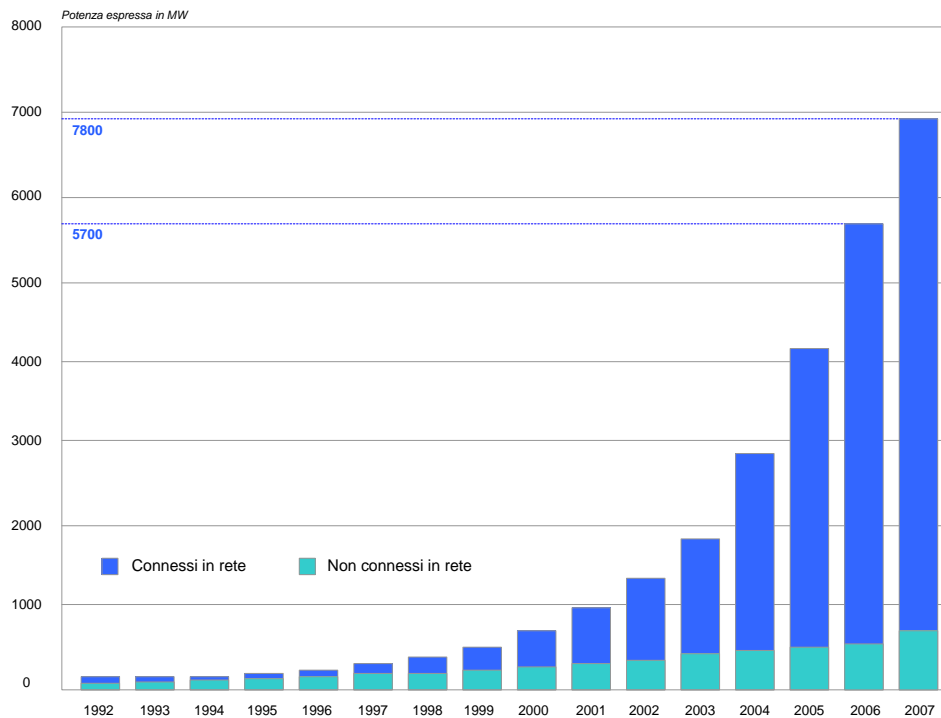
FOTOVOLTAICO

Descrizione e stato dell'arte

Le tecnologie fotovoltaiche realizzano la conversione della radiazione solare in energia elettrica, permettendo una produzione diretta e modulare per applicazioni in soluzioni impiantistiche che spaziano dai pochi kW di potenza degli impianti residenziali ai diversi MW delle centrali fotovoltaiche a terra.

A fine 2007 la potenza fotovoltaica mondiale, secondo il programma PVPS della IEA, superava i 7,8 GW (figura 1): Germania e Giappone, rispettivamente con oltre 3.862 MW e 1.918 MW installati, occupano la prima e la seconda posizione della classifica, seguiti da USA (830 MW) e Spagna (655 MW).

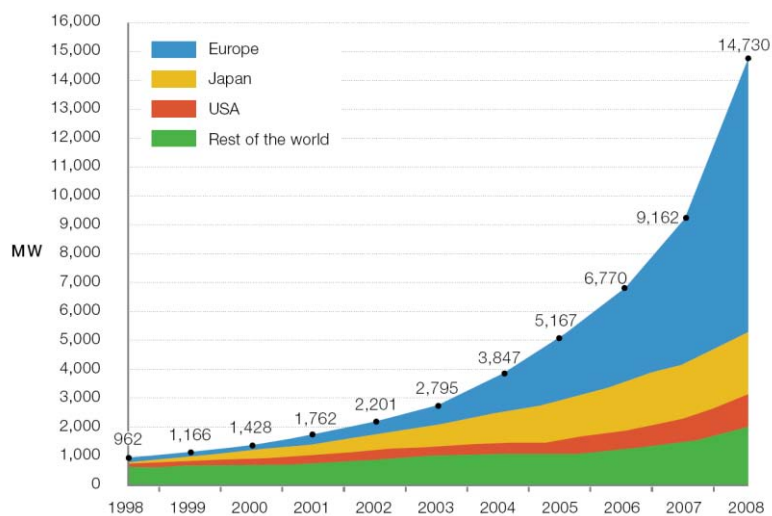
Figura 1 – Potenza mondiale fotovoltaica espressa in MW a fine 2007



