

# Prospettive Reali per un Utilizzo su Larga Scala dell'Energia Fotovoltaica

V. Romanello, F. Andreoli

Atomi per la Pace

[www.atomiperlapace.it](http://www.atomiperlapace.it)

Novembre 2017

L'idea di poter disporre di energia abbondante, gratuita, pulita ed immune da monopoli di sorta è certamente accattivante in un mondo che, alla data attuale, conta una popolazione mondiale che ha superato i 7 miliardi e mezzo di individui, che nell'ultimo anno è cresciuta di oltre 61,5 milioni di unità (*si pensi per confronto che nel 2017 la popolazione italiana si è attestata a poco meno di 59 milioni e 800 mila abitanti*), oltre 731 milioni e mezzo di denutriti (di cui, per fame, ne muoiono più di 30 mila al giorno!) [1]. Nella giornata di oggi l'umanità ha consumato oltre 388 milioni di MWh (*1 MWh – Mega-watt-ora, pari a 1000 chilo-watt-ora - rappresenta grosso modo il consumo di 200 famiglie italiane nell'arco di un anno*), di cui l'84% da fonti non rinnovabili. Il sole invece, ha erogato sulla Terra oltre 2900 miliardi di MWh. Ma in che modo allora possiamo sfruttare questa immensa quantità di energia che la nostra stella ci fornisce generosamente da milioni di anni, al netto delle ideologie e delle prese di posizione acritiche che, purtroppo, condizionano pesantemente il dibattito sull'argomento?

## Lo spettro solare e l'irraggiamento al suolo

Il sole, la stella al centro del nostro sistema solare che dista dal nostro pianeta circa 150 milioni di chilometri (la luce ci mette 8 minuti e 19 secondi a coprire questa distanza), è 1 milione e 300 mila volte più grande della Terra e splende da circa 4,6 miliardi di anni (secondo le stime lo farà per un altrettanto periodo di tempo prima di diventare una *gigante rossa*, trovandosi al momento circa a metà vita). La superficie del sole presenta una temperatura di 5780 gradi kelvin (ovvero circa 5500 gradi centigradi), irradiando verso la Terra 1367 W/m<sup>2</sup> (watt per metro quadrato, quantità detta *costante solare* – con fluttuazioni del 6,9% durante l'anno), di cui però ne arrivano a terra meno a causa degli assorbimenti in atmosfera (Fig.1). Dei raggi che raggiungono il suolo circa il 5% è costituito da ultravioletti (al 98% di tipo UV-A), il 39% da luce visibile ed il 56% da radiazione infrarossa (Fig.2).

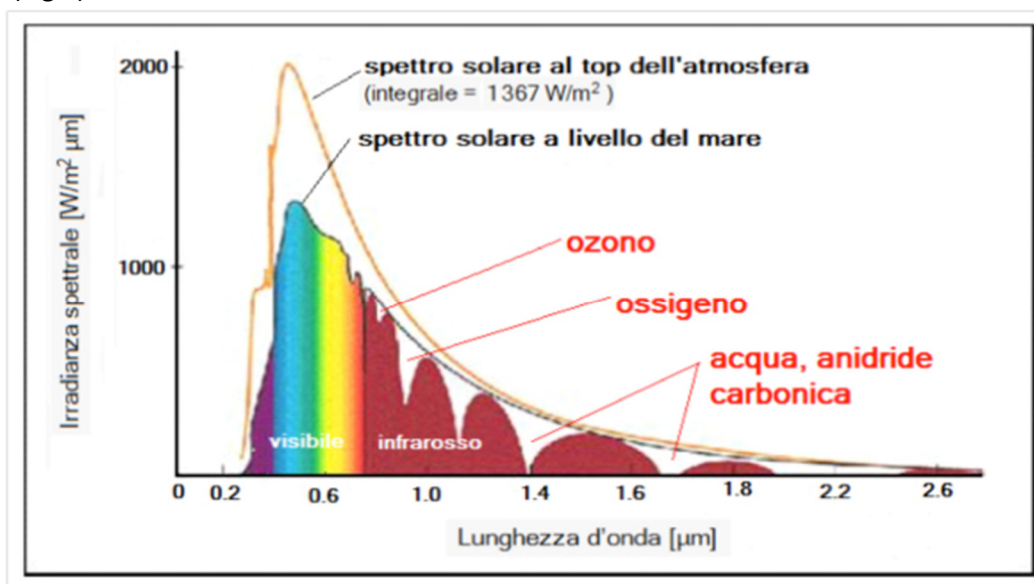


Fig.1 - Spettro dell'irradianza solare in funzione della lunghezza d'onda [2]

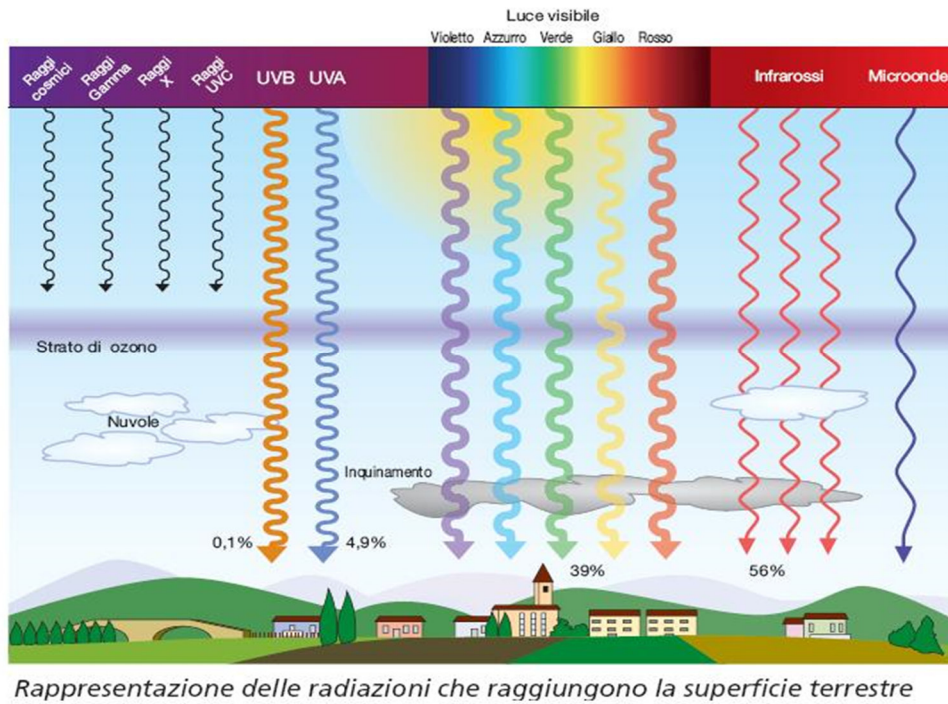
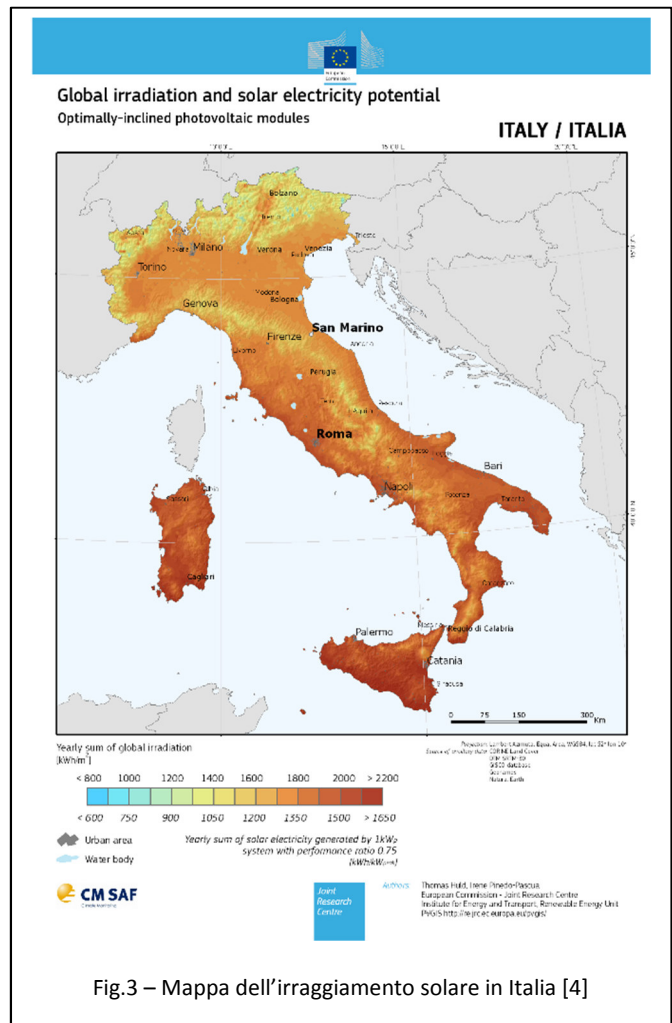


Fig.2 – Ripartizione dell’energia irradiata dallo spettro solare che giunge al suolo [3]: lo spettro visibile costituisce solo il 39 % del totale

Naturalmente, la quantità di energia che effettivamente raggiunge il suolo dipende sensibilmente dalla posizione geografica della località in oggetto, ed è anche fortemente variabile durante l’anno. La massima radiazione solare che giunge al suolo, in assenza di nubi, equivale circa a  $950 \text{ W/m}^2$ , cui va aggiunta la componente diffusa. In Fig.3 è riportata la mappa dell’irraggiamento solare annuo nel nostro Paese e del massimo quantitativo di energia ottenibile con pannelli inclinati in maniera ottimale.

