



Adriano Piglia
Valentina De Luca

Ritorno alle origini

Breve storia delle energie
rinnovabili e del loro futuro

EDIPLAN
EDITRICE

COLOPHON

©Ediplan Editrice, Milano 2014

©SAFE, Roma 2014

Direzione editoriale

Mauro Bozzola

Gestione del progetto

Laura Cardinali

Coordinamento editoriale e realizzazione

Alessandro Seregni

SAFE – Sostenibilità Ambientale Fonti Energetiche

Via Duchessa di Galliera, 63 – 00151 Roma

Tel. +39 06 5327.2239

Fax +39 06 5327.9644

safe@safeonline.it

www.safeonline.it

Ediplan Editrice

Via Olmetto, 17 – 20123 Milano

Tel. +39 02 37011093

Tel. +39 02 84561874

Fax. + 39 02 84561868

info@ediplaneditrice.it

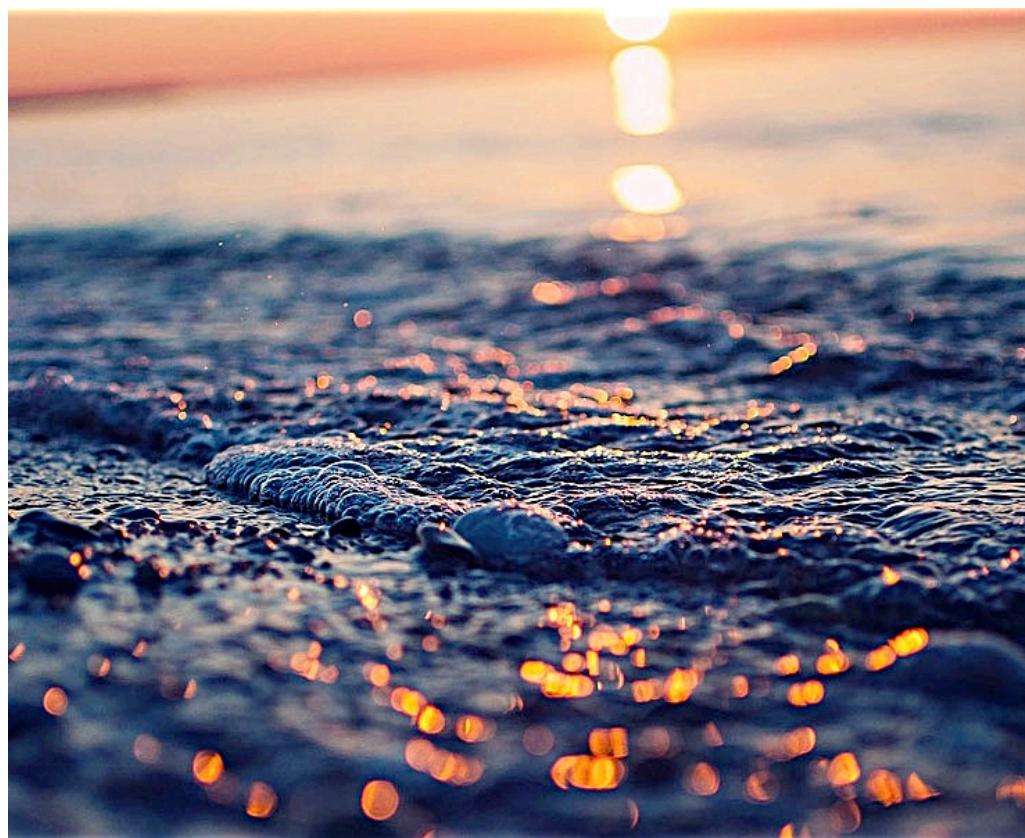
ISBN 978-88-96726-23-5

L'iBook è sponsorizzato da Enel Green Power.





LE “NUOVE” FONTI DI ENERGIA



1.1 Le “nuove” fonti di energia

Quando si parla di energie rinnovabili e le si definisce come le “nuove” fonti di energia da sviluppare per affrancarsi da quelle fossili, viene quasi da sorridere. Nessuna di queste fonti è nuova, in realtà. Vento, acqua, luce solare e biomasse sono stati usati dall’umanità per millenni, senza sapere che le avremmo chiamate “rinnovabili”. Eppure, dimenticando per un istante definizioni di comodo, la maggior parte di queste fonti di energia non sono altro che modi diversi di usare una formidabile sorgente energetica, il sole. Proprio per questo, nessuna delle fonti energetiche è in realtà rinnovabile perché, prima o poi, anche il nostro sole si spegnerà. Tutto dipende soltanto da come misuriamo il tempo: se con i parametri della vita umana o quelli diversi, per qualche ordine di grandezza, dell’universo.