Fonte: IEA - Report IEA-PVPS T1-17:2008

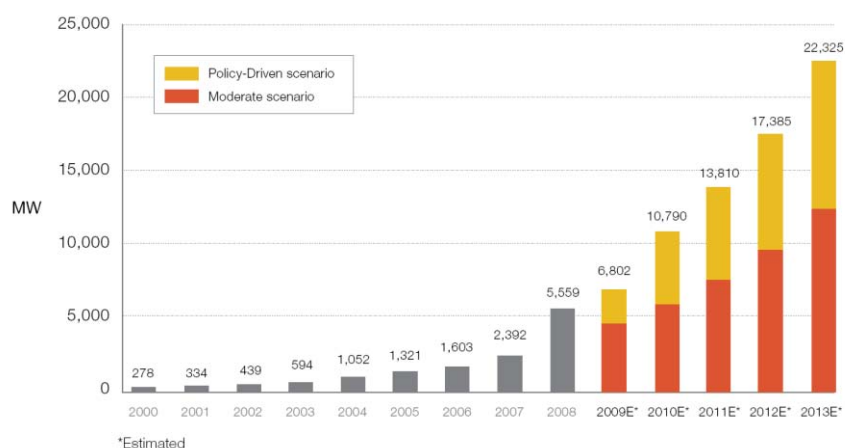
Secondo la European Photovoltaic Industry Association (EPIA) a fine del 2008 la capacità totale installata cumulata nelle più importanti aree geografiche del pianeta e nel resto del mondo risulta essere pari a 15 GW (figura 2). L'Europa risulta la regione in cui vi è stato il maggiore sviluppo di capacità (9 GW), pari al 65% della capacità cumulata globale, in parte grazie alla straordinaria spinta del mercato spagnolo, tedesco ed italiano. Seguono Giappone e Stati Uniti con, rispettivamente, il 15% e l'8% di capacità cumulata globale. Sempre EPIA prevede per il 2025 una forte crescita del settore con una potenza fotovoltaica mondiale installata di 433 GW ed una produzione di energia elettrica pari a 589 TWh, corrispondente a circa il 3% della stima di consumo mondiale di energia elettrica.

Figura 2 – Potenza installata cumulata nelle principali aree geografiche



Fonte: EPIA - European Photovoltaic Industry Association

Figura 3 – Previsione del mercato fotovoltaico annuo mondiale fino al 2013



Fonte: EPIA - Global market outlook for photovoltaics until 2013

Per quanto riguarda la situazione italiana attuale, fino al 2005 la presenza del fotovoltaico, in termini di potenza installata e tassi annui di crescita, è stata piuttosto modesta: a fine 2005 si censivano 13 grandi impianti per un totale di 7,1 MW a cui andavano aggiunti circa 27 MW relativi ad impianti fotovoltaici di piccola taglia, prevalentemente connessi con la rete di distribuzione, che complessivamente nel 2005 hanno prodotto 31 GWh di energia elettrica. Sebbene in fortissimo aumento negli ultimi due anni, il settore fotovoltaico italiano contribuisce ancora in misura assai ridotta alla produzione di energia elettrica nazionale. Tuttavia, la spinta dei meccanismi di incentivazione, introdotti a partire dal 2005, ha dato grande vigore allo sviluppo del mercato italiano avvicinandolo a quello delle nazioni più virtuose, con un grande interessamento di soggetti privati e di società di ingegneria.

Le installazioni fotovoltaiche italiane del 2006, secondo i dati di EurObserv'ER, realizzavano una potenza cumulativa pari a 50 MWp che nel 2007 ha raggiunto la quota di

120,2 MWp con una crescita record di oltre il 140% in un anno. Il dato risulta notevole pensando che la potenza installata nel solo 2007 supera, di fatto, quanto fatto nei precedenti venticinque anni.

Al 1° aprile 2009, secondo i dati elaborati dal Gestore dei Servizi Elettrici (GSE), risultavano in esercizio 5.177 impianti per una potenza di 128,4 MWp realizzati con meccanismo di finanziamento pubblico del primo Conto Energia (DM 28 luglio 2005 e 6 febbraio 2006). Il nuovo Conto Energia (DM 19 febbraio 2007) aggiunge a questi ulteriori 28.178 impianti equivalenti a 299,7 MWp, portando il numero di realizzazioni al totale di 33.355 impianti fotovoltaici per una potenza cumulativa installata record pari a 428 MW.

Limitando i dati all'anno solare 2008 la potenza ufficialmente installata di 221,55 MWp si distribuisce su 18.676 nuovi impianti in esercizio (per primo e nuovo Conto Energia), realizzati nel numero ragguardevole medio di circa 1.550 nuove unità al mese per una potenza di 18,4 MWp: in soli 30 giorni si installava in Italia il doppio di quanto realizzato nel 2006.

L'incremento che ne risulta rispetto al dato 2007 (70 MWp) è pari al 215% e, sebbene non siano ancora a disposizione dati statistici più esaustivi, il fotovoltaico italiano appare un fenomeno principalmente privato e meno attraente per il settore delle imprese. **Conferma di ciò è l'analisi delle domande di accesso al Conto Energia 2006 e i dati di potenza installata e numerosità di impianti al 2008** che risultano fortemente sbilanciati su piccole dimensioni impiantistiche, per lo più destinate al segmento privato residenziale. Le richieste di accesso al Conto Energia risultano per lo più indirizzate ad impianti di capacità ridotta, mentre il segmento imprese, per l'alto fabbisogno energetico, necessita di impianti di capacità produttiva superiore.

