



Un gigantesco progetto per sfruttare l'energia solare potrebbe dare agli Stati Uniti l'indipendenza dal petrolio estero e tagliare le emissioni di gas serra

di Ken Zweibel, James Mason e Vasilis Fthenakis

L' aumento continuo e inarrestabile del prezzo della benzina e del gasolio è una realtà che oggi colpisce anche gli Stati Uniti, la cui guerra in Medio Oriente è dovuta almeno in parte all'esigenza di proteggere gli interessi petroliferi all'estero. Poiché Cina, India e altre nazioni vanno aumentando rapidamente la loro domanda di combustibili fossili, in futuro la competizione per l'energia sia allargherà sempre più. Nel frattempo gli impianti che bruciano carbone, olio e gas naturale, con il traffico veicolare, continuano a immettere nell'atmosfera ogni anno milioni di tonnellate di sostanze inquinanti e di gas serra, compromettendo la salute del pianeta.

Scienziati, ingegneri, economisti e politici hanno avanzato numerose proposte per ridurre l'uso di combustibili fossili e le relative emissioni. Ma questi tentativi non sono sufficienti: gli Stati Uniti hanno bisogno di un piano di ampia portata per potersi affrancare dal petrolio importato. Le nostre ricerche ci hanno convinto che la risposta più logica sia un massiccio passaggio all'energia solare.

Il suo potenziale è evidente: l'energia della luce solare che investe la Terra in 40 minuti è pari al consumo mondiale di energia in un anno. In questo senso, gli Stati Uniti sono particolarmente fortunati: nel solo sud-ovest del paese ci sono circa 650.000 chilometri quadrati di territorio adatti alla costruzione di impianti solari, un'area che riceve più di 1,3 milioni di terawattora di radiazione solare all'anno. Convertirne in elettricità anche solo il 2,5 per cento significherebbe soddisfare il consumo di energia totale della nazione nel 2006.

Per passare all'energia solare, ampie aree del territorio statunitense dovrebbero essere coperte da pannelli fotovoltaici e pannelli per il solare termico. Inoltre bisognerebbe realizzare un'infrastruttura a corrente continua per distribuire quell'energia in modo efficiente in tutta la nazione.

La tecnologia è pronta. In queste pagine presentiamo un progetto di ampio respiro per lo sfruttamento di questa fonte rinnovabile che potrebbe fornire il 69 per cento dell'elettricità degli Stati Uniti e il 35 per cento della sua energia totale (inclusi i trasporti, quindi) entro il 2050. Secondo le nostre stime, questa energia potrebbe essere venduta agli utenti finali a prezzi paragonabili a quelli attuali, che sono di circa 6 centesimi al chilowattora. Sviluppando anche l'energia eolica, quella derivata dalle biomasse e quella geotermica, entro il 2100 le fonti rinnovabili potrebbero fornire il 100 per cento dell'elettricità degli Stati Uniti e il 90 per cento del fabbisogno energetico totale.

Per completare il piano entro il 2050, si dovrebbero investire più di 400 miliardi di dollari nei prossimi quarant'anni: un investimento cospicuo, ma che sarebbe più che compensato. Gli impianti solari consumano infatti una quantità di combustibili minima o nul-

IN SINTESI

- Una massiccia conversione degli impianti a carbone, petrolio, gas naturale e nucleare in impianti a energia solare potrebbe fornire il 69 per cento dell'elettricità e il 35 per cento dell'energia degli Stati Uniti entro il 2050.
- Il progetto richiede la realizzazione di una grande distesa di celle fotovoltaiche nel sud-ovest del paese. L'energia in più prodotta di giorno potrebbe essere immagazzinata in aria compressa in caverne sotterranee, disponibile per la notte.
- Sarà inoltre necessario costruire centrali solari a concentrazione, e una nuova infrastruttura a corrente continua per distribuire l'elettricità solare in tutto il paese.
- Ma il finanziamento del progetto richiede sovvenzioni per 420 miliardi di dollari tra il 2011 e il 2050.

la, risparmiando così, nel corso degli anni, miliardi e miliardi di dollari. L'infrastruttura sostituirebbe 300 grandi centrali a carbone e 300 impianti ancora più grandi a gas naturale, e tutti i combustibili che consumano. Non servirebbe più importare petrolio, riducendo quindi in modo sostanziale il deficit della bilancia commerciale degli Stati Uniti e facilitando la distensione in Medio Oriente e altrove.

Poiché le tecnologie solari producono un inquinamento quasi nullo, il piano ridurrebbe le emissioni di gas serra delle centrali di 1,7 miliardi di tonnellate all'anno, mentre la diffusione di veicoli ibridi ricaricabili collegandosi alla rete elettrica eviterebbe altri 1,9 miliardi di tonnellate dovute ai veicoli a benzina. Nel 2050, le emissioni di anidride carbonica degli Stati Uniti diminuirebbero del 62 per cento rispetto al 2005, rallentando significativamente il riscaldamento globale.

Gli impianti fotovoltaici

Negli ultimi anni il costo di produzione di celle e moduli fotovoltaici si è molto ridotto. Esistono diversi tipi di celle, ma i moduli meno costosi sono sottili pellicole in tellururo di cadmio. Per fornire elettricità a 6 centesimi di dollaro al chilowattora entro il 2020, i film sottili a tellururo di cadmio dovrebbero convertire energia con un'efficienza del 14 per cento e i sistemi dovrebbero essere installati a un dollaro e 20 centesimi per watt di capacità, ma i moduli attuali hanno un'efficienza del 10 per cento e un sistema installato costa circa 4 dollari per watt. Un progresso è indispensabile, ma la tecnologia sta avanzando velocemente: negli ultimi 12 mesi l'efficienza dei sistemi commerciali è salita dal 9 al 10 per cento. Inoltre, via via che i moduli migliorano, installare sul tetto pannelli fotovoltaici sarà sempre più conveniente, riducendo la domanda di elettricità durante il giorno.