### Principi di funzionamento di un modulo fotovoltaico

I moduli fotovoltaici basano il loro principio di funzionamento sull’*effetto fotovoltaico*, osservato per la prima volta nel 1838 da Alexandre Edmond Becquerel, ed interpretato nel 1905 da Albert Einstein (che per questo vinse il premio Nobel nel 1921). In buona sostanza, questo effetto porta alcune superfici solide irraggiate da quanti di luce (fotoni) a generare una corrente elettrica: questo accade perché i fotoni della radiazione elettromagnetica incidente possono cedere la propria energia agli elettroni delle bande di valenza e farli transitare nelle bande di conduzione del materiale.



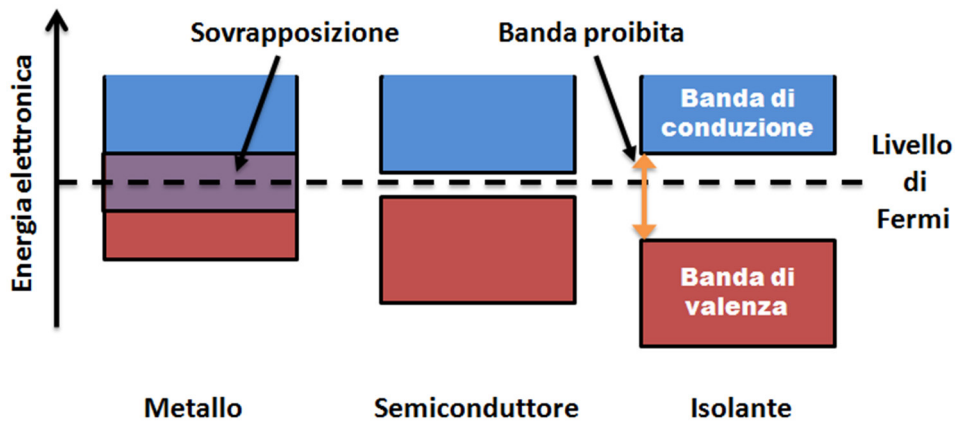


Fig.4 – Illustrazione delle bande di conduzione nei vari materiali: nel metallo le due bande si sovrappongono, nel semiconduttore sono poco distanziate (circa 1 eV – elettron-volt) e nell'isolante sono molto distanziate (circa 6 eV)

Non tutta la radiazione incidente può però essere utilizzata, in quanto una sua porzione, in particolare nella zona dell'infrarosso, non ha energia sufficiente per liberare gli elettroni di valenza. Per contro, la parte di spettro a più elevata energia tende ad interagire con gli strati elettronici più interni degli atomi, senza dare contributi alla conduzione elettrica.

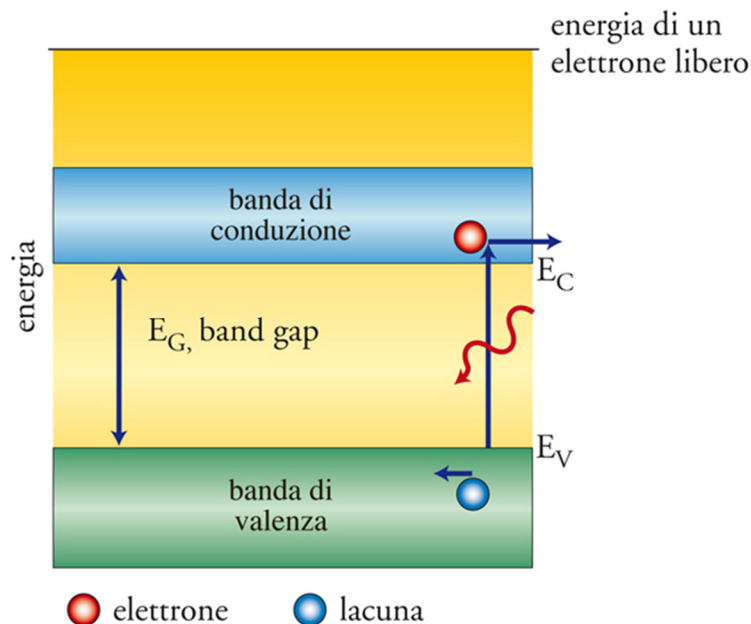


Fig.5 – Principio di funzionamento dell'effetto fotovoltaico [5]: un fotone incidente, cedendo la propria energia, può portare un elettrone dalla banda di valenza a quella di conduzione, ma per far questo deve possedere l'energia definita da un intervallo preciso

L'efficienza di una cella solare non può mai essere pari al 100%: la massima efficienza teorica di conversione di una cella solare che utilizzi una giunzione di silicio di tipo p-n, stando al limite di Shockley-Queisser, è pari al 33,7% (anche se in condizioni del tutto ideali e teoriche si potrebbero raggiungere limiti ben superiori – ma si tratta di pura teoria allo stato attuale).

L'energia necessaria per eseguire questo "salto quantico" come sopra scritto, deve necessariamente ricadere in un determinato intervallo per essere efficace e permettere il movimento dell'elettrone, e quindi la generazione di energia elettrica. Questo intervallo è preciso e ben definito per ogni materiale: nel silicio ad esempio, materiale di cui sono composti la maggioranza dei moduli, è pari a 1,1 eV (elettron-volt – unità di misura dell'energia, usata in ambito atomico e subatomico, pari all'energia che acquista un elettrone che si muova nel vuoto fra due punti fra i quali sussiste una differenza di potenziale di 1 volt). Tutti i fotoni in arrivo

hanno diverse energie: nello spettro visibile si va da poco più di 1,5 eV per il rosso sino a poco meno di 3,5 eV per il violetto (Fig.6).

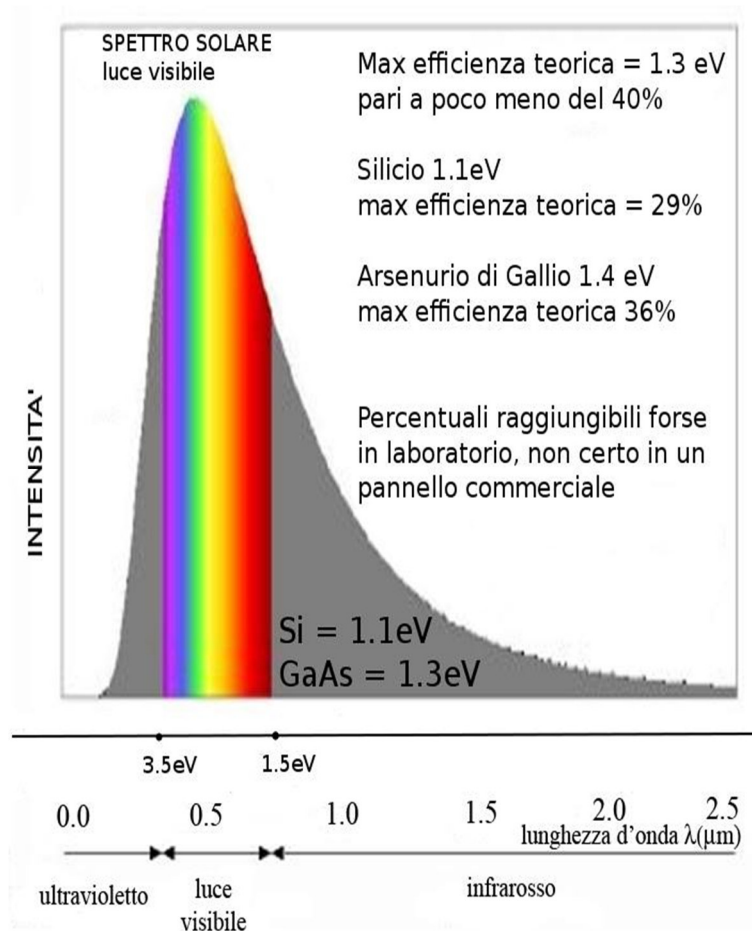


Figura 6 - Spettro solare e gap energetico dei fotoni

Ogni fotone ad energia inferiore a 1,1 eV (nell'infrarosso) non può far muovere l'elettrone e genera solo calore, mentre tutti quelli che hanno energia pari o superiore a quel valore, una volta ceduto il fatidico 1,1 eV, convertono l'energia in calore non andando ad influenzare minimamente il numero di elettroni che conducono energia, bensì facendoli diminuire.