Dall'analisi della classifica regionale degli impianti realizzati e connessi in rete nel periodo 2008 a cura dell'Ufficio Statistiche del GSE, ben 2.489 (51,7 MWp) sono stati realizzati in Puglia, prima per potenza fotovoltaica installata, 5.138 (49,3 MWp) sono stati realizzati in Lombardia, 3.408 (39,7 MWp) in Emilia Romagna, seguite poi da Piemonte, Trentino Alto Adige, Toscana, Veneto, Marche e Lazio.

La distribuzione regionale della potenza installata evidenzia che la maggiore richiesta di incentivazione proviene complessivamente dalle regioni del Nord e del Centro mentre appare molto rilevante il contributo, nei termini di installato, delle centrali fotovoltaiche multimegawatt recentemente connesse alla rete nella sola regione Puglia, che distacca nettamente per potenza realizzata, tutte le altre regioni meridionali.

Dalla disaggregazione dati dei risultati del Conto Energia, in accordo ai dati forniti al 1° febbraio 2009 dal GSE, possiamo rilevare che la taglia media degli impianti realizzati **relativamente al "nuovo Conto Energia" è 11,3 kWp con una suddivisione tra classi di potenza** che vede installati 30,6 MWp (11.725 impianti) per potenze da 1 a 3 kWp; 69,70 MWp (9.017 impianti) per potenze da 3 a 20 kWp; 81,40 MWp (719 impianti) per potenze oltre 20 kWp.

Potenza e numerosità degli impianti fotovoltaici incentivati può distinguersi anche secondo il grado di integrazione architettonica, con 49,25 MWp (5.726 impianti) di impianti integrati, 102,21 MWp (14.026 impianti) di impianti parzialmente integrati e 30,24 MWp (1.709 impianti) di impianti non integrati.

Dall'entrata in vigore del Conto Energia, al 1° febbraio 2009, sono stati erogati dal Gestore dei Servizi Elettrici incentivi per un totale di circa 96 milioni di euro relativi ad una produzione di circa 210 milioni di chilowattora.

Prospettive tecnologiche e R&S

È parere comune che il fotovoltaico rappresenti, attualmente, la tecnologia capace di condurre agli obiettivi di lungo termine previsti dalla politica energetica della Commissione Europea, che punta, come da tempo avviene in Giappone, proprio sul fotovoltaico per la produzione di energia elettrica. In ambito comunitario, infatti, si ritiene che il **fotovoltaico possa contribuire all'approvvigionamento elettrico in una prospettiva di lungo periodo e che il suo contributo non sarà apprezzabile fino al 2030**, data in cui si valuta un'incidenza non superiore all'1% della domanda elettrica europea.

In ambito fotovoltaico, le attività di ricerca, sviluppo e prototipazione si sono diversificate molto, definendo una suddivisione preliminare in celle e/o moduli, da un lato, e sistemi ed applicazioni, dall'altro.

Le attività di ricerca su celle e moduli per usi terrestri variano dallo studio dei materiali **ai processi di laboratorio scalabili per l'industria, con i maggiori sforzi concentrati sulle tecnologie di fabbricazione del dispositivo fotovoltaico e l'ottimizzare dell'automazione dei processi mirati a ridurre il consumo di silicio.**

Fotovoltaico piano: in questo specifico ambito, la tecnologia del Silicio cristallino (c-Si), che consiste nell'impiego di wafer di Silicio tipicamente destinato all'industria elettronica, è di gran lunga la più consolidata, sia essa monocristallina che policristallina, con copertura del mercato mondiale per quote, almeno negli ultimi anni, comprese tra il 90% e il 95%. La produzione di celle fotovoltaiche di area oramai superiore ai 150 cm², permette di cablare moduli piani con potenze elevate e record di efficienza prossime al 20%. Gli impianti realizzati in Italia nel periodo dicembre 2007-febbraio 2008 **utilizzano quasi esclusivamente moduli al silicio cristallino (99,3%) in linea con l'analisi di mercato effettuata a livello internazionale.** Appare in controtendenza, invece, il dato relativo alla quota di silicio policristallino (42%) utilizzata rispetto al monocristallino, molto inferiore al dato internazionale (>66%). Le potenze di targa tipici dei moduli impiegati per impianti di media e grande taglia (>50 kWp) sono comprese tra 160 Wp e 240 Wp, con una grande diffusione di dispositivi da 200 Wp. Gli impianti di piccola taglia stanno premiando la scelta di moduli di potenza media pari a 160 Wp. In merito alla provenienza dei moduli fotovoltaici installati nel medesimo periodo dicembre 2007 - febbraio 2008 si evidenzia una quota preponderante di prodotti giapponesi per oltre il **54% dell'intera potenza installata, seguita da quelli tedeschi (16%) e cinesi (4,5%).** La quota nazionale è superiore al 15% del totale installato (7,4% SE Project, 5,5% Helios Technology e 2,5 Eni Power).