Nel nostro progetto, entro il 2050 il fotovoltaico fornirà circa 3000 gigawatt, o miliardi di watt, di potenza, che richiedono l'installazione di circa 8000 chilometri quadrati di pannelli. Sembra un'area enorme, ma le installazioni già realizzate indicano che la superficie necessaria per ogni megawatt (milioni di watt, MW) di energia solare prodotta nel sud-ovest degli Stati Uniti è inferiore a quella necessaria per un impianto equivalente a carbone, tenuto conto anche delle miniere di estrazione. Gli studi del National Renewable Energy Laboratory indicano che nel sud-ovest c'è terreno a sufficienza, anche senza occupare aree di interesse ambientale, centri abitati o terreni difficili. La natura innocua degli impianti fotovoltaici, considerando anche il consumo di acqua nullo, ridurrebbe al minimo le preoccupazioni ambientali.

Jen Christiansen (grafico), Kenn Brown e Chris Wien/Mondolith Studios (illustrazione)

Stati Uniti, 2050 d.C.

L'energia solare fornisce...

69%
dell'elettricità

35%
dell'energia totale

Entro il 2050, grandi distese di celle fotovoltaiche nel sud-ovest del paese fornirebbero elettricità al posto delle centrali a combustibili fossili, promuovendo anche un'ampia diffusione di veicoli elettrici. L'energia in eccesso sarebbe immagazzinata sotto forma di aria compressa conservata in caverne sotterranee. L'elettricità sarebbe prodotta anche da grandi schiere di celle che concentrano la luce solare per riscaldare l'acqua, e sarebbe distribuita in tutta la nazione da nuove linee ad alta tensione in corrente continua. Le tecnologie e gli elementi critici per il successo di questo progetto sono elencati qui a lato, insieme alla data entro cui le tecnologie devono essere disponibili prima del 2050. Il piano abbatterebbe il consumo di combustibili fossili del paese e le relative emissioni di gas serra (*in basso*).

Le stime presentate presumono una crescita della domanda dell'uno per cento all'anno, e tengono conto solo dei miglioramenti nelle tecnologie solari che potrebbero essere raggiunti entro il 2020, senza ulteriori progressi oltre tale data.

TECNOLOGIA

FOTVOLTAICO

ENERGIA
IMMAGAZZINATA COME
ARIA COMPRESSA
(con elettricità
fotovoltaica)

ENERGIA SOLARE
A CONCENTRAZIONE

CORRENTE
CONTINUA

CONSUMO ANNUO DI COMBUSTIBILI DEGLI STATI UNITI

- 2007
- 2050 (secondo il piano energetico attuale)
- 2050 (secondo il grande piano solare)

PETROLIO

Miliardi di barili

10,9

2,7

GAS NATURALE

Migliaia di miliardi
di metri cubi

35,4

11,4

CARBONE

Miliardi di tonnellate

1,9

0,5

EMISSIONI DEGLI STATI UNITI

ANIDRIDE CARBONICA

Miliardi di tonnellate

9,4

2,3

	ELEMENTO CRITICO	2007	2050	PROGRESSI NECESSARI
	Area destinata	26 kmq	80.000 kmq	Politiche per lo sviluppo di grandi aree pubbliche
	Efficienza di conversione modulo a film sottile	10%	14%	Materiali più trasparenti per migliorare la trasmissione della luce; strati drogati più densi per aumentare la tensione; moduli più ampi per ridurre l'area inerte
	Costo d'installazione	4\$/W	1,20\$/W	Progressi nell'efficienza del modulo; progressi per la produzione su larga scala
	Prezzo dell'elettricità	0,16\$/kWh	0,05\$/kWh	Dipende dal costo d'installazione
	Capacità totale	0,5 GW	2940 GW	Piano nazionale per l'energia basato sull'energia solare
COME	Volume	0	15 miliardi di m ³	Sviluppo del etto in accordo con l'industria del gas naturale
	Costo d'installazione	5,80\$/W	3,90\$/W	Economie di scala; diminuzione dei prezzi dell'elettricità fotovoltaica
	Prezzo dell'elettricità	0,20\$/kWh	0,09\$/kWh	Dipende dall'abbassamento del costo d'installazione
	Capacità totale	0,1 GW	558 GW	Piano nazionale per l'energia
NE	Area destinata	26 kmq	40.000 kmq	Politiche per lo sviluppo di ampie aree pubbliche
	Efficienza di conversione	15%	17%	Fluidi che trasferiscono il calore in modo più efficiente
	Costo d'installazione	5,30\$/W	3,70\$/W	Sistemi di stoccaggio termico a serbatoio singolo; economie di scala
	Prezzo dell'elettricità	0,16\$/kWh	0,09\$/kWh	Dipende dall'abbassamento del costo d'installazione
	Capacità totale	0,5 GW	558 GW	Piano nazionale per l'energia
	Lunghezza	800 chilometri	da 160.000 a 800.000 chilometri	Nuova rete ad alta tensione dal sud-ovest al resto del paese



**Per il 2100
le fonti
rinnovabili
potrebbero
generare
il 100 per cento
dell'elettricità
e oltre il 90
per cento
dell'energia
degli Stati Uniti**

Il principale sviluppo necessario, quindi, è aumentare l'efficienza di conversione del modulo fino al 14 per cento, un obiettivo assolutamente praticabile. L'efficienza dei moduli commerciali non raggiungerà mai quella delle celle solari realizzate in laboratorio, ma le celle a tellururo di cadmio del National Renewable Energy Laboratory arrivano già al 16,5 per cento.

Caverne pressurizzate

Il grande limite dell'energia solare è che genera poca elettricità se il cielo è nuvoloso, e non ne genera affatto di notte. Pertanto durante le ore soleggiate va prodotta energia in più, da conservare per le ore notturne. Purtroppo la maggior parte dei sistemi di stoccaggio dell'energia, come le batterie, è costosa o inefficiente. Un'alternativa praticabile è l'immagazzinamento dell'energia mediante aria compressa: l'elettricità generata dagli impianti fotovoltaici comprime l'aria, pompandola in spazi sotterranei, come caverne o miniere abbandonate. L'aria compressa è rilasciata, a richiesta, per muovere una turbina che genera elettricità, con l'ausilio della combustione di piccole quantità di gas naturale. Le turbine bruciano solo il 40 per cento del gas naturale che consumerebbero senza l'ausilio dell'aria compressa, e la tecnologia di recupero del calore ridurrebbe la percentuale fino al 30 per cento.