Solo l’enorme presunzione dell’uomo ha illusoriamente ridotto le dimensioni del tempo per renderle compatibili

con la durata della sua vita, dimenticando che nell'universo il tempo si misura non in anni "umani", ma in anni luce, almeno per i mondi a noi più vicini, e che nel sistema solare, per noi così immenso, il nostro mondo non è che una minuscola ed infinitesima parte di una galassia, che a sua volta fa parte di un sistema di tante altre galassie, delle quali abbiamo solo vaga percezione e conoscenza. È l'energia solare (la luce), a far crescere le piante. Alcune di esse, investite dai movimenti tettonici, si sono immerse nelle profondità terrestri, dove in un più o meno lungo processo di maturazione si sono trasformate in carbone, petrolio e gas. Non sono fenomeni cessati ai nostri giorni, ma avvengono con tale lentezza (misurata secondo i nostri tempi) da farle considerare "non rinnovabili".

D'altra parte, la diversa insolazione di acqua e terra genera le correnti d'aria sfruttate dall'eolico o dalle onde del mare. I raggi solari si trasformano in energia termica per seccare i cibi, conservandoli dal deperimento organico¹. Oppure sono catturati o concentrati per dare origine all'energia solare termica, fotovoltaica e termodinamica. L'evaporazione delle grandi masse di acqua, che coprono il nostro pianeta per circa tre quarti, dà origine alle nubi ed alle piogge che contribuiscono a soddisfare alcune nostre esigenze vitali² ed energetiche (fonte idroelettrica). Il calore della Terra (fonte geotermica) ci arriva da quando il nostro pianeta si distinse dalla massa del sole e prese ad esistere come forma separata, continuando a generare al suo interno enormi quantità di

Meridiana



energia per la decadenza di vari isotopi instabili, fenomeno che oggi chiamiamo, con rispetto o timore, reazioni nucleari. Già, perché tutto quello che ci giunge dal sole, ha origine dalla fusione nucleare di idrogeno ed elio. Che orrore, per un ambientalista, dover pensare che tutte le energie rinnovabili altro non sono in realtà che un modo, politicamente corretto, di usare l'energia nucleare!

Le Fonti di Energia Rinnovabile (FER, acronimo che useremo in seguito) sono quindi, da sempre, fonti energetiche delle quali l'umanità ha fatto largo uso, compatibilmente con le sue conoscenze. La vela ed il mulino sono le più antiche realizzazioni delle quali abbiamo testimonianza e gli specchi di Archimede che, secondo la leggenda, incendiarono le navi romane nel porto di Siracusa, sono un'evidente applicazione di

quello che oggi chiamiamo “solare termodinamico”. I mulini inglesi sulle coste della Manica sono i primi esempi di sfruttamento delle maree.

1.2 L'evoluzione dell'energia nella storia

Alle origini dell'umanità furono le fonti naturali, o rinnovabili come le chiamiamo oggi, a dare il maggior contributo al soddisfacimento dei fabbisogni energetici. Quelle che chiamiamo, impropriamente, solari furono largamente usate per scaldarsi, conservare i cibi, sviluppare l'agricoltura, sfruttare le differenze di insolazione che originavano i venti necessari per far muovere le imbarcazioni. Fu la biomassa però a dominare per millenni la scena energetica del pianeta. Il legno era disponibile ovunque, si raccoglieva dove serviva, sostituiva il sole quando non c'era e forniva non solo riscaldamento e luce, ma anche la possibilità di fondere metalli per fabbricare strumenti di lavoro o difesa, lavorare materie prime e, nel tempo, provvedere ad usi sempre più perfezionati.