La tecnologia dei film sottili è nata invece per contenere il consumo di materiale e contrarre il periodo di recupero energetico (Energy Payback Time) che caratterizza negativamente i dispositivi al Silicio cristallino (tipicamente compreso tra 4 e 5 anni). I film sottili richiedono spessori di materiale non superiore a qualche micron e processi per la realizzazione dei moduli fotovoltaici più economici perché, a temperature sensibilmente inferiori, richiedono costi energetici più bassi e sono tipicamente realizzati in un unico processo di linea che avviene su larga superficie di lavoro. Stante il minor valore di efficienza accreditato, i dispositivi con tecnologia del silicio amorfo o degli altri film sottili sono relegati ad applicazioni di integrazione in facciata che richiedono risultati di pregio come semitrasparenza o effetto cromatico.

L'attenzione della ricerca sui film sottili è stata per molto monopolizzata dal silicio amorfo, depositato anche su substrati flessibili di grande area per favorire il livello di integrabilità della tecnologia negli edifici e più recentemente si è focalizzata sullo sviluppo di celle a base di telluriuro di cadmio (CdTe), di diseleniuro di indio e rame (CIS), di diseleniuro di indio rame e gallio (CIGS) e di altri film sottili policristallini, per i quali acquista spesso importanza lo sviluppo di substrati trasparenti flessibili e di film trasparenti conduttori.

La tecnologia CIS è nota già da tempo al mercato tedesco ed americano in cui sono siti i principali produttori di moduli (Würth Solar, Shell Solar e Global Solar). **L'incremento recente dell'interesse per il CIS è testimoniata dall'annuncio di realizzazione di molti nuovi impianti di produzione che confermano il livello di prestazione e affidabilità ottenuto da questa tecnologia nell'arco temporale di un decennio.**

I moduli al CdTe stanno invece dimostrando un'ottima stabilità ai test di invecchiamento accelerato e le innovazioni della R&S riguardano soprattutto la scalabilità a livello industriale del processo di produzione e la riproducibilità delle prestazioni dei moduli. **L'interesse per questa tecnologia è anche italiano, con un progetto industriale per la produzione di moduli, condotto nei laboratori del Dipartimento di Fisica di Parma, che ha portato alla realizzazione di celle solari a base di CdTe/CdS con un'efficienza di conversione, tra le più alte, di oltre 15% in un processo di produzione semplificato ed innovativo.** La tecnologia sviluppata è pronta perché possa essere progettata e costruita una macchina automatizzata in grado di produrre 150 mila metri di moduli all'anno corrispondenti a 15 MW di potenza elettrica.

Per quanto riguarda le celle a bassissimo costo, appaiono promettenti i dispositivi basati sull'uso di materiali organici (polimeri), ibridi (organici/inorganici) ed a base di ossido rameoso (Cu₂O), oggetto di numerosi programmi di ricerca, mentre restano ad e-

levato rischio, sotto il profilo economico, le attività esplorative su materiali e strutture del dispositivo fotovoltaico ad altissima efficienza.

Dal punto di vista delle applicazioni, nel decennio 1980-90 l'attenzione è stata prevalentemente rivolta agli impianti di grande taglia (dell'ordine di qualche MWp) in connessione alla rete, per i quali erano apprezzabili gli evidenti vantaggi di costo dell'energia prodotta grazie alle economie di scala.

Anche se restano numerosi i progetti europei VLS PV (Very Large Scale Photovoltaic Systems) con il nuovo vigore di mercati emergenti come quello spagnolo e nazionale, le attività di ricerca e sviluppo si sono focalizzate, oggi, su taglie impiantistiche inferiori per rispondere all'esigenza di potenziare la diffusione del modello di generazione distribuita e promuovere fortemente l'integrazione architettonica del fotovoltaico nell'edilizia, con gli obiettivi di riduzione dei costi di installazione attraverso l'integrazione della tecnologia solare fotovoltaica su scala ampia, sia in ambito residenziale che industriale.

Tabella 1 – Confronto tra diverse tecnologie fotovoltaiche

	Prima generazione		Seconda generazione			Terza generazione	Concentrazione
	Si mono	Si multi	Si amorfo	CdTe	CIS/CIGS	DSC	Point focus
Efficienza (%)	14 – 17	12 – 14	6 – 8	10 – 11	10 – 11	10	12 – 20
EPBT* (anni)	2,0	1,7	1,5	1,0	1,0	-	-
Costo di produzione (€/W)	3,2 – 3,5	2,8 – 3,2	1,2 – 1,5	1,5 – 2,2	2,2 – 2,5	-	3,5 – 5,0

*EPBT – Energy Pay Back Time: tempo necessario al modulo per produrre una quantità di energia pari a quella consumata per la sua fabbricazione (inclusi componenti e semilavorati).