Secondo studi dell'Electric Power Research Institute, il costo dell'immagazzinamento dell'ener-

gia sotto forma di aria compressa è circa la metà di quello delle batterie al piombo. Questi impianti aggiungerebbero due o tre centesimi per chilowattora alla generazione fotovoltaica, portando il costo totale, al 2020, a 8-9 centesimi per chilowattora.

L'elettricità prodotta dagli impianti fotovoltaici installati nel sud-ovest sarebbe inviata su linee di trasmissione ad alta tensione in corrente continua fino agli impianti di stoccaggio in aria compressa in tutto il paese. Le turbine potrebbero così generare elettricità dovunque e per tutto l'anno.

Il nocciolo del problema è trovare siti adeguati, ma una mappa realizzata dall'industria del gas naturale e dall'Electric Power Research Institute mostra che esistono formazioni geologiche adatte nel 75 per cento del territorio degli Stati Uniti, spesso relativamente vicine alle città. In effetti un sistema di stoccaggio dell'energia ad aria compressa sarebbe simile al sistema di distribuzione del gas naturale nazionale, che immagazzina 220 miliardi di metri cubi di gas in 400 serbatoi sotterranei. Entro il 2050, il nostro progetto richiederebbe solo circa 15 miliardi di metri cubi di capacità di stoccaggio, con aria in pressione a 75 atmosfere.

Sale rovente

Un'altra tecnologia in grado di fornire forse un quinto dell'energia solare nel nostro scenario è il cosiddetto solare termodinamico a concentrazione: lunghi specchi metallici concentrano la luce su una conduttura riempita di fluido, riscaldandola come

Il fotovoltaico

Nel 2050 grandi distese di pannelli fotovoltaici copriranno 78.000 chilometri quadrati di territorio altrimenti abbandonato nel sud-ovest degli Stati Uniti. Somiglierebbero all'impianto da 4,6 megawatt della Tucson Electric Power di Springerville, in Arizona, operativo dal 2000 (*a sinistra*). In questi impianti, le celle fotovoltaiche vengono interconnesse in un modulo, e i moduli sono cablati a formare una schiera (*a destra*). La corrente continua proveniente da ciascuna schiera fluisce verso un trasformatore che la invia alla rete attraverso linee ad alta tensione. In una cella a film sottile (*nel riquadro*), l'energia dei fotoni che arrivano si trasferisce agli elettroni liberi nello strato di tellururo di cadmio; questi superano la giunzione, e fluiscono verso lo strato conduttore superiore e poi attorno allo strato conduttore posteriore, generando un flusso di corrente.

farebbe un'enorme lente d'ingrandimento (si veda *Il Sole concentrato*, di Massimo Falchetta, Augusto Maccari e Mauro Vignolini, in «Le Scienze» n. 459, novembre 2006). Il fluido ad alta temperatura passa attraverso uno scambiatore di calore, producendo vapore che può far girare una turbina. Per immagazzinare l'energia, la conduttura percorre un enorme serbatoio isolato riempito di sali fusi, in grado di conservare il calore in modo efficiente. Il calore trasferito durante il giorno è estratto di notte, producendo vapore. Per quanto lentamente, però, i sali fusi si raffreddano, e l'energia immagazzinata dovrebbe essere utilizzata entro un giorno.

Negli Stati Uniti, nove impianti di energia solare concentrata con una capacità totale di 354 MW generano elettricità in modo affidabile già da anni, e un nuovo impianto da 64 MW è operativo dal 2007 in Nevada. Questi impianti, però, non hanno sistemi di conservazione del calore. La prima installazione commerciale che ne prevede uno è in via di costruzione in Spagna, e altre sono allo studio in tutto il mondo. Per il nostro progetto, occorrerebbe una capacità di stoccaggio di 16 ore, in modo da poter erogare elettricità sull'arco delle 24 ore.

Gli impianti esistenti dimostrano la validità del solare a concentrazione, ma i costi devono diminuire. A questo potranno contribuire le economie di scala e la ricerca: un rapporto del 2006 ha concluso che se fossero costruiti impianti per 4 GW di potenza il solare a concentrazione potrebbe fornire elettricità a 10 centesimi per kWh o meno entro il

Una risorsa abbondante

La radiazione solare non manca negli Stati Uniti, soprattutto negli stati del sud-ovest. I 120.000 chilometri quadrati di schiere di pannelli solari (cerchi bianchi) necessari per il grande piano solare potrebbero essere distribuiti in vari modi: un'opzione è quella mostrata nella mappa.

Radiazione totale media giornaliera (chilowattora per metro quadrato al giorno)



2015. L'efficienza operativa aumenterebbe anche se si trovasse un modo per aumentare la temperatura dei fluidi dello scambiatore di calore. Si sta cercando anche una strada per usare i sali fusi come fluidi di trasferimento del calore, consentendo a una centrale di operare con un solo scambiatore di calore invece di due, riducendo le perdite di calore e gli investimenti necessari. Alcuni sali, inoltre, sono corrosivi perciò occorrono tubature resistenti.