La migliore cella di laboratorio realizzata finora su silicio monocristallino presenta un'efficienza del 24,7% contro un valore di poco superiore al 20% per la cella al silicio multicristallino, mentre i migliori dispositivi commerciali hanno valori di efficienza dell'ordine del 20%. I valori medi di efficienza delle celle commerciali più diffuse sono invece ancora inferiori (14÷16%). Si ritiene comunque che il limite praticamente ottenibile per le celle solari al silicio sia intorno al 26% [5].

Il silicio utilizzato come materiale attivo per la realizzazione di celle solari è in generale in forma di sottili fette (o wafer), con spessore intorno a 300  $\mu\text{m}$  (micron, millesimi di millimetro) e superficie di 100÷400  $\text{cm}^2$ .

In Fig. 7 troviamo le caratteristiche tecniche di un pannello fotovoltaico "Aleo S19" di produzione tedesca: un impianto con questo tipo di pannello, onnicomprensivo di installazione e pratiche burocratiche, dal preventivo in nostro possesso in data odierna ha un prezzo minimo di 2.300 € per kWp (kW di picco) installato con l'esclusione di tipologie "complicate" di tetto.

## Solar module aleo S 19

Electrical data (STC)			S 19L295	S 19L300
Rated power	$P_{MPP}$	[W]	295	300
Rated voltage	$V_{MPP}$	[V]	31.3	31.2
Rated current	$I_{MPP}$	[A]	9.42	9.63
Open-circuit voltage	$V_{OC}$	[V]	39.3	39.4
Short-circuit current	$I_{SC}$	[A]	9.87	9.97
Efficiency	$\eta$	[%]	18.0	18.3

Electrical values measured under standard test conditions (STC): 1000 W/m<sup>2</sup>; 25 °C; AM 1.5

Electrical data (NOCT)			S 19L295	S 19L300
Power	$P_{MPP}$	[W]	215	219
Voltage	$V_{MPP}$	[V]	28.4	28.2
Current	$I_{MPP}$	[A]	7.59	7.76
Open-circuit voltage	$V_{OC}$	[V]	36.2	36.3
Short-circuit current	$I_{SC}$	[A]	7.99	8.07
Efficiency	$\eta$	[%]	16.4	16.7

Electrical values measured under nominal operating conditions of cells: 800 W/m<sup>2</sup>; 20 °C; AM 1.5; wind 1 m/s  
NOCT: 48 °C (nominal operating cell temperature)

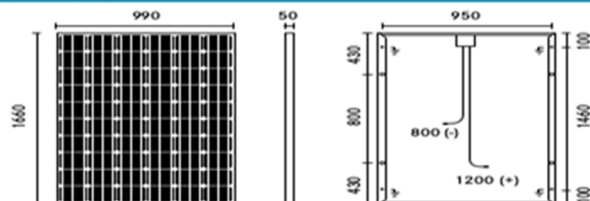
Additional electrical data		
Reduction of STC efficiency from 1000 W/m <sup>2</sup> to 200 W/m <sup>2</sup>	[%] rel.	0
Classification range (positive classification)	[W]	0/+4.99

Loads		
Max. module pressure load	[Pa]	5400
Max. module suction load	[Pa]	5400
Max. system voltage	[V <sub>OC</sub> ]	1000
Reverse current load	$I_{R}$ [A]	20
Mechanical load acc. to IEC/EN 61215		

Temperature coefficients		
Temperature coefficient $I_{SC}$	$\alpha (I_{SC})$ [%/K]	+0.05
Temperature coefficient $V_{OC}$	$\beta (V_{OC})$ [%/K]	-0.29
Temperature coefficient $P_{MPP}$	$\gamma (P_{MPP})$ [%/K]	-0.40

Measurement tolerance of  $P_{MPP}$  under STC -3/+3% | Accuracy of other electrical values -10/+10% | Efficiency relating to gross module area

### Dimensions [mm]



NOTE: Installation instructions must be followed | See the installation manual or contact aleo for further information on approved installation and use of this product | Detailed information about our warranties is available on our website | Subject to change without notice | Errors and omissions excepted | EN | EN | DE | 04/2015 | S19L53 295-300 W  
© aleo solar GmbH | Gewerbegebiet Nord | Marius-Eriksen-Strasse 1 | 17291 Prenzlau | Germany

Please contact your authorised aleo dealer

Figura 7 - Caratteristiche generali del modulo solare "Aleo s19"

Chiaro qui che il kWp è l'unità di misura che viene utilizzata per indicare la potenza istantanea erogata da un modulo fotovoltaico in condizioni standard, cioè con un irraggiamento di 1000 W/m<sup>2</sup>, una temperatura ambiente di 25 °C e la posizione del sole a 1,5 AM (cioè la posizione in cui il sole forma un angolo di 48° con lo zenith). Come definizione generale, il kilo-watt di picco è l'unità di misura della massima potenza teorica che può essere prodotta da un generatore elettrico.

In particolare è il caso di richiamare l'attenzione sul fatto che l'efficienza indicata in figura 7 è pari al 18% e che il coefficiente di temperatura è pari a -0,40, il che significa che:

- il 18% dei fotoni che colpiscono il pannello in condizioni di picco STC (*Standard Test Condition*), alla temperatura di 25 gradi centigradi, si converte in energia elettrica;
- $P_{mpp}$ : questo dato ci informa che per ogni grado in più dei 25 gradi delle condizioni di STC, il rendimento del modulo calerà di un valore pari allo 0,4% della potenza erogata: questo significa ad esempio che se si ipotizza in estate una temperatura di equilibrio di 70 gradi centigradi, il pannello subirà un calo del rendimento pari a:  $(70-25) \times 0,4 = 18\%$  (portando quindi il rendimento del modulo a meno del 15%).

La variabilità della produzione fotovoltaica, sia rispetto ai vari mesi dell'anno che rispetto alle varie ore del giorno, rappresenta un altro aspetto non trascurabile e con un importante e potenziale impatto economico. In Fig.8 è riportata la produzione elettrica media mensile nei vari mesi dell'anno per un impianto solare da 3

$KW_p$  in silicio cristallino alla latitudine di Caltanissetta: si va dai 267 kWh di dicembre ai 498 di luglio (fra i due valori c'è un rapporto molto prossimo ad 1,9).

Ovviamente una variabilità notevole sussiste anche nell'arco della giornata e si può differenziare molto a seconda del mese: in Fig.9 è riportata l'irradianza alle varie ore del giorno nei mesi di luglio e dicembre (latitudine di Caltanissetta). Oltre al fatto che la produzione elettrica passa da un valore pari a zero ovviamente (di notte il fotovoltaico, evidentemente, non produce energia) fino ad un valore massimo a mezzogiorno, si deve tener conto anche della disparità della produzione di energia nei vari mesi (ad esempio, per avere la stessa potenza che a luglio produco alle 7 del mattino, a dicembre dovrò aspettare le 8 per disporre, sempre eventi meteorici permettendo).

Tutto questo, se confrontato col consumo orario riportato dai dati TERNA [6] (Fig.10), che indica un picco di consumo proprio in concomitanza delle 18 della sera, quando la produzione fotovoltaica è nulla o quasi (a seconda dei mesi), complica ulteriormente il quadro.

Purtroppo il solo dato sulla generazione di energia di per sé non è significativo, perché quello che conta è garantire anche l'erogazione di energia ad una certa potenza: questo è un concetto chiave, spesso richiamato anche dal Prof. F. Battaglia [7]. Il concetto lo si può chiarire facilmente con un semplice esempio: io posso generare 100 Wh (watt-ora) in vari modi: fornendo 1 W per 100 ore, oppure ad esempio 10 W per 10 ore. Nel primo caso ho energia per un tempo molto più lungo, ma non me ne faccio nulla, nel secondo caso posso accendere una lampadina LED per 10 ore. Noi sappiamo grosso modo cosa possiamo ricavare da un pannello solare in un anno, ma non sappiamo con quale efficienza l'energia erogata sarà resa disponibile (a meno di non disporre di adeguati sistemi di accumulo - costosi e complessi! - oppure usare la rete elettrica come deposito, spostando il problema altrove - ma può funzionare solo finché a beneficiarne sono la minoranza degli utenti elettrici).