Fonte: Energy & Strategy Group 2009

Fotovoltaico a concentrazione: gli impianti fotovoltaici a concentrazione si distinguono da quelli piani essenzialmente per il fatto che la radiazione solare viene concentrata da un opportuno sistema ottico, prima di raggiungere la cella. Tale soluzione tecnologica comporta sia l'impiego di celle a maggior efficienza, sia di un complesso sistema di movimentazione ad "inseguimento" del disco solare.

Il fotovoltaico a concentrazione è una delle opzioni tecnologiche più promettenti per accelerare il processo di riduzione dei costi per la tecnologia fotovoltaica, riducendo il peso del componente fotovoltaico sul costo di investimento dell'intero sistema. Mediante l'uso di ottiche è possibile ridurre l'area delle celle (fino a 1000 volte) con conseguente risparmio di materiale attivo ed altri elementi pregiati ed utilizzare celle a concentrazione di alto costo per unità di superficie che realizzano valori di efficienza superiori al 40%, non raggiungibili con le tecnologie tradizionali del fotovoltaico piano.

La progettazione di un sistema fotovoltaico a concentrazione si presenta più complessa se si vuole assicurare lo stesso grado di affidabilità del fotovoltaico convenzionale e, nello stesso tempo, cogliere tutti i vantaggi tecnici ed economici legati alla concentrazione della radiazione solare.

Il progetto PhoCUS (Photovoltaic Concentrators to Utility Systems) di ENEA è finalizzato allo sviluppo di una tecnologia a media concentrazione (200X), per un utilizzo prevalente nelle aree mediterranee tipicamente caratterizzate da una maggiore insolazione diretta (unica radiazione utile per la conversione fotovoltaica nelle applicazioni a concentrazione). L'approccio point-focus del progetto PhoCUS implica l'uso di lenti rifrattive per concentrare la radiazione solare ed è stato ritenuto il sistema di concentrazione più versatile ed economico per il mercato fotovoltaico.

L'unità PhoCUS di ENEA presso il Centro Ricerche Portici è in grado di lavorare in maniera autonoma in connessione alla rete in bassa tensione, oppure connessa in parallelo ad altre unità per costituire impianti di potenza fino ad 1 MW.

Per quanto riguarda il sistema ricevitore PhoCUS, è stato sviluppato e standardizzato il processo per la realizzazione di una cella solare in c-Si ad alta efficienza: la cella sviluppata ha un'efficienza del 22% a 30 soli ed è in grado di lavorare fino a 130 soli con

valori di efficienza superiori al 20%. Il dispositivo è stato realizzato ottimizzando strutture di tipo convenzionale, basate su processi già presenti presso i laboratori ENEA in Casaccia, perfezionando le prestazioni del dispositivo per la concentrazione, e su tecniche per la realizzazione di antiriflesso e griglia di raccolta sviluppate nell'ambito delle tecnologie sui film sottili presso i laboratori del Centro Ricerche di Portici.

Un approccio innovativo alla concentrazione fotovoltaica è quello proposto dal prototipo di Sistema Dicroico realizzato presso l'Università di Ferrara, costituito da due dischi parabolici (concentratori) ricoperti con opportuni riflettori dicroici progettati per inviare diverse porzioni dello spettro solare su moduli diversi, trattandosi, a tutti gli effetti, di un sistema a doppio concentratore. La struttura che realizza la condizione ottica di separazione spettrale è costituita da un guscio trasparente in plexiglass sul cui retro aderisce una speciale pellicola riflettente solo per determinate lunghezze d'onda (colori) della luce, trasmettendo selettivamente le altre. La radiazione riflessa dal primo film viene concentrata su un'area del pannello fotovoltaico, quella trasmessa raggiunge un secondo riflettore che la concentra su una diversa regione del pannello fotovoltaico.

Con tali materiali e riflettori, l'efficienza di conversione può superare il 30% e l'esigua quantità di silicio utilizzato permetterebbe una realistica espansione dei sistemi fotovoltaici.

Potenziale di sviluppo e barriere alla diffusione

La disponibilità fisica della fonte solare è teoricamente molto ampia se comparata al fabbisogno nazionale. La stima del potenziale si basa sulla valutazione della effettiva disponibilità di superfici idonee ad ospitare moduli fotovoltaici (decurtata della frazione destinata ad ospitare i collettori solari termici).