Il solare a concentrazione e il fotovoltaico rappresentano cammini tecnologici differenti. Nessuno dei due è pienamente sviluppato; per questo il nostro progetto contempla il loro impiego su lar-

VANTAGGI

- Taglio della dipendenza dalle importazioni di petrolio dal 60 per cento a zero
- Alleggerimento delle tensioni globali e calo dei costi militari
- Imponente riduzione del deficit della bilancia commerciale
- Abbattimento delle emissioni di gas serra
- Aumento dell'occupazione

Fonte per la mappa: National Renewable Energy Laboratory, Doni Foley (Illustrazione)

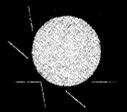
Schiera di celle fotovoltaiche

Elettricità immessa nella rete

Elemento di giunzione

Condizionatore e trasformatore di linea elettrica





Opzioni per il futuro energetico dell'Europa

La sfida imposta dai cambiamenti climatici sta provocando una revisione delle politiche energetiche di molti paesi, con un ruolo sempre più marcato delle fonti rinnovabili. E il nuovo trend viene registrato anche dagli osservatori più rigorosi. È interessante vedere, per esempio, come l'International Energy Agency (IEA), solitamente molto cauta nelle sue analisi, anno dopo anno abbia innalzato le valutazioni sulla possibile penetrazione delle rinnovabili e dell'efficienza energetica. Nello scenario «spinto» illustrato nell'ultimo *World Energy Outlook* si ipotizza che nel 2030 il 29 per cento della domanda elettrica possa venire coperta dalle fonti rinnovabili. Nell'ipotesi poi che si debba soddisfare il vincolo di concentrazione in atmosfera della CO₂ di 450 parti per milione, indicato nelle trattative internazionali sui cambiamenti climatici, l'IEA valuta una possibile copertura di elettricità verde del 40 per cento. Peraltro le rinnovabili stanno già vivendo un periodo di rapidissima evoluzione, con tassi di crescita del 30-50 per cento all'anno per eolico e fotovoltaico. Nell'ultimo decennio la potenza eolica installata è sempre risultata superiore all'incremento della potenza nucleare. Nel 2007 si sono aggiunti 20 gigawatt (GW), con una crescita record negli Stati Uniti, dove i 5,6 GW installati hanno rappresentato un terzo della nuova potenza elettrica. Gli scenari al 2020 indicano una possibile penetrazione eolica compresa tra 230 e 1070 GW in relazione alle politiche adottate, mentre per la metà del secolo si potrebbero avere 3000 GW con una copertura pari a un terzo della domanda elettrica mondiale. Ancora più impressionante la crescita della produzione di celle fotovoltaiche, che nel 2007 ha raggiunto i 3,8 GW (+50 per cento) con una progressione che, secondo l'autorevole rivista «Photon», dovrebbe portare a superare la soglia dei 20 gigawatt all'anno entro il 2011. Il rapporto *Solar Generation* predisposto nel 2007 dall'associazione di categoria del fotovoltaico, Epia, e da Greenpeace ipotizza uno scenario con 241 GW di picco di fotovoltaico al 2020 e una produzione pari a un quarto della domanda elettrica mondiale nel 2040. Nell'ultimo decennio l'Europa è stata il fulcro di questa accelerazione e si propone come riferimento anche per il prossimo, come dimostra l'attuale accesa discussione sulle modalità di raggiungimento dell'obiettivo di coprire il 20 per cento dei consumi con le rinnovabili entro il 2020. Una sfida che è destinata a rivoluzionare le strategie energetiche con uno spostamento di ingenti risorse economiche verso le fonti pulite. Basti pensare che per soddisfare questo impegno occorrerà triplicare la quota di energia verde (in soli 13 anni) e che un terzo dell'elettricità dovrà essere generato dalle rinnovabili.



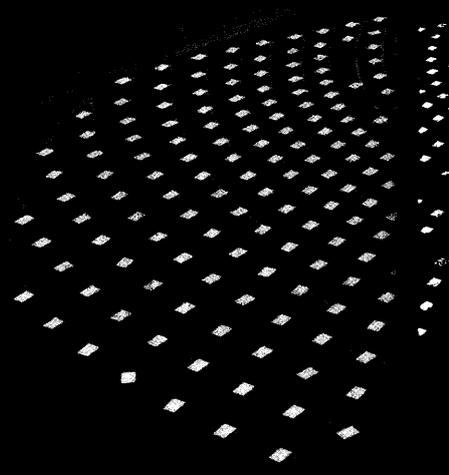
In prima linea nella corsa c'è la Germania, che nel 2007 è passata da 73 a 87 terawattora rinnovabili (dall'11,9 al 14,3 per cento dei consumi elettrici), riuscendo a creare un'industria con 235.000 addetti.

Ma su quali fonti potremo contare in Europa? Se fino al 2025-2030 il vento farà la parte del leone, nei decenni successivi saranno le tecnologie solari a imporsi.

Ma per garantire percentuali così elevate occorrerà affrontare il problema della gestione della rete. Se è vero infatti che già oggi in tre Länder tedeschi oltre il 30 per cento dei consumi è soddisfatto dal vento e che percentuali elevate si registrano anche in alcune regioni spagnole e in Danimarca, la gestione della domanda diventerà sempre più problematica in presenza di percentuali elevate di rinnovabili.

Per questo, sul lungo periodo si stanno immaginando soluzioni che svincolino la contemporaneità tra la generazione da fonti discontinue e i consumi. La produzione di idrogeno e la creazione di un'economia basata su questa risorsa risponde a questa esigenza.

Ma ci sono altre possibilità. Una delle soluzioni considerate, per esempio, è il solare a concentrazione, che può consentire di accumulare calore ad alta



L'Europa si candida a svolgere un ruolo di primo piano nella transizione alle fonti rinnovabili

temperatura e quindi di modulare la produzione in relazione alla domanda.

Dopo una lunga assenza dalla scena mondiale seguita all'exploit californiano della fine degli anni ottanta (354 MW con concentratori cilindro-parabolici), si assiste ora a un notevole risveglio anche in Europa, con la Spagna lanciata nella realizzazione di impianti per 500 MW e con progetti per 2000 MW. In Italia il progetto Archimede da 5 MW, sviluppato da ENEL in collaborazione con ENEA, prevede collettori a concentrazione integrati con una centrale a ciclo combinato esistente, che grazie all'uso di sali fusi dovrebbe consentire alte temperature e lo sfruttamento di accumulo termico.

Per sviluppare questa tecnologia solare occorre disporre di ampi spazi e di un'elevata insolazione diretta. Se negli Stati Uniti sono gli Stati del sud-ovest a garantire queste condizioni, l'Europa può contare su superfici molto più ridotte, prevalentemente in Italia e in Spagna. La sfida per ottenere grandi numeri con questa tecnologia è quindi rappresentata dai paesi del Nord Africa. Secondo uno studio commissionato dal Ministero dell'Ambiente tedesco, *Trans-Mediterranean Interconnection for Concentrating Solar Power*, a partire dal 2020 potrebbero essere trasferiti in Europa attraverso cavi ad alta tensione a corrente continua 60 terawattora all'anno per arrivare a 700 nel 2050. Per favorire le interconnessioni è allo studio la realizzazione dell'anello mediterraneo "Medring", che collegherà con linee ad altissima tensione a corrente continua i paesi del Sud del Mediterraneo con l'Europa.