Considerato che i consumi di una famiglia italiana di 3-4 persone, padre, madre e figli, si attestano perlomeno sui 7 kWh giornalieri (ricordiamo che per un solo ciclo di lavatrice servono 2 kWh, altrettanti ne servono per un'ora di stiratura o per passare l'aspirapolvere, idem per la lavastoviglie mentre il semplice asciugarsi i capelli dopo la doccia porta via 200 Wh - energia che un pannello solare produce in circa un'ora di funzionamento in condizioni di massima insolazione), si prenda in esame un impianto di tipo "stand-alone" della potenza di 3 kW per cui, se si usassero batterie da 12 volt, servirebbe capacità di accumulo di 1900 Ah [8], pari a 19 batterie al piombo da 100 Ah (ampere-ora - con un costo orientativo di 3800 € addizionali, peraltro con una loro vita utile e con i dovuti problemi di smaltimento - leggasi ulteriore consumo di energia - si ipotizza che l'intero parco di batterie vada sostituito almeno una volta durante la vita utile dell'impianto). Si consideri inoltre l'esigenza in questo caso di un regolatore di carica, necessario per mantenere sempre il corretto livello di carica delle batterie ed allungarne la vita (dal costo di circa 2000 €).

Abbiamo citato qui le batterie al piombo perché costituiscono una tecnologia di accumulo consolidata e probabilmente la più economica. Se immaginassimo di utilizzare delle batterie da 80 Ah, al costo di 70 euro cadauna: ebbene ad una tensione di 12 V (volt) essa potrà erogare 0,96 kWh teorici, ma considerando anche una resa dell'80%, i kWh erogati potranno essere 0,77. Si noti inoltre che mediamente dopo 300 cicli di scarica le batterie dovrebbero essere smaltite e sostituite (val la pena di ricordare peraltro che tali batterie presentano una autoscarica pari all'1% giornaliero anche se non utilizzate). Il tutto ad un prezzo di "stoccaggio" pari a 30 centesimi di euro per kWh (cui aggiungere ovviamente il prezzo dell'energia generata per via solare, già di per sé non certo economica, come si vedrà nelle prossime pagine).

Ovviamente l'alternativa sarebbe quella di affidarsi alla rete, spostando il problema della gestione della stessa ad altri: si consideri che una quota eccessiva di potenza variabile ne rende la gestione molto complessa e, oltre un certo valore, rende i blackout inevitabili (ancora una volta, il gioco funziona finché ad attuarlo sono una minoranza degli utenti, ma è del tutto impossibile pensare ad un impiego di massa a meno di non disporre di adeguati sistemi di accumulo dell'energia, per ora impensabili, specialmente a prezzi competitivi)!

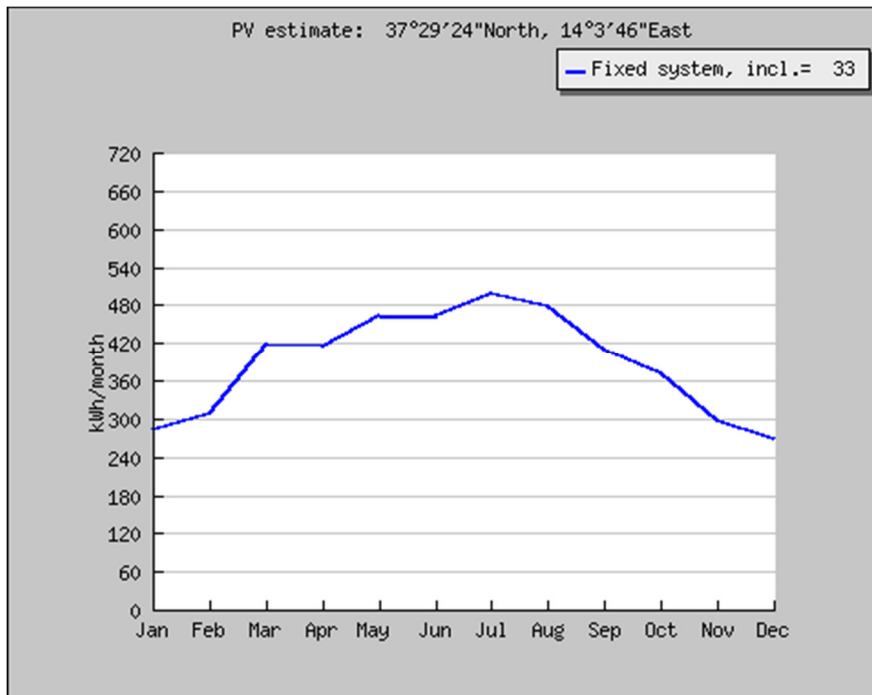


Fig.8 – Produzione elettrica mensile (in kWh) nei vari mesi alla latitudine di Caltanissetta con un impianto fotovoltaico da 3 kW<sub>p</sub>, a base di silicio cristallino e con inclinazione ottimizzata (in questo caso 33°) [8]

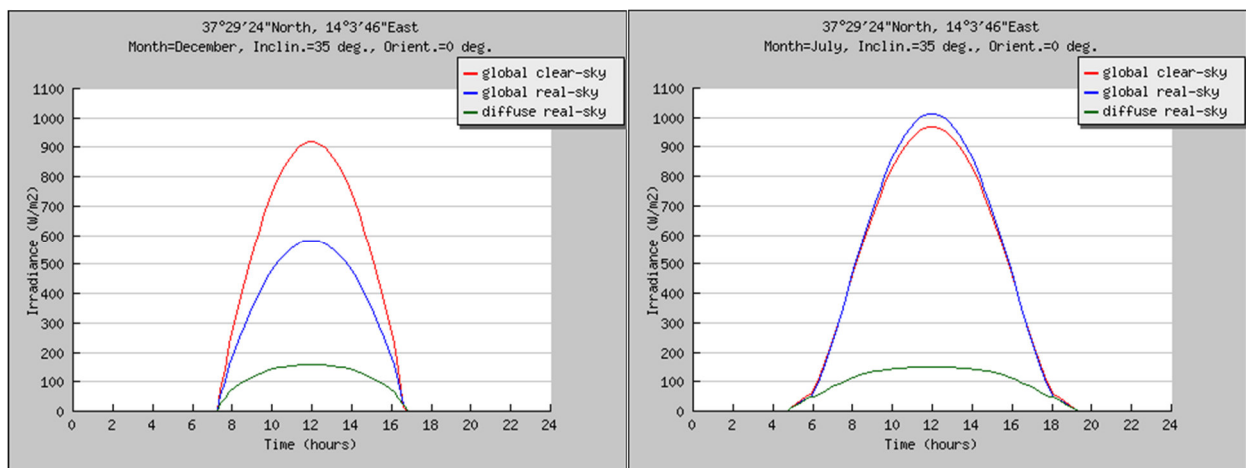


Fig.9 - Produzione elettrica giornaliera (in kWh) di dicembre (a sinistra) e luglio (a destra) alla latitudine di Caltanissetta con un impianto fotovoltaico da 3 kW<sub>p</sub>, a base di silicio cristallino [8]

ORA	CONSUNTIVO	PREVISIONE
01:00	31,368	31,913
02:00	29,321	29,748
03:00	28,216	28,428
04:00	28,076	28,108
05:00	28,279	28,255
06:00	30,205	30,450
07:00	36,200	35,926
08:00	43,246	43,400
09:00	47,645	48,290
10:00	49,332	49,904
11:00	48,583	49,443
12:00	48,190	49,049
13:00	45,524	45,810
14:00	45,048	45,174
15:00	46,485	47,119
16:00	47,483	47,993
17:00	49,358	49,115
18:00	51,771	52,064
19:00	50,563	50,940
20:00	48,994	49,655
21:00	46,253	47,321
22:00	43,124	43,820
23:00	38,702	39,317
24:00	34,787	35,367
<b>Totale:</b>	<b>996,753</b>	<b>1,006,609</b>

Elaborazione effettuata sulla base di dati di previsione di esercizio

Scostamento alla Potenza Massima :	-0.57%
Scostamento alla Potenza Minima :	-0.11%
Scostamento Assoluto Medio Potenza :	1.01%
Scostamento Energia :	-0.99%

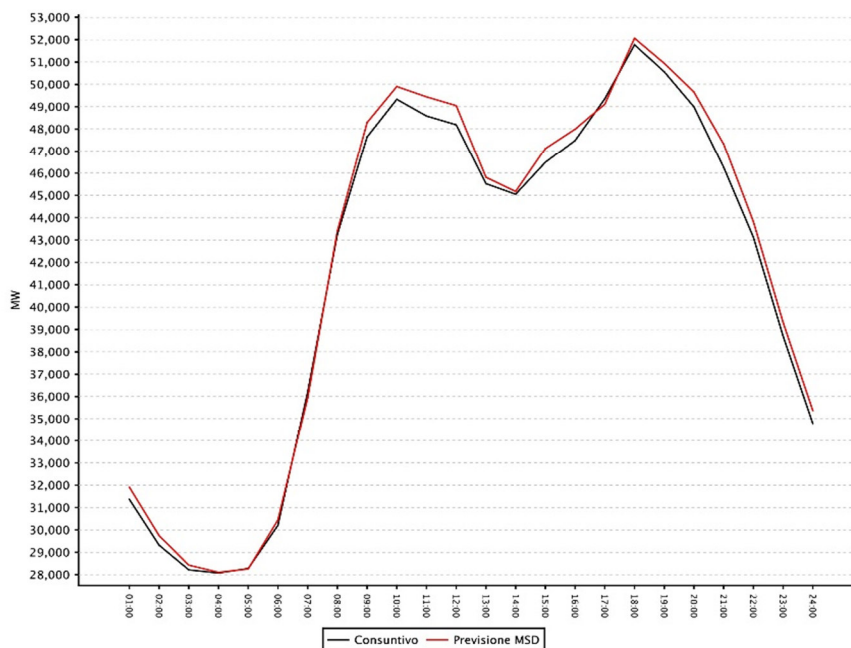


Fig.10 – Consumo giornaliero di energia in Italia registrato il 15 dicembre 2016 [6]

### Studio parametrico del costo effettivo dell'energia fotovoltaica

Calcoliamo adesso il costo effettivo di un kWh fotovoltaico, e per fare un ragionamento cautelativo immaginiamo di posizionarlo a Caltanissetta, nel cuore della Sicilia: difficilmente altrove in Italia si raggiungono livelli di insolazione maggiori.