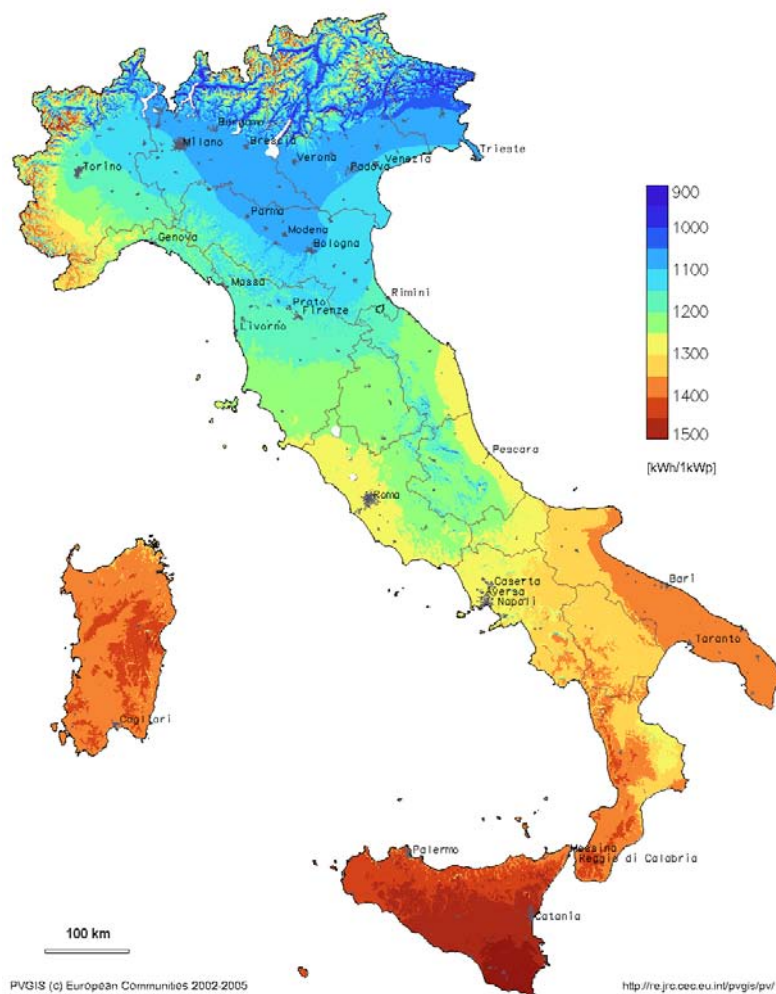
L'impegno di una quota inferiore al 3% del territorio italiano con impianti fotovoltaici correttamente posizionati in termini di angoli titl-azimutali dei moduli, coprirebbe, in termini di bilancio annuo, il fabbisogno nazionale di energia elettrica. La fonte in sé non pone dunque vincoli allo sviluppo del fotovoltaico. La penetrazione della tecnologia dipende invece da fattori legati ai costi impiantistici, all'accettabilità dell'impatto paesaggistico ed alla capacità della rete nazionale di trasmissione di accogliere una moltitudine di installazioni fotovoltaiche distribuite. Resta difficile e in buona misura arbitrario stimare a priori dei limiti, anche teorici, di penetrazione del fotovoltaico in rapporto alla disponibilità di siti idonei (prescindendo quindi da considerazioni di tipo economico). Si può ritenere che ad aree con destinazione differenziata di utilizzo del territorio, corrispondano differenti caratterizzazioni di impianti fotovoltaici.

In aree urbane, con un'elevata densità di installazioni fotovoltaiche in ambito residenziale, saranno privilegiate le soluzioni impiantistiche di piccola taglia con funzione legata al risparmio energetico e finanziario. Nelle aree industriali prevarranno impianti di maggiore dimensione e potenza per ottenere, oltre ad un significativo risparmio energetico, anche una redditività di impresa. Nelle aree seminative, infine, gli impianti fotovoltaici, oltre al soddisfacimento del fabbisogno energetico, permettono di ottenere reddito attraverso i meccanismi di vendita dell'energia prodotta. A riguardo, l'integrazione del fotovoltaico a terra con le attività agricole e pastorizie nel rispetto delle attività locali, sta dimostrandosi elemento di forte valorizzazione dei terreni.

Per produrre una stima realistica di potenziale a partire dalle superfici utilizzabili (tenendo conto di fattori di esposizione all'irradiazione solare, di fattibilità tecnologica e capacità industriale nel supportare le forniture di impianti), è conveniente distinguere tra impianti di piccola-media taglia (dai kW a circa un MW), integrati tipicamente su coperture di edifici, capannoni ecc., da quelli di potenza maggiore, da immaginare distribuiti su aree marginali del territorio.

Per i primi, può essere stimato un valore orientativo di potenza installata compresa tra 6.000 e 12.000 MW, oltre il quale la fattibilità potrebbe essere discutibile per ragioni fisiche. Con una producibilità degli impianti fotovoltaici che cresce fortemente dalle 1000 ore equivalenti di funzionamento annuo a Nord Italia alle 1400 nelle regioni più meridionali del Paese (figura 4), è ragionevole presumere una producibilità teorica compresa tra i 7,5 e i 15 TWh/anno.

Figura 4 - Generazione elettrica fotovoltaica per 1 kWp con angoli di inclinazione ottimali



Fonte: PVGIS - Photovoltaic Geographical Information System

Ciò è ottenibile con l'impegno di circa 2 m² di copertura fotovoltaica (su tetto o altro) per ogni abitante, con un'efficienza media dei moduli del 10% (tale da realizzare una superficie d'impianto pari a 10 m² per ogni kWp).