Un'ulteriore spinta in questo senso viene dalla proposta di Direttiva della Commissione Europea sugli obiettivi verdi al 2020, resa pubblica lo scorso 23 gennaio. Vi si prevede infatti la possibilità di conteggiare nel raggiungimento dei target nazionali anche l'importazione di elettricità rinnovabile da paesi extraeuropei, un'opzione che favorirà un'accelerazione dell'interconnessione tra i Balcani, l'Africa e l'Europa continentale.

Insomma, le rinnovabili si apprestano ad avere un ruolo di primo piano nella fase di decarbonizzazione dei sistemi energetici che caratterizzerà i prossimi decenni, e l'Europa si candida ad avere un ruolo di primo piano in questa transizione.

Gianni Silvestrini è direttore scientifico del Kyoto Club

UN FUTURO TRA VENTO E SOLE.

Se fino a oggi è stata l'energia eolica a trainare il cammino delle rinnovabili, fotovoltaico e solare termodinamico (qui a fianco, una foto dell'impianto spagnolo di Santúcar la Mayor, presso Siviglia) sono le fonti candidate a guidare la transizione verso un domani senza combustibili fossili. Un'occasione per l'Europa, oggi leader nello sviluppo delle fonti rinnovabili.

AP Photo/Charlie Riedel, AP Photo/MBB/HO (pagina a fronte), AP Photo/Solar Systems, HO (scatto)

ga scala per il 2020, in modo da lasciare a entrambe le tecnologie il tempo di maturare. Via via che le installazioni si moltiplicheranno, sarà possibile valutare i pro e i contro sia dal punto di vista ingegneristico sia da quello economico.

Corrente sì, ma continua

Un sistema di produzione e distribuzione di energia solare sarebbe diverso da quello attuale anche dal punto di vista geografico: ora le centrali a carbone, petrolio, gas naturale e nucleare sono sparse un po' dappertutto, ma comunque abbastanza vicino a dove è consumata l'energia. La maggior parte della produzione solare, invece, si collocherebbe nel sud-ovest degli Stati Uniti. La rete a corrente alternata esistente non è abbastanza robusta per trasferire la potenza da lì fino agli utenti finali: sulle lunghe distanze disperderebbe gran parte dell'energia. Pertanto occorrerebbe costruire una nuova infrastruttura di trasmissione ad alta tensione in corrente continua (HVDC, da *high voltage direct current*).

Studi dell'Oak Ridge National Laboratory indicano che su lunga distanza le linee HVDC disperdono una quantità di energia inferiore delle linee a corrente alternata. L'infrastruttura distribuirebbe l'energia dalle centrali solari in tutte le direzioni. Le linee terminerebbero nelle centrali di conversione, dove la corrente sarebbe trasformata in corrente alternata e inviata a lungo le linee di distribuzione regionale. Il sistema a corrente alternata ha superato i suoi limiti di capacità, provocando numerosi blackout; le linee a corrente continua, invece, sono più economiche da costruire e richiedono una superficie più limitata rispetto a linee a corrente alternata equivalenti. Attualmente negli Stati Uniti sono operativi circa 800 chilometri di linee HVDC che hanno dato prova di affidabilità ed efficienza.

Primo stadio: da oggi al 2020

L'attuazione del grande piano solare prevede due stadi distinti. Il primo, da oggi al 2020, deve rendere il solare competitivo a livello di produzione in serie. Ciò richiederà un intervento del governo, che dovrà concedere prestiti a trent'anni, acquistare questo tipo di energia e fornire sussidi finanziari per sostenere i prezzi. Il pacchetto di aiuti annuale dovrebbe aumentare costantemente dal 2011 al 2020, quando le tecnologie solari dovrebbero poter competere con le loro forze. Il totale delle sovvenzioni dovrebbe arrivare a 420 miliardi di dollari (spiegheremo poi come reperirli).

Per il 2020 dovrebbero essere stati costruiti circa 84 GW di impianti per fotovoltaico e solare a concentrazione. In parallelo dovrà essere costruita

CHE COSA SERVE

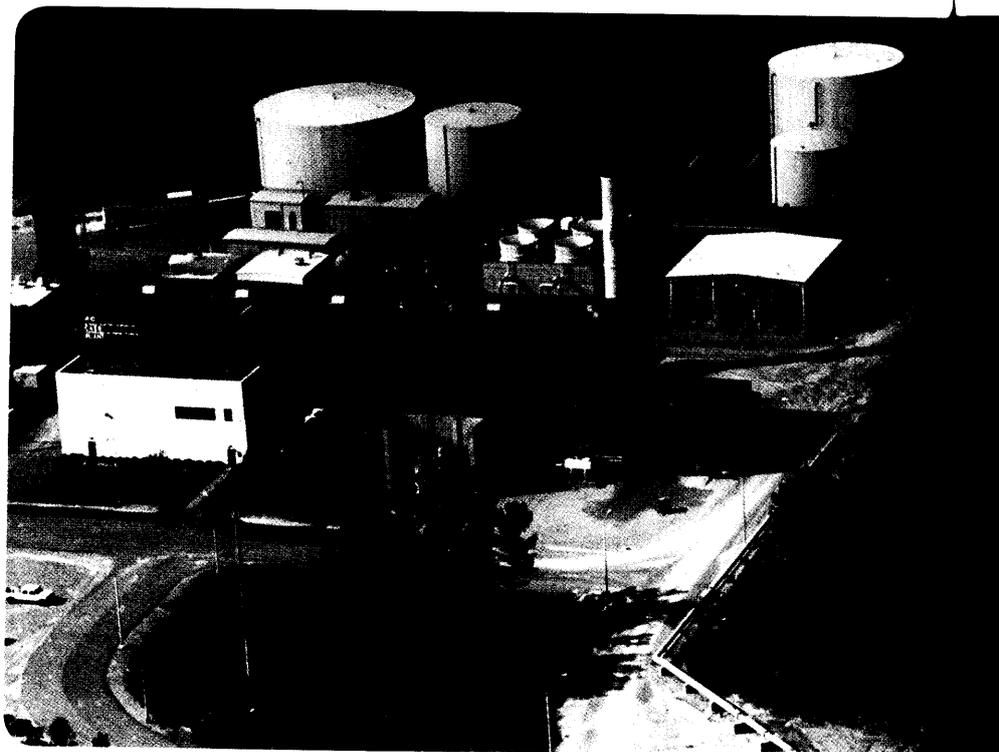
- Sovvenzioni per 420 miliardi di dollari complessivi fino al 2050
- Una leadership politica in grado di raccogliere le sovvenzioni, possibilmente con una carbon tax
- Una nuova rete di trasmissione ad alta tensione in corrente continua in grado di produrre reddito, costruita da soggetti privati