Se consideriamo ad esempio dei pannelli come quelli in Fig.7, possiamo concludere che un pannello di 1,66 m x 0.99 m, quindi con una superficie di 1,64 m<sup>2</sup>, con un rendimento del 18%, genera una potenza di picco di 295 W (Fig.7). A quella latitudine un metro quadrato di pannello intercetta in un anno 2090 kWh [8], quindi il pannello verrà intercettato da 3428 kWh, che ad un rendimento del 18%, considerando ulteriori perdite del 25.4% ripartite come di seguito: perdite dovute ad alta temperatura e basso irraggiamento 11%, effetti di riflessione 2,6%, altre perdite (cavi, inverter, ecc.) 14%, portano ad una produzione elettrica annua di 460 kWh.

Se ci riferiamo ad un impianto da 3 kW<sub>p</sub> ed assumiamo un costo del pannello pari a 1 €/W<sub>p</sub> (IVA e trasporto inclusi), un costo di pulizia e manutenzione dei pannelli di 150 €/anno (Fig.11), un costo di progetto ed installazione delle strutture di supporto pari a 4600 €, il prezzo dell'inverter (da cambiare ogni 10 anni) di 1500 €, immaginando una vita dell'impianto di 25 anni, un costo di smaltimento pari a 10 € a m<sup>2</sup>, ne risulta considerando un interesse bancario del 3,5% un investimento iniziale di 9100 € che, attualizzato, fa quasi 25'000 euro, costi di manutenzione e assicurazione entrambi dell'ordine di 3750 euro e infine costi di smaltimento dell'ordine di 167 euro, per un totale di quasi 32'600 € (in 25 anni).

Quanta energia verrà prodotta, a fronte di questa spesa? Il calcolo è presto fatto: 3 kW<sub>p</sub> a Caltanissetta forniranno una media di 4670 kWh/anno, che in 25 anni fa 116'750 kWh. Ora il calcolo del costo del kWh fotovoltaico ottenuto per questa via è semplice: 32'600 € \* 100 c€/€ / 116'750 kWh = **27,9 c€/kWh** (centesimi di euro per chilowattora - Tab. 1). Nel caso in cui si voglia considerare un impianto "stand-alone", è necessario



considerare i costi aggiuntivi per gli accumulatori (si consideri in questo caso un costo di almeno 30-40 c€/kWh). Si tenga conto, a titolo di confronto, che nel 2017 per una utenza residenziale da 3 kW e per un consumo pari a 2700 kWh annue il prezzo dell'energia elettrica si è attestata a 19 c€/kWh: a questo prezzo per acquistare i 116'750 kWh citati poc'anzi si spenderebbero 22'182,5 €, ossia oltre 10 mila euro di meno.

Qualcuno potrebbe osservare che recentemente la tecnologia ha fatto passi da gigante nel campo delle batterie, e citare a titolo di esempio la Powerwall della Tesla, che si propone di accumulare efficacemente l'energia elettrica per fini domestici, o utilizzando in maniera vantaggiosa la doppia tariffazione (accumulando energia nelle fasce orarie economiche) oppure utilizzando l'energia solare. Ebbene, un recente studio dell'Institute for Energy Research (IER) [9] dimostra che il tempo di ritorno dell'investimento è pari a 38 anni, e che si riduce a 31 col solare, il tutto a fronte di una vita garantita della batteria di 10 anni! Del resto il conto può farlo facilmente ognuno da sé: dal sito italiano si evince un costo di circa 7000 € + almeno 1000 di installazione, a fronte di un consumo in 10 anni di 27'000 kWh di una famiglia, ossia un costo di immagazzinamento pari a quasi 35 centesimi a kWh (considerando un rendimento finanziario annuo anche solo del 2% - il prezzo finale dunque sarebbe simile a quello che si otterrebbe con gli accumulatori al piombo).



Fig. 11 – La corretta manutenzione dei moduli fotovoltaici, ed in particolare la loro periodica pulizia, può risultare determinante per uno sfruttamento adeguato delle potenzialità dell'impianto

Il calcolo non tiene conto del fatto che il pannello subirà una riduzione delle prestazioni negli anni (alzando ulteriormente il prezzo dell'energia prodotta).

### Il ruolo degli incentivi

Ovviamente questi costi si riferiscono al caso in cui non si fruisca di incentivi. Si consideri che in Italia si sono varati ben 5 Conti Energia, ognuno valido 20 anni e secondo le seguenti modalità: in una casa ci sono tre contatori, uno che misura l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, uno che misura l'energia immessa in rete ed uno che misura l'energia prelevata dalla rete (possibile anche avere un contatore bidirezionale unico – Fig.12). All'utente che usufruisce di questo piano viene rimborsata sia l'energia autoprodotta e consumata (*premio sull'autoconsumo*) sia quella prodotta in eccesso ed immessa in rete (*tariffa omnicomprensiva*). Per un impianto di taglia da 1 a 3 kW l'incentivo va da 0,4 a 0,49 centesimi di euro per kWh (a seconda della tipologia di impianto) – ottenuto dal prelievo dalle bollette elettriche degli utenti elettrici (quota A3 -

“promozione della produzione di energia da fonti rinnovabili e assimilate” - che contiene al suo interno infatti anche gli incentivi al fotovoltaico (pari al 55,7% della quota), e che pesa all’86,31% fra gli oneri di sistema, costituendo quasi il 10% del costo totale della bolletta). É stato calcolato che una famiglia di 4 persone che consumi 2700 kWh all’anno con una potenza di fornitura nominale di 3 kW, affronti una spesa annua di circa 516 €, di cui 43,07 € a titolo di incentivi al fotovoltaico [10].

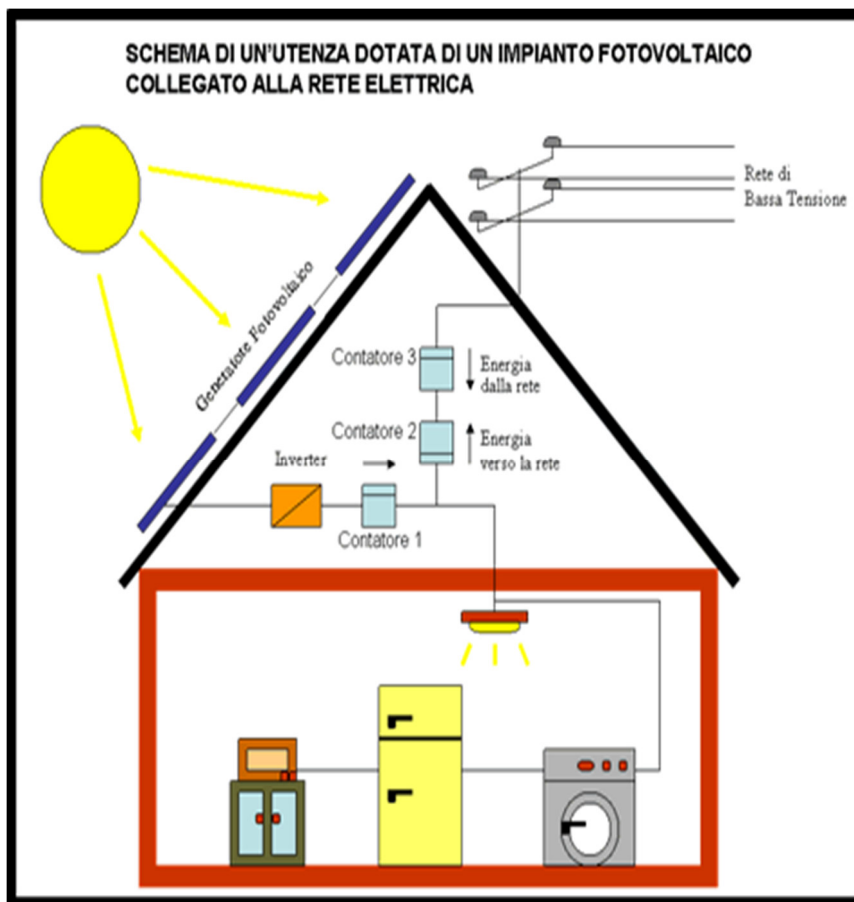


Fig.12 – Schema di funzionamento di un impianto fotovoltaico e suo meccanismo di incentivazione