Si andò avanti con le biomasse fino a tutto il Medioevo. I combustibili di tipo organico fornirono quello che era necessario per la vita domestica e per quel minimo di produzione industriale necessario a sostenerla. Si usava un po' di tutto: legno, carbone di legna, residui agricoli, letame secco, oli e cere di origine animale. Per quanto possa sembrare incredibile a chi vive oggi nell'opulenza occidentale, questo è il modo

di vivere, ancora oggi, di quasi tre miliardi di persone ovvero oltre il 42% della popolazione mondiale. Procurarsi il combustibile necessario era apparentemente semplice: bastava andare al bosco più vicino e raccogliere rami secchi, arbusti, piante morte. A volte poteva diventare più complicato, ad esempio se c'era da andare lontano o tagliare qualche albero piuttosto alto e trasportare i tronchi fino a casa. Erano allora necessari accordi, fra le persone che partecipavano all'impresa, per stabilire come spartire il raccolto.

Ma non c'è dubbio che la localizzazione dell'abitato urbano, il numero di persone che ci viveva e le dimensioni della bosaglia circostante fossero in stretta correlazione. La disponibilità di legno, insieme con la presenza di acqua, fecero scegliere agli uomini le località più adatte per costituire le loro aggregazioni sociali. Non esiste importante capitale o città europea che non sorga lungo le sponde di un fiume o a cavallo di esso.

I fabbisogni di legno per la fusione del ferro cominciarono, nel tempo, a farsi sempre più ingenti ed innescarono la ricerca di un'alternativa all'abbattimento indiscriminato delle foreste, sempre più costoso, per le distanze crescenti tra i luoghi di raccolta e quelli di consumo, anche a seguito del progressivo esaurimento delle risorse. Il legno cominciò a scarseggiare e la sua carenza divenne tale che fu vietato, ad esempio in Gran Bretagna, tagliare i boschi, considerati proprietà della Corona. La crisi si attenuò nel XIV secolo, quando la peste portò via venticinque milioni di persone, quasi un terzo della



popolazione europea, ma si ripresentò non appena gli abitanti del continente ricominciarono ad aumentare di numero. Alla crescita della popolazione, con le sue esigenze energetiche, sia pure elementari, si aggiunse nel Cinquecento la necessità di costruire sempre più navi e sempre più di grandi dimensioni per affrontare i viaggi verso il nuovo continente appena scoperto e per sostenere l'espansione dell'attività metallurgica. Basta pensare, infatti, che una sola fornace in Inghilterra consumava, nel primo Settecento, l'equivalente di 1.600 ettari di bosco in un anno.

La difficoltà nei rifornimenti si riflesse sui prezzi di scambio del legno, che nel periodo fra il 1510 ed il 1590 raddoppiarono e, in un secolo e mezzo, quintuplicarono. La crisi energetica (la prima della quale abbiamo testimonianza storica) era aggravata dai cambiamenti climatici in corso che, dopo il periodo caldo del Medioevo, avevano procurato un significativo abbassamento delle temperature, dando origine a



Case di torba in Islanda

quello che fu chiamato il periodo della piccola glaciazione³. A quel punto non restò che rassegnarsi all'uso del carbone. La prima transizione energetica, dal legno al carbone, avvenne verso il 1850, non perché l'umanità avesse finito il legno, per la verità ancora piuttosto abbondante, ma perché usare il carbone cominciò a costare meno. In una società abituata a soddisfare i suoi fabbisogni energetici con il legno, il carbone stentò ad affermarsi, anche se mostrava degli innegabili vantaggi: costava meno, aveva un miglior rendimento ed una maggiore densità energetica ed era più facilmente trasportabile ed immagazzinabile. Sono esattamente le stesse ragioni che nel secolo successivo portarono all'affermazione del petrolio come nuova fonte energetica prevalente: bassi costi, facilità di trasporto, possibilità di immagazzinare l'energia⁴. Le fonti del carbone erano quasi altrettanto estese come quelle del legno, anche se non così ben suddivise geograficamente in tutto il mondo. L'invenzione della macchina a vapore e la rivoluzione industriale dell'Ottocento, esaltarono il ruolo della "nuova" risorsa primaria d'energia. La sua era raggiunse l'apice fra il 1920 ed il 1930 quando, poco per volta, cominciò la concorrenza del petrolio, più facile da trasportare e di maggiore versatilità in una serie d'applicazioni dove, come nei motori a combustione interna, era praticamente insostituibile. Anche qui la transizione energetica non avvenne perché si fossero esaurite le riserve di carbone, ma semplicemente perché usare il petrolio era economicamente più conveniente.