la rete di trasmissione a corrente continua, che potrebbe espandersi attraverso i terreni federali delle autostrade interstatali, minimizzando l'occupazione di nuovo suolo e gli ostacoli burocratici. L'infrastruttura raggiungerebbe mercati importanti a Phoenix, Las Vegas, Los Angeles e San Diego verso ovest, e San Antonio, Dallas, Houston, New Orleans, Birmingham, in Alabama, Tampa, in Florida, e Atlanta verso est.

Costruire 1,5 GW di potenza fotovoltaica e di 1,5 GW di potenza solare a concentrazione all'anno nei primi cinque anni stimolerebbe molti produttori ad adeguarsi. Nei cinque anni successivi, si dovrebbero costruire ogni anno impianti per 5 GW di potenza per ciascuna tecnologia, consentendo ai produttori di ottimizzare le linee di produzione. Come risultato, il costo dell'elettricità ricavata dal solare scenderebbe sotto i 6 centesimi per kWh. È un programma realistico: dal 1972 al 1987 negli Stati Uniti sono stati costruiti ogni anno più di 5 GW di centrali nucleari. Inoltre gli impianti solari possono essere realizzati e installati molto più velocemente delle centrali convenzionali, in virtù del loro disegno semplice e della relativa assenza di complicazioni ambientali e di sicurezza.

Secondo stadio: dal 2020 al 2050

È importante che gli incentivi rimangano effettivi fino al 2020, in modo da permettere alla crescita di autosostenersi dopo questa data. Nell'estendere il nostro modello di attuazione del progetto fino



Powersouth Energy Cooperative

al 2050, abbiamo scelto la prudenza: non abbiamo infatti previsto progressi tecnologici o economici successivi al 2020. E abbiamo ipotizzato che la domanda cresca dell'uno per cento all'anno (mentre è noto che i consumi elettrici degli Stati Uniti sono altissimi, e potrebbero essere ridotti sensibilmente con un piano di efficienza energetica).

In questo scenario, entro il 2050 gli impianti a energia solare forniranno il 69 per cento dell'elettricità e il 35 per cento dell'energia primaria degli Stati Uniti. Questi valori comprendono il fabbisogno di 450 milioni di veicoli ibridi che si ricaricherebbero connettendosi alla rete, e che dovrebbero sostituire quelli a benzina, promuovendo una svolta che consentirebbe di ridurre la dipendenza dalle importazioni di petrolio e mitigare gli effetti delle emissioni di gas serra. Inoltre si creerebbero circa tre milioni di nuovi posti di lavoro - la maggior parte dei quali nella produzione di componenti per gli impianti solari - che supererebbero di gran lunga quelli persi dall'industria per la lavorazione dei combustibili fossili. L'enorme diminuzione dell'importazione di greggio influirebbe sulla bilancia dei pagamenti per il commercio estero per circa 300 miliardi di dollari all'anno, assumendo per il petrolio un prezzo di 60 dollari al barile (ma i prezzi medi nel 2007 sono stati più alti).

Una volta installati, gli impianti a energia solare avranno bisogno di manutenzione e di riparazioni, ma il prezzo della luce solare rimarrà sempre pari a zero, il che raddoppierebbe il risparmio sui

combustibili fossili anno dopo anno. Inoltre l'investimento nel solare aumenterebbe la sicurezza dell'energia nazionale, riducendo gli investimenti nel settore bellico e diminuendo i costi sociali dell'inquinamento e del riscaldamento globale, dai problemi di salute fino alla tutela ambientale delle coste e dei terreni coltivabili.

Paradossalmente, il grande piano solare ridurrebbe i consumi energetici. Anche con un aumento della domanda dell'uno per cento all'anno, i 29 petawattora (PWh = 10^{12} chilowattora) consumati nel 2006 scenderebbero a 27 nel 2050. Il calo sarebbe dovuto al fatto che oggi una notevole quantità di energia viene consumata nel processo di estrazione e lavorazione dei combustibili fossili, e ulteriore energia viene sprecata nella loro combustione e nel controllo delle loro emissioni.