Si tenga presente che l’Italia ha versato fino a 6,5 miliardi di euro all’anno in incentivi all’energia fotovoltaica (nel 2016 sono stati poco più di 6 miliardi – è ragionevole ipotizzare un esborso in 20 anni di almeno 120 miliardi di euro!): “Si tratta, probabilmente, del più grosso intervento di “politica industriale” realizzato dall’Italia negli ultimi tempi.”, e ancora “È una cifra enorme 6,5 miliardi all’anno. L’equivalente del costo di due nuove linee metropolitane di 50 km ogni anno. Di un treno veloce Napoli-Bari. Di un’autostrada nuova di 1.200 km, ogni anno. Con la stessa cifra si potrebbe garantire la vita degli 8 milioni di studenti d’Italia con la messa in sicurezza di tutte e 42mila scuole di ogni ordine e grado. Si potrebbero bonificare i 57 SIN, (siti d’interesse nazionale), aree contaminate a tal punto da mettere in pericolo persino la salute di quei 9 milioni di cittadini che ci vivono. Basterebbero appena due anni di incentivi per risolvere a livello nazionale il problema della gestione dei rifiuti e superare definitivamente il sistema delle discariche. Per tamponare le emergenze del dissesto idrogeologico lo Stato stanziava 2 miliardi in 10 anni (4.800 interventi inderogabili contro i 15mila previsti dal PAI). Gli incentivi al solare costano 3 volte di più in un decimo dell’arco temporale. Con 6,5 miliardi all’anno si potrebbero restaurare definitivamente Pompei, Ercolano, Paestum, la valle dei Templi, il Palatino, la Domus aurea, il Colosseo e altre centinaia di siti archeologici e musei che giacciono in condizioni precarie.” [11]. Il tutto per produrre nel 2016 un quantitativo di energia pari al 6,8% del fabbisogno nazionale, ovvero quasi la metà di quello che viene prodotto per via idroelettrica e meno di un ottavo di quello che viene prodotto con le fonti fossili (stando ai dati TERNA). Si può discutere a lungo sull’opportunità degli incentivi: per alcuni sono necessari per sostenere lo sviluppo di nuovi prodotti o tecnologie utili socialmente o per l’industria o l’ambiente, mentre altri ritengono siano distorsivi delle naturali dinamiche di mercato, favorendo

pericolose bolle speculative che, alla fine, lasciano dietro di sé fallimenti e disoccupazione. Al di là di come la si pensi, è ragionevole supporre che gli incentivi possano essere sensati in una fase iniziale per supportare una tecnologia nascente finché non cominci a camminare da sola, ma nel preciso momento in cui si trasformano in sostegno permanente a settori di per sé non produttivi, sarebbe più corretto parlare di sussidi piuttosto che di incentivi e, dal nostro punto di vista, questo non può essere vantaggioso per la società. Anche perché questo sistema può funzionare solo – e soltanto! – finché molti (per la precisione 29 milioni di utenti) pagano la bolletta (vedasi voce A3), non ricavandone nessun beneficio tangibile di fatto, mentre solo 470 mila impianti fotovoltaici ne beneficiano. Se ognuno si pagasse le proprie spese, come sarebbe se il solare si diffondesse come tecnologia su larga scala, i prezzi sarebbero quelli calcolati sopra – e allora forse non tutti sarebbero tanto “entusiasti”. Ovvio che per ognuno di noi è conveniente pasteggiare a caviale e champagne ogni mattina, se il conto poi ce lo pagano gli altri! Possiamo agevolmente ipotizzare, come dicevamo, un esborso in 20 anni pari a 120 miliardi di euro (a fondo perduto) – una somma enorme che più che incentivo andrebbe chiamata sussidio (peraltro economicamente irrazionale se non addirittura deleterio, distorcendo in maniera innaturale il mercato), e che basterebbe ad installare almeno 28 unità nucleari da 1000 MW elettrici ognuna di tipo AP-1000 (considerando un costo di installazione di 5000 €/kW, ovvero quasi 6000 \$/kW), pari al 24% della potenza totale installata e sufficiente a coprire il carico di base (dell’ordine di 30’000 MW) del nostro Paese (cioè quella richiesta di potenza costante a qualsiasi ora – vedasi il grafico in Fig.10).

### **I rischi (poco conosciuti) connessi ad una installazione fotovoltaica**

Forse non tutti sanno che gli impianti fotovoltaici sono soggetti a seri rischi di incendio: nel 2011 gli interventi dei vigili del fuoco su impianti di questo tipo sono stati ben 298 [12], mentre nel 2016 sono stati 375 [13] (Fig.13). A essere colpiti sono state abitazioni, fabbriche, industrie, campi e allevamenti. Gli impianti fotovoltaici sono impianti di generazione di potenza a tutti gli effetti: per tale motivo una puntuale e attenta manutenzione degli stessi assume una importanza decisiva (Fig.11). Ovviamente la manutenzione ha un costo, che talora i proprietari (ed in qualche caso anche gli installatori) tendono a sottovalutare, evitando di installare quei componenti che avrebbero garantito maggiore sicurezza ma che non erano prescritti per legge. I proprietari dovrebbero venire adeguatamente istruiti sui pericoli e sui rimedi, cosa che non sempre accade: si riportano casi in cui l’incendio del modulo ha avuto luogo perché non si è proceduto con una adeguata pulizia di foglie e sporcizia, anche se la causa più frequente pare sia dovuta alle connessioni allentate (le viti andrebbero periodicamente serrate per evitare che da lì scocchino scintille) [14]. Gli esperti raccomandano quindi perlomeno un controllo accurato all’anno, da effettuare visivamente e con tecniche termografiche: l’esame deve essere fatto da personale competente e può risultare costoso, ma risulta indispensabile. L’insacco di un incendio può avvenire comunque in vari modi: fenomeni di “hot spot” (se due stringhe parallele di celle non sono soggette alla stessa tensione ai capi, la corrente che si genera può provocare un surriscaldamento localizzato chiamato “hot spot”), magari per errata manutenzione, perdita di isolamento con conseguente formazione di arco elettrico fra celle (che può durare anche diversi minuti ed arrivare a forare una lamiera zincata ed innescare un incendio dei materiali sottostanti), ecc. Bisogna poi considerare come la natura dei pannelli possa influenzare lo scenario incidentale in caso di incendio: quelli in silicio non danno particolari problemi, ma quelli all’arseniuro di gallio o al tellururo di cadmio possono rilasciare fumi tossici. Peraltro le operazioni di spegnimento degli incendi in questi casi possono non essere del tutto agevoli per le squadre di soccorso, considerando che i pannelli fotovoltaici continueranno ad essere in tensione e produrre energia fintantoché verranno colpiti dalla radiazione solare e che l’incendio che si sviluppa è di classe “E” e non si può usare acqua, bensì estintori a polvere o CO<sub>2</sub>. Un fatto da considerare con cura peraltro è che se non si fanno le dovute manutenzioni, le compagnie assicurative non pagano i danni: normalmente non si registrano danni a persone, ma i danni materiali possono essere piuttosto ingenti.



Fig. 13 – Esempi di incendi di pannelli fotovoltaici

### Quanto i pannelli fotovoltaici sono davvero “verdi”?

La maggioranza dei pannelli fotovoltaici utilizza il silicio, elemento largamente abbondante e diffuso sulla crosta terrestre. Tuttavia, il silicio non lo si trova allo stato puro in natura, bensì sotto forma di biossido (la comune sabbia): per estrarne il silicio di classe cosiddetta metallurgica, ossia puro al 98%, si ricorre alla sua riduzione in forni ad arco elettrico con elettrodi di carbonio, a temperature dell'ordine di 2000 °C. Per far funzionare tali fornaci sono richiesti consistenti quantitativi di energia elettrica (circa il 30% del costo in Europa deriva dai costi dell'energia elettrica spesa): negli USA ed in Germania i produttori usano energia da fonte nucleare e/o a carbone (per cui qualcuno osserva che un briciolo di uranio lo si può trovare in ogni pannello solare) [15].