Ci volle qualche decennio tuttavia per vedere "Re Carbone" spodestato dalla nuova fonte, ma arrivò anche per il petrolio il momento della necessaria riflessione. Le due crisi petrolifere degli anni Settanta, sembrarono dare il via ad un nuovo ciclo, quello basato sull'energia nucleare, ancora su basi di convenienza economica. Dopo una prima rapida affermazione, lo sviluppo di questa fonte iniziò a rallentare, anche se è difficile, ancora oggi, capire se questo fu dovuto a fattori economici, tecnologici, emotivi, ideologici o ad una combinazione di tutti questi fattori.

L'era del petrolio non è finita, ma è vicina ad essere sostituita da quella del gas. Come avvenuto nel passato, il gas si sta affermando non perché è finito il petrolio, ma perché si sta rivelando, in molti utilizzi finali, più conveniente e con minori impatti sull'ambiente, ai quali si associa oggi anche un valore economico. Inoltre, come le altre fonti fossili tradizionali, il gas gode del vantaggio che la sua energia chimica consente di portarlo là dove sarà consumato, senza subire alcuna trasformazione.

Il problema dello stoccaggio dell'energia non ha trovato, infatti, per ora almeno, una soluzione accettabile. Per qualche tempo possiamo conservare l'energia termica, come facciamo nei termos del caffè. Lo stesso vale per l'energia meccanica, che si può accumulare temporaneamente in un volano. Possiamo, in un certo senso, stoccare un po' di energia idroelettrica in esubero, pompando nel bacino a monte l'acqua che ha già lavorato nelle turbine.

Per tutte le altre forme energetiche, ed in particolare per le rinnovabili, non abbiamo ancora una soluzione efficace. Non lo sono ancor oggi le batterie tradizionali, per ragioni di peso, ingombro e costo (anche se la ricerca sta facendo in tal senso significativi progressi) e non lo è ancora, almeno per un po', e se mai si realizzerà, il sogno di chi vede l'idrogeno come il vettore energetico del futuro.

1.3 L'affermazione delle FER

Lo sviluppo delle FER iniziò quando la scienza ci consentì di penetrare nei fenomeni elettrici e magnetici che coinvolgono la materia. Da queste scoperte nacque la produzione di energia elettrica e con essa la necessità di trasmetterla lontano dal punto nel quale era generata. In questo campo l'Italia può vantare primati non da poco: dalla pila di Volta del 1799, alla dinamo di Pacinotti del 1860, al motore asincrono di Galileo Ferraris del 1888.

È sorprendente, andando indietro nel tempo, constatare quanto il nostro Paese abbia contribuito allo sviluppo di molte delle FER e possa vantare importanti contributi in quasi ogni settore. Se, ad esempio, è abbastanza noto che il decollo industriale dell'Italia fu dovuto al "carbone bianco" (l'energia idroelettrica), pochi sanno che la centrale Bertini, realizzata dalla Edison nel 1898 a Paderno d'Adda fu a suo tempo il primo

grande impianto idroelettrico costruito in Europa. La prima centrale geotermica, nel 1913 a Larderello, rimase l'unica al mondo fino al 1958. Sorprendente è poi scoprire che, nei primi anni Novanta del secolo scorso, l'Italia era il paese europeo più avanzato nell'applicazione delle tecnologie fotovoltaiche (14 MW di potenza installata).

Un'informazione di scarsa qualità ed un processo educativo spesso superficiale, continuano a diffondere il pregiudizio che le fonti fossili abbiano ostacolato o addirittura impedito lo sviluppo delle fonti rinnovabili, con l'intervento di lobby dai metodi spregiudicati. La disinformazione sparirebbe ben presto se si studiasse, o almeno si leggesse, qualcosa sull'evoluzione e lo sviluppo della specie umana e sui suoi rapporti





con l'uso dell'energia. Grandi speranze ed aspettative stanno concentrandosi sulle FER, considerate come fonti di energia "nuove" ed ambientalmente sostenibili. Molti scienziati e ricercatori negli ultimi due secoli hanno dedicato le loro energie per farle diventare un'opzione credibile, con grandi sforzi e spesso con modesto successo. Così, mentre scienza e tecnologia continuano a fare passi avanti e a sperimentare nuovi approcci, le pagine che seguono dovrebbero essere utili anche per

riflettere sulle scelte del passato e far chiarezza sulle modalità più efficaci per garantire che lo sviluppo delle rinnovabili sia sostenibile nel lungo periodo.



NOTE

- 1 Il primo frigorifero