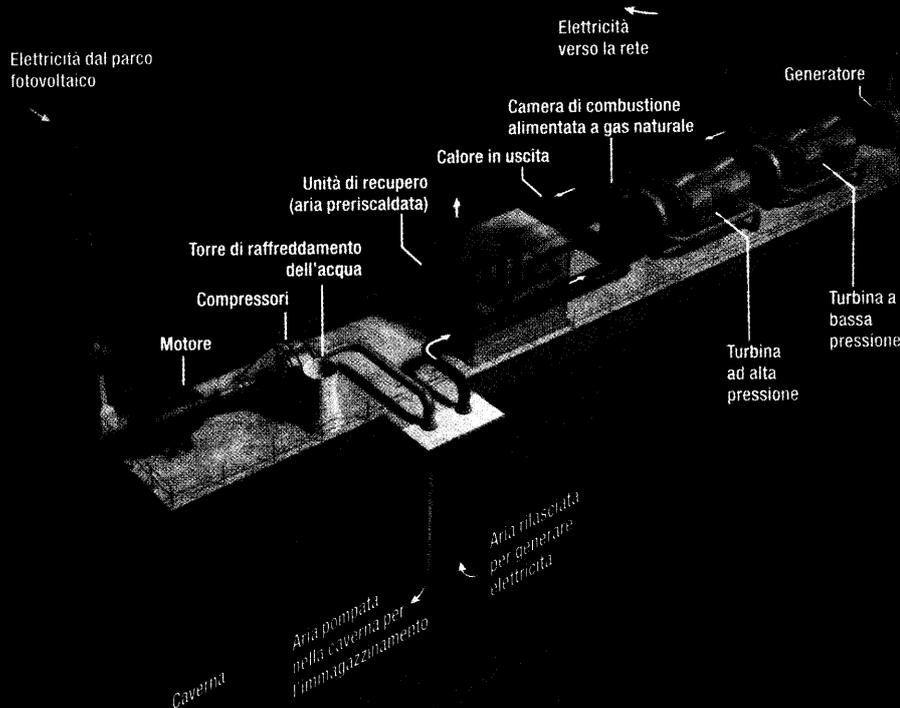
Per raggiungere gli obiettivi al 2050 occorrono circa 120.000 chilometri quadrati di territorio per fotovoltaico e solare a concentrazione. Si tratta di una superficie molto vasta, ma che costituisce comunque solo il 19 per cento dei territori disponibili nel sud-ovest. La maggior parte di quest'area non ha alcun valore per uno sfruttamento alternativo, per esempio agricolo. E non subirebbe alcun inquinamento. Abbiamo ipotizzato che nel 2050 solo il 10 per cento della capacità solare sia ricavata da impianti fotovoltaici distribuiti su edifici o terreni privati. Ma via via che i prezzi scenderanno in seguito alla produzione in serie, questi impianti potrebbero avere un ruolo più rilevante.

GLI AUTORI

KEN ZWEIBEL, JAMES MASON e VASILIS FTHENAKIS hanno iniziato a collaborare una decina di anni fa lavorando a un progetto di studi sul ciclo di vita del fotovoltaico. Zweibel è presidente della PrimeStar Solar di Golden, in Colorado, e ha diretto per 15 anni il laboratorio nazionale per le energie rinnovabili Thin-Film PV Partnership. Mason è direttore della Solar Energy Campaign e dell'Hydrogen Research Institute di Farmingdale, nello Stato di New York. Fthenakis è a capo del Photovoltaic Environmental Research Center del Brookhaven National Laboratory e direttore del Center for Life Cycle Analysis della Columbia University.

Lo stoccaggio sotterraneo

L'elettricità in più prodotta durante il giorno dagli impianti fotovoltaici sarebbe inviata tramite linee di corrente a siti di stoccaggio ad aria compressa vicini alle città, che durante la notte produrrebbero elettricità da destinare al consumo. La tecnologia è già disponibile: l'impianto PowerSouthEnergy di McIntosh, in Alabama (a sinistra), è operativo dal 1991 (la condotta in bianco in basso a destra invia l'aria nel sottosuolo). In questi progetti, l'elettricità entrante alimenta motori e compressori che pressurizzano l'aria e la inviano in caverne vuote, miniere o falde acquifere (a destra). Una volta rilasciata, l'aria viene riscaldata bruciando piccole quantità di gas naturale; i gas ad alta temperatura in espansione muovono turbine che generano elettricità.



420 miliardi di dollari sono una cifra cospicua, ma comunque inferiore ai sussidi all'agricoltura

2050 e oltre

Benché non sia possibile fare proiezioni esatte a cinquant'anni o più, abbiamo comunque immaginato, a titolo di esercizio, un scenario al 2100 per dimostrare il notevole potenziale dell'energia solare. Per quell'anno le proiezioni basate sul nostro piano indicano una domanda energetica totale (trasporti compresi) di 40 PWh, a fronte di una capacità di generare energia elettrica sette volte maggiore di quella attuale.

Abbiamo effettuato una stima prudente della capacità degli impianti solari necessaria nelle peggiori condizioni di esposizione solare nel sud-ovest registrate storicamente, che sono quelle degli inverni 1982-1983 e 1992-1993. E ancora una volta non abbiamo ipotizzato progressi tecnologici o abbattimenti dei costi oltre il 2020, benché sia difficile dubitare che nei prossimi 80 anni le ricerche non migliorino i costi, l'efficienza di conversione e lo stoccaggio dell'energia solare.

Basandoci su questi presupposti, la domanda di energia degli Stati Uniti potrebbe essere soddisfatta con le seguenti capacità: 2,9 terawatt (TW) di potenza fotovoltaica immessa direttamente nella rete e altri 7,5 TW dedicati allo stoccaggio ad aria compressa; 2,3 TW di potenza di solare a concentrazione; 1,3 TW di impianti fotovoltaici distribuiti. La fornitura sarebbe completata con 1 TW di parchi eolici, 0,2 TW di impianti per l'energia geotermica e 0,25 TW di produzione di combustibili da biomasse. Il modello comprende 0,5 TW di

pompe per il calore geotermico per il riscaldamento e il condizionamento degli edifici. I sistemi solari richiederebbero circa 780.000 chilometri quadrati di territorio: ancora una volta, un'estensione inferiore a quella della superficie adatta e disponibile nel sud-ovest.

Nel 2100 questa gamma di fonti rinnovabili potrebbe generare il 100 per cento di tutta l'elettricità e più del 90 per cento dell'energia primaria complessiva degli Stati Uniti. In primavera e in estate, l'infrastruttura solare produrrebbe abbastanza idrogeno da soddisfare più del 90 per cento della domanda di combustibili del traffico veicolare e sostituire la piccola fornitura di gas naturale usata come ausilio delle turbine ad aria compressa. Altri 180 miliardi di litri di biocarburanti coprirebbero il resto dell'energia necessaria ai trasporti. Le emissioni di anidride carbonica sarebbero inferiori del 92 per cento rispetto ai livelli del 2005.

Chi paga il conto?