Non basta: per ottenere un silicio di grado solare, il silicio di grado metallurgico va ulteriormente raffinato (fino al 99,999%) e l'80% della produzione avviene col processo Siemens, processo che implica l'uso di triclorosilano (prodotto estremamente corrosivo, infiammabile e pericoloso per il sistema respiratorio) ed acido cloridrico – si stima un uso 3,5 kg di acido concentrato per metro quadrato di pannelli (si ha notizia di industrie cinesi che hanno semplicemente interrato il triclorosilano nelle campagne, con effetti ambientali assolutamente avversi [15, 16]). In seguito i wafer policristallini vengono incisi con acido nitrico e fluoridrico, mentre quelli monocristallini con idrossidi di sodio e potassio. I liquidi di scarto vanno trattati prima di venire rilasciati nell'ambiente, ovvero neutralizzati e filtrati: tuttavia tracce di potassio rimangono, che nei corsi d'acqua poi finiscono per alimentare le alghe ed uccidere i pesci. L'alcol isopropilico (prodotto tossico) infine

viene usato come agente pulente. Il processo di costruzione di un pannello solare richiede circa 200 fasi (a partire dalle sabbie silicee), alcune delle quali coinvolgono tra l'altro l'uso di gas serra, come il trifluoruro di azoto (NF<sub>3</sub>), ben 17'200 volte più efficace della tanto vituperata anidride carbonica: si stima che le emissioni di questo gas siano aumentate in maniera assai considerevole a causa della produzione di pannelli solari, con un impatto sulla produzione di gas serra superiore al beneficio della mancata produzione di anidride carbonica dovuta agli stessi [17].

Un *rumor* diffuso infatti è quello secondo cui l'energia fotovoltaica ridurrebbe le emissioni di anidride carbonica in atmosfera: ebbene sarebbe il caso di ricordare che la Germania, da molti presa ad esempio, a fronte di una spesa di ben 189 miliardi di euro dal 2000 ad oggi in sostegno alle fonti rinnovabili, è ferma alle emissioni del 2009, anche grazie alla improvvida decisione di abbandonare la produzione di energia da fonte nucleare [18].

Diverse pubblicazioni scientifiche peraltro hanno iniziato a sollevare dei dubbi sostanziali sul fatto che le fonti rinnovabili possano sostituire efficacemente quelle fossili [19]. Al di là delle speculazioni infatti, l'esperienza operativa di 20 anni sembra indicare esattamente il contrario. Secondo il lavoro di Ferroni e Hopkirk [19] una stima realistica, basata su dati reali, della produttività dei pannelli solari in Svizzera si aggira sui 106 kWh<sub>e</sub>/anno (il pedice "e" sta per "elettrici") per metro quadrato, mentre la vita dei pannelli al momento si aggira intorno ai 17 anni (anche se con la tecnologia questo limite si può innalzare, ma questo è ancora da dimostrare). In sostanza l'articolo asserisce che in tutta la propria vita un pannello solare fornisce 2203 kWh<sub>e</sub>/m<sup>2</sup>, mentre per essere prodotto ne richiede 2664, ovvero un EROEI (Energy Return on Energy Invested, ossia energia resa per energia investita) pari a 0,82 (si ritiene che una fonte con un EROEI inferiore a 5 sia da considerare insostenibile, come suggerito da Murphy e Hall in un lavoro del 2011 [20]), cioè si dimostra che in Paesi con bassa insolazione, come la stessa Svizzera, occorre più energia per fabbricare, installare, operare e smantellare un pannello solare di tutta quella che verrà mai prodotta da quest'ultimo.

Se invece dei Paesi d'oltralpe si considerassero quelli con la massima insolazione in Europa, come la Sicilia appunto, la situazione cambierebbe, ma difficilmente si raggiungerebbe comunque un EROEI superiore ad 1,5 (quindi, in ogni caso, ben scarsamente conveniente).

Del resto già nel 1988, il Prof. Mario Silvestri nel suo bel saggio sull'energia [21] riportava che: *"...il sistema elettrosolare (esclusa ovviamente la parte convenzionale) gira su sé stesso, producendo energia per costruire il proprio successore e non rendendo disponibile neppure un chilowattora per usi esterni"*, e ancora, in merito alla potenzialità della fonte solare di farci risparmiare combustibile: *"È evidente che un po' di «risparmi energetici» di questo tipo ridurrebbero l'Italia a stracci in tempo assai breve."* Lasciamo al lettore il giudizio in merito a quanto profetiche siano state queste previsioni.

Se fino al 2010 peraltro la maggior parte delle industrie produttrici di pannelli si trovavano in Europa, ad oggi molte di queste sono fallite o in bancarotta, ed il 70% della produzione mondiale è cinese. Si noti altresì che a parità di energia prodotta, un impianto fotovoltaico deve avere una potenza installata 9,44 volte maggiore di quella di un impianto nucleare o a carbone – cioè per produrre l'energia di un impianto nucleare da 1'000 MW elettrici, bisogna installarne quasi 10'000 fotovoltaici, che occuperebbero 9 milioni di metri quadrati di soli moduli! - e che, sempre a parità di energia prodotta, l'energia fotovoltaica richiede un consumo di materiali 64 volte maggiore di quello di un impianto nucleare (basti pensare all'enorme consumo di alluminio richiesto da questa fonte, materiale prodotto con grande dispendio di energia, come rilevato anche da un articolo di *Scientific American* [22]).

A complicare il quadro generale dell'impatto ambientale dell'energia fotovoltaica, ci sono poi i rifiuti che verranno prodotti a fine vita: recentemente il ministro giapponese dell'ambiente ha lanciato un preciso allarme in merito alla crescente produzione di rifiuti fotovoltaici in Giappone, che potrebbe costituire un serio

problema nel prossimo futuro, non disponendo quel Paese di alcun chiaro piano per lo smaltimento. È stato valutato infatti che a parità di energia prodotta, il fotovoltaico produce un volume di rifiuti tossici 300 volte maggiore di quello prodotto da un impianto nucleare. Si aggiunga che in nazioni come la Cina, l'India o il Ghana (ma non solo, sono noti dei casi anche in alcune zone d'Italia), alcune comunità usano incendiare i rifiuti elettronici (di qualsiasi tipo) al fine di recuperare il rame ed altri elementi preziosi al fine di rivenderli: purtroppo questa pratica genera fumi tossici, cancerogeni e teratogeni (ovvero responsabili di anomalie e malformazioni negli embrioni) se inalati [23].

Si aggiunga poi che i lavoratori impiegati nell'industria solare ricevono una dose da radiazioni ionizzanti di gran lunga maggiore di quella relativa a qualsiasi altro settore, incluso quello nucleare. Un recente rapporto delle Nazioni Unite (UNSCEAR) sugli effetti delle radiazioni atomiche infatti recita: *“La dose collettiva di gran lunga superiore per unità di energia elettrica generata la si è riscontrata nel ciclo dell'energia solare, seguito da quello dell'energia eolica. La ragione risiede nel fatto che queste tecnologie richiedono grossi quantitativi di metalli delle terre rare, e l'estrazione da riserve a basso grado espone i lavoratori all'effetto dei radionuclidi naturali”* [24].

Se, per poter fornire al consumatore la necessaria disponibilità di energia per i suoi consumi, si pensasse di accumulare l'energia fotovoltaica in batterie al litio – oltre a considerarne i costi e la gestione assolutamente delicata – si deve ricordare che spesso un materiale base per la realizzazione dei catodi è il cobalto (LiCoO<sub>2</sub> (ossido di cobalto e litio), LiNiMnCoO<sub>2</sub> (ossido di nichel, manganese e cobalto), LiNiCoAlO<sub>2</sub> (ossido di nichel, cobalto ed alluminio)) [25], elemento estratto tipicamente da aziende cinesi nelle miniere del Congo (da dove ne viene estratto almeno il 50% del fabbisogno mondiale), da minatori che lavorano molto spesso in condizioni precarie ed inumane (inclusi i bambini) [26, 27]. Si stima, tra le altre cose, un minatore in Congo guadagni 2-3 dollari al giorno, e che siano coinvolti nel lavoro minorile 40 mila bambini: per chi volesse approfondire questo (triste quanto reale ed attuale) argomento si raccomanda di consultare il dettagliato documentario del Washington Post [28]. Le batterie al litio richiedono anche grandi quantitativi di grafite, che viene tipicamente estratta nel nord-est della Cina, con conseguenze ambientali tutt'altro che “verdi” (e questo solo grazie ai costi ridotti mantenuti – una tonnellata di grafite la si vende a soli 550 dollari – ma chi la lavora lo fa con mezzi precari e praticamente senza alcuna salvaguardia per l'ambiente e per i cittadini). Un report dettagliato dal titolo *“Nel tuo telefono, nella loro aria”* del Washington Post descrive la tragica situazione [29].