Per impianti multimegawatt, invece, lo sfruttamento di aree marginali potrebbe essere significativo data la disponibilità di terreni aridi e non coltivati tipici delle regioni meridionali ad alta insolazione. Risulta tuttavia complesso valutare le condizioni di accettabilità di una copertura intensiva del terreno per impatto paesaggistico ed alterazione delle condizioni microclimatiche locali.

Con una superficie corrispondente fino a circa lo 0,1% del territorio nazionale (circa 300 km²) destinata a tale impiego, ne risulterebbe un limite a lungo termine ambizioso e tecnicamente non irrealistico di circa 10.000 MW, realizzabili in un migliaio di centrali VLS di potenza nominale 10 MW che garantirebbero una copertura di producibilità energetica pari a ulteriori 12 TWh.

Per le proiezioni fino al 2030, il potenziale realistico installabile in Italia secondo la **Commissione Nazionale per l'Energia Solare è espresso, in tabella 2**, in considerazione delle diverse tipologie di uso del suolo.

Tabella 2 – Potenza totale installabile in MWp dal 2005 al 2030 in Italia

Tipologia di territorio	POTENZA INSTALLABILE [MWp]			
	2005	2015	2020	2030
Tessuto urbano continuo	2.090	3.440	5.620	9.720
Tessuto urbano discontinuo	2.670	4.400	7.180	12.430
Aree industriali o commerciali	290	900	1.520	2.710
Reti stradali e ferroviarie	7	20	40	70
Aree portuali	9	30	50	90
Seminativi in aree non irrigue	390	1.060	1.920	3.200
TOTALE POTENZA INSTALLABILE [MWp]	5500	9800	16.300	28.200

Fonte: CNES - Rapporto preliminare sullo stato attuale del solare fotovoltaico nazionale

In considerazione dell'esiguità della frazione della superficie che si è supposto destinare alla realizzazione di impianti fotovoltaici, risulta palese che la percentuale di territorio destinabile potrebbe essere ampliata, con un incremento di potenza cumulativa installata ed energia annua prodotta. Restano tuttavia aperte le complesse problematiche di carattere tecnico e normativo inerenti il trasporto e dispacciamento dell'energia fotovoltaica sulla rete nazionale di distribuzione, progettata, strumentata e gestita in funzione di un flusso unidirezionale di corrente elettrica (dal produttore al consumatore) ed attualmente inadatta ad accettare e gestire una percentuale rilevante di generazione distribuita con carattere di bidirezionalità.

Dati tecnico economici

La sostanziale riduzione del costo dell'energia prodotta costituisce la chiave di affermazione della tecnologia fotovoltaica.

Il costo d'investimento e la producibilità di un impianto sono, di fatto, i principali fattori nella determinazione del costo dell'energia elettrica prodotta: per la tecnologia fotovoltaica, questi, sono sensibilmente legati alle caratteristiche del materiale impiegato ed ai processi di fabbricazione del dispositivo.

Intervenire sul costo del kWh generato, perciò, significa diminuire la spesa di investimento dell'impianto abbattendo il costo di fabbricazione dei moduli ed aumentare l'efficienza di conversione, superando il limite di rendimento attuale dei moduli commerciali. Grazie allo sviluppo dell'automatizzazione della produzione di serie ed al miglioramento tecnologico, è previsto un forte incremento della penetrazione del fotovoltaico negli usi finali, attesa anche la diminuzione dei costi di produzione.

Nella *technology roadmap* dell'IEA si stima che entro il 2020 il costo dell'energia elettrica prodotta tramite tecnologia fotovoltaica diventerà competitivo con i prezzi di quella al dettaglio, iniziando da quei paesi dove vi è un buon livello d'insolazione e prezzi elevati dell'energia elettrica; bisognerà invece aspettare il decennio successivo per la competitività con il prezzo dell'elettricità all'ingrosso (figura 5). A dispetto dell'attuale sostanziale monopolio di mercato del silicio cristallino, l'evoluzione dei costi nel lungo termine sarà contraddistinta dai cambiamenti delle tecnologie di mercato a vantaggio di quote crescenti per le tecnologie del silicio amorfo e dei film sottili.

Attualmente i costi specifici delle forniture, variabili dai 5.000 euro/kW dei grandi impianti agli oltre 6.500 euro/kW per impianti di piccola taglia in copertura di edifici, renderebbero la tecnologia fotovoltaica non competitiva se esclusa dalla copertura finanziaria dell'incentivazione pubblica sulla produzione.

Previsioni dell'andamento del costo capitale, esercizio e manutenzione (O&M) e aspettativa di vita degli impianti, sono espresse dal CESI Ricerche e mostrate in tabella 3, rispettivamente per tipologie di integrazione su tetto o per grandi centrali a terra.