Il nostro non è un piano di austerità, perché tiene conto di un incremento della domanda dell'uno per cento all'anno, in grado di garantire uno stile di vita simile a quello attuale con i miglioramenti previsti nella produzione e nel consumo di energia. Forse il problema maggiore è come reperire i 420 miliardi di dollari necessari a pagare questo rinnovamento dell'infrastruttura energetica del paese. Una delle idee più comuni è l'applicazione di una *carbon tax*. L'International Energy Agency sug-

Cortesia NREL

Il solare a concentrazione

Gli impianti fotovoltaici nel sud-ovest degli Stati Uniti sarebbero completati da grandi impianti per il solare a concentrazione. La centrale di Kramer Junction nel deserto del Mojave (a sinistra), in California, è operativa dal 1989. Gli specchi metallici parabolici concentrano la luce solare su una conduttura, riscaldando un fluido, come il glicole etilenico, che vi scorre all'interno (a destra). Gli specchi si orientano per seguire il Sole. Le tubature riscaldate corrono lungo un percorso secondario all'interno di uno scambiatore di calore che contiene acqua, trasformandola in vapore che muove una turbina. I futuri impianti potrebbero anche inviare il fluido riscaldato attraverso un serbatoio riempito di sali fusi, in grado di conservare il calore che può essere usato in seguito, per esempio di notte, per lo scambiatore di calore.

gerisce che per spingere i produttori di energia ad adottare sistemi di sequestro del carbonio e di immagazzinamento dell'energia, in modo da ridurre le emissioni di anidride carbonica, servirebbe una tassa da 40 a 90 dollari per tonnellata di carbone. L'imposta equivarrebbe a un aumento del prezzo dell'elettricità di 1-2 centesimi per chilowattora. Ma il nostro piano è meno costoso. I 420 miliardi di dollari potrebbero essere raccolti con una tassa di 0,5 centesimi per chilowattora. Poiché oggi negli Stati Uniti l'elettricità è venduta a un prezzo compreso tra 6 e 10 centesimi per chilowattora, aggiungerne 0,5 sembra ragionevole.

Il Congresso potrebbe concedere incentivi finanziari adottando un piano nazionale per le energie rinnovabili, più o meno come è accaduto per il Farm Price Support, il programma di sussidi all'agricoltura che è stato giustificato da esigenze di sicurezza nazionale. Un programma di sussidi per i prezzi del solare assicurerebbe il futuro energetico della nazione, vitale per il benessere a lungo termine del paese. I sussidi potrebbero essere concessi gradualmente tra il 2011 e il 2020; con un periodo di restituzione standard di trent'anni, finirebbero tra il 2041 e il 2050. Le società di distribuzione di corrente HVDC non avrebbero bisogno di sussidi, poiché potrebbero finanziare la costruzione di linee di tensione e centrali di conversione come fanno ora per le linee a corrente alternata, cioè con il reddito proveniente dalla fornitura di elettricità.

↳ Letture

The Terawatt Challenge for Thin Film Photovoltaic. Zweibel K., in *Thin Film Solar Cells: Fabrication, Characterization and Applications*, a cura di Poortmans J. e Arkhipov V., John Wiley & Sons, 2006.

Energy Autonomy: The Economic, Social and Technological Case for Renewable Energy. Scheer H., Earthscan Publications, 2007.

Center for Life Cycle Analysis, Columbia University: www.clca.columbia.edu.

The National Solar Radiation Data Base. National Renewable Energy Laboratory, 2007. http://rredc.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb.

The U.S. Department of Energy Solar America Initiative: www1.eere.energy.gov/solar/solar_america.

La cifra di 420 miliardi di dollari è considerevole, ma la spesa annua sarebbe inferiore sia all'attuale programma Farm Price Support sia ai sussidi fiscali per costruire l'infrastruttura nazionale di telecomunicazioni ad alta velocità negli ultimi 35 anni. E affrancherebbe gli Stati Uniti dai problemi politici e finanziari causati ai conflitti energetici internazionali.

Senza sussidi, il grande piano solare non è realizzabile. Altri paesi hanno raggiunto la stessa conclusione: il Giappone sta già costruendo un'ampia infrastruttura solare con un piano di incentivi, e la Germania è impegnata in un programma nazionale. L'investimento è alto, ma è importante ricordare che la fonte energetica, la radiazione solare, è gratuita. Non comporta costi per il controllo dell'inquinamento come l'energia ricavata dal carbone, dal petrolio o dal nucleare, ma solo un limitato costo aggiuntivo per il gas naturale nei sistemi di compressione dell'aria, che tuttavia potrebbe essere anch'esso sostituito da idrogeno e biocarburanti. Aggiungendo il risparmio sui combustibili, nei prossimi decenni il costo del solare sarà estremamente vantaggioso. Ma non possiamo aspettare fino ad allora per metterci all'opera.

I critici hanno sollevato alcune obiezioni. Per esempio che i limiti dei materiali potrebbero ostacolare un'installazione su ampia scala. Con un rapido sviluppo, non si possono escludere problemi temporanei di approvvigionamento, ma esistono diversi tipi di celle, che usano differenti combinazioni di materiali. Inoltre i progressi nelle lavorazioni e nel riciclaggio stanno riducendo la quantità di materiali necessari per produrre le celle. E nel lungo periodo le vecchie celle solari saranno riciclate industrialmente in nuove celle, trasformando il quadro del nostro sistema di fornitura dell'energia dai combustibili esauribili ai materiali riciclabili.

L'ostacolo principale all'attuazione di un sistema di energie rinnovabili per gli Stati Uniti non è né tecnologico né finanziario. È l'assenza di una consapevolezza diffusa che l'energia solare è un'alternativa praticabile, in grado di sostenere anche il traffico veicolare. Gli analisti più lungimiranti dovrebbero cercare di convincere l'opinione pubblica, gli esponenti politici e i responsabili delle istituzioni scientifiche dell'incredibile potenziale dell'energia solare. Quando questo potenziale sarà stato compreso, siamo convinti che il desiderio di autosufficienza energetica e la necessità di ridurre le emissioni di anidride carbonica ci spingeranno ad adottare un piano solare nazionale.