Per concludere, consideriamo che, anche tralasciando la questione della gestione della rete (che sarebbe impossibile senza mezzi adeguati di stoccaggio dell'energia prodotta), se si volesse coprire il fabbisogno italiano annuo di energia per via fotovoltaica (314,3 TWh – Tera-watt-ora, ossia milioni di MWh - nel 2016 secondo i dati TERNA), anche ipotizzando una produzione di 300 Wp per metro quadrato, bisognerebbe utilizzare circa 800 milioni di metri quadrati di pannelli, i quali dovrebbero essere puliti e mantenuti periodicamente per un funzionamento ottimale e dopo 20-25 anni andrebbero smaltiti. Considerando però anche lo spazio necessario fra i moduli, occorrerebbero almeno 2,4 miliardi di metri quadrati di spazio, ovvero un quadrato di lato pari a 49 chilometri – o, se si preferisce, ognuno degli 8057 comuni d'Italia dovrebbe allocare in media circa 30 ettari (cioè una superficie pari ad almeno una trentina di campi di calcio). Queste semplici considerazioni dovrebbero fornire una misura di quanto folle ed impraticabile sia questa proposta, e del fatto che ragionare di energia è una cosa seria e che richiede conoscenze specifiche – ma talora anche il semplice buon senso, assieme a pochi conti di una “buona massaia” basterebbero.

## Conclusioni

L'energia irradiata ogni giorno dal sole sulla Terra è certamente abbondante e se potesse essere imbrigliata opportunamente, probabilmente potrebbe soddisfare larga parte dei fabbisogni dell'umanità. Purtroppo, anche se l'energia che il sole ci manda "è gratis", come si continua a ripetere da più parti, raccoglierla ed accumularla per usarla quando e come serve, non lo è affatto – anzi nel presente lavoro si è dimostrato che può essere assai costoso ed inefficace. È noto infatti che perché una fonte di energia possa essere sfruttata con successo, questa deve essere concentrabile, frazionabile, accumulabile ed indirizzabile (come spiegato nel bel saggio di Giovanni Vitagliano [30]): purtroppo l'energia solare soddisfa poco o per niente questi requisiti. Questo nulla toglie al fatto che vale la pena continuare con la ricerca di tecnologie più efficaci per il suo sfruttamento, e che la fonte fotovoltaica probabilmente costituisce la scelta più logica in caso di comunità isolate dove l'allacciamento alla rete elettrica risulti difficoltoso e/o troppo oneroso. Vendere però l'opzione fotovoltaica come una alternativa (magari addirittura l'unica possibile) alle fonti tradizionali quali gas, idroelettrico, carbone o nucleare tuttavia è da considerarsi quantomeno ingenuo (per non dir peggio), data la natura intrinseca di questa fonte ed i suoi limiti fisici ed economici oggettivi. È verosimile pensare piuttosto che allo stato attuale delle tecnologie, una quota eccessiva di potenza variabile immessa in rete ne renda praticamente impossibile la gestione, con conseguente inevitabilità dei black-out. In poche parole, *"quella dell'energia dal sole è una grande, colossale, illusione!"* stando alle parole che il Prof. Franco Battaglia usa nel suo saggio [7]. Sarebbe di fondamentale importanza dunque che il dibattito sull'energia rimanesse scevro da condizionamenti ideologici e politici di sorta, e si muovesse secondo i binari della scienza e su basi oggettive. Appare evidente infatti che il successo della società futura, da qui a poche decadi, dipende in maniera critica dalle scelte che noi oggi decideremo di porre in essere: si tratta indiscutibilmente di una grossa responsabilità.

## Riferimenti

- [1] Worldometers - <http://www.worldometers.info/>
- [2] "Spettro (elettromagnetico) solare e assorbimento in atmosfera" – ENEA  
<http://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/radiazione-solare/qualcosa-da-sapere-sul-sole-1/spettro-elettromagnetico-solare-e-assorbimento-in-atmosfera>
- [3] "Lo spettro elettromagnetico e le finestre atmosferiche"  
[http://blogs.isidavinci.it/valeria\\_alessandro/2012/04/30/lo-spettro-elettromagnetico/](http://blogs.isidavinci.it/valeria_alessandro/2012/04/30/lo-spettro-elettromagnetico/)
- [4] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [5] Tecnologie fotovoltaiche – Treccani –  
[http://www.treccani.it/enciclopedia/tecnologie-fotovoltaiche\\_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/tecnologie-fotovoltaiche_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/)
- [6] TERNA – Rete Elettrica Nazionale  
<http://www.terna.it/it-it/sistemaelettrico/dispacciamento/datiesercizio/datigiornalieri/confronto.aspx>
- [7] "L'illusione dell'energia dal sole", Franco Battaglia – 21mo Secolo – ISBN 978-88-87731-34-7
- [8] PVGIS Photovoltaic Geographical Information System - <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [9] "How Long Does It Take to Pay Off a Tesla Powerwall?" – Institute for Energy Research (IER) –  
<http://instituteforenergyresearch.org/analysis/payback-on-teslas-powerwall-battery/>
- [10] "La bolletta elettrica italiana, quanto, cosa e perché paghiamo" – Energy Hunters -  
<http://www.energyhunters.it/content/la-bolletta-elettrica-italiana-quanto-cosa-e-perch%C3%A9-paghiamo>

- [11] “Chi ha ucciso le rinnovabili?” – C. Testa, G. Bettanini, P. Feletig
- [12] “Pannelli fotovoltaici e incendi: quali rischi?” – AGORAVOX - <http://www.agoravox.it/Pannelli-fotovoltaici-e-incendi.html>
- [13] “Pannelli fotovoltaici: cause di incendio e rischi in fase di estinzione” – Antincendio Italia - <http://antincendio-italia.it/pannelli-fotovoltaici-cause-e-rischi-in-fase-di-estinzione/>
- [14] “Pannelli fotovoltaici a rischio incendio. Tutto quello che non vi hanno mai detto” – Angela Puchetti - Business Insider - <https://it.businessinsider.com/pannelli-e-impianti-fotovoltaici-sono-a-rischio-incendio-tutto-quello-che-ce-da-sapere/>
- [15] “The trouble with silicon” – PV Magazine - [https://www.pv-magazine.com/magazine-archive/the-trouble-with-silicon\\_10001055/](https://www.pv-magazine.com/magazine-archive/the-trouble-with-silicon_10001055/)
- [16] “Chemistry for a sustainable world” - <https://greenchemistry.wordpress.com/http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421516301379>
- [17] “Solar Panels Increased Emissions Of A Gas 17,200 Times More Potent Than CO2”, Andrew Follet, The Daily Caller - <http://dailycaller.com/2017/03/01/solar-panels-increased-emissions-of-a-gas-17200-times-more-potent-than-co2/#ixzz4a7JY2v00>
- [18] “Germany’s Shift to Green Power Stalls, Despite Huge Investments” – Stanley Reed, Ottobre 2017 – The New York Times - <https://www.nytimes.com/2017/10/07/business/energy-environment/german-renewable-energy.html>
- [19] “Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation”, F. Ferroni, R.J. Hopkirk – Energy Policy 2016, p.336-344
- [20] “Energy return on investment, peak oil and the end of economic growth”, D.J.R. Murphy, C.A.S. Hall - Ann. N.Y. Acad. Sci. Spec. Issue Ecol. Econ., 1219 (2011), pp. 52-72
- [21] “Il futuro dell’energia”, Mario Silvestri – Bollati Boringhieri – ISBN 88-339-0451-2
- [22] “Renewable Energy's Hidden Costs” – John Matson, Scientific American 2013 – <https://www.scientificamerican.com/article/renewable-energys-hidden-costs/>
- [23] “Are we headed for a solar waste crisis?”, Jemin Desai, Mark Nelson – Environmental Progress – <http://environmentalprogress.org/big-news/2017/6/21/are-we-headed-for-a-solar-waste-crisis>
- [24] “Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation”, Sixty-third session (27 June-1 July 2016), Supplement No. 46 – [http://www.unscear.org/docs/GAreports/2016/A-71-46\\_e\\_V1604696.pdf](http://www.unscear.org/docs/GAreports/2016/A-71-46_e_V1604696.pdf)
- [25] “The High-power Lithium-ion” – Battery University – [http://batteryuniversity.com/learn/archive/the\\_high\\_power\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/archive/the_high_power_lithium_ion)
- [26] “Child miners aged four living a hell on Earth so YOU can drive an electric car: Awful human cost in squalid Congo cobalt mine that Michael Gove didn’t consider in his ‘clean’ energy crusade” – Barbara Jones – <http://www.dailymail.co.uk/news/article-4764208/Child-miners-aged-four-living-hell-Earth.html>
- [27] “Exposed: Child labour behind smart phone and electric car batteries” – Amnesty International – <https://www.amnesty.org/en/latest/news/2016/01/Child-labour-behind-smart-phone-and-electric-car-batteries/>
- [28] “The cobalt pipeline”, T.C. Frankel, M. R. Chavez, J. Ribas, The Washington Post – <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/congo-cobalt-mining-for-lithium-ion-battery/>
- [29] “In your phone, in their air - A trace of graphite is in consumer tech. In these Chinese villages, it’s everywhere.”, P. Whoriskey, M. R. Chavez, J. Ribas – The Washington Post



<https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/graphite-mining-pollution-in-china/>

[30] “Energia per tutti. Un'esposizione chiara per capire meglio l'energia” – Giovanni Vitagliano – 21mo Secolo