Figura 5 – Sviluppo del mercato fotovoltaico e livelli di competitività

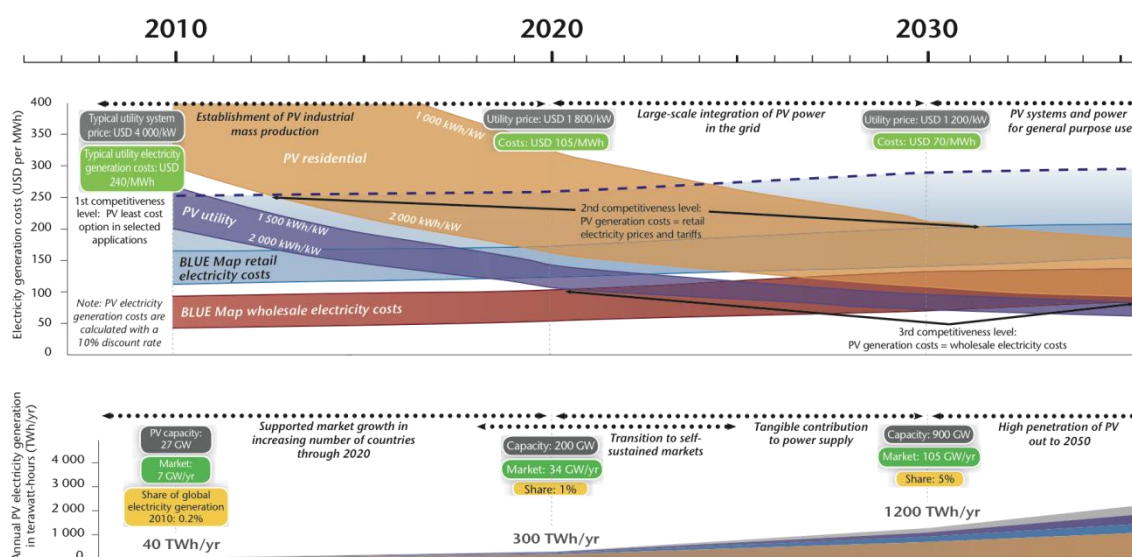


Tabella 3 – Caratteristiche e stima dei costi associati alle tecnologie fotovoltaiche in Italia

	Anno	Costo capitale	O&M	Vita	Ore/anno	Costo energia
<i>Fonte</i>		<i>M€/MW</i>	<i>k€/MWanno</i>	<i>Anni</i>	<i>heq</i>	<i>€/MWh</i>
Fotovoltaico tetti	2007	6	50	25	900-1400	508-790
	2015	4	20	25	900-1400	329-512
	2022	2,8	20	30	900-1400	226-352
Fotovoltaico impianti multimegawatt	2007	5	50	25	900-1400	429-668
	2015	3,3	20	25	900-1400	274-426
	2022	2,4	20	30	900-1400	196-305

Fonte: CESI Ricerca

Nelle applicazioni in connessione alla rete, il costo del modulo incide tipicamente per circa la metà del costo dell'intero impianto installato. Nei sistemi integrati negli edifici, invece, il costo del modulo pesa per circa 2/3. La quota restante di costo degli impianti è occupata dal Balance Of System - BOS, cioè dagli altri componenti di sistema, come l'elettronica di condizionamento e controllo della potenza elettrica, i dispositivi di protezione e d'interfacciamento alla rete e le strutture di supporto del modulo.

Essendo il BOS essenzialmente costituito da componenti di tecnologia matura e considerato che i costi di gestione e manutenzione sono bassi, la diminuzione del costo del kWh prodotto può essere conseguita principalmente attraverso la riduzione del costo del dispositivo fotovoltaico, che è sistematicamente e apprezzabilmente diminuito nel tempo.

Attualmente, il costo dei moduli fotovoltaici standard è pari a circa 3 euro/Wp e si ritiene che sia destinato a diminuire sensibilmente nei prossimi anni, fino a raggiungere un valore prossimo a 0,5 euro/Wp dopo il 2020. Per raggiungere una penetrazione massiccia del fotovoltaico sul mercato, i costi di investimento totali dei sistemi connessi alla rete dovrebbero scendere intorno ai 1000 euro/kWp.

Il costo medio di fornitura e installazione chiavi in mano è invece compreso tra 6 e 8 euro/Wp nel caso dei sistemi collegati alla rete (fortemente variabile con il tipo di integrazione architettonica effettuata sugli edifici). I sistemi stand-alone sono più costosi a causa del sistema di accumulo elettrico che, peraltro, comporta spese di manutenzione non del tutto trascurabili.

Per i soli impianti connessi in rete, attualmente, con il supporto degli incentivi nazionali ventennali sulla produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare, si è favorita in modo determinante la penetrazione della tecnologia fotovoltaica in Italia. È auspicabile che l'elevato costo complessivo sostenuto dalla collettività, possa incrementare lo sviluppo di una forte industria nazionale dei settori tecnologici per il fotovoltaico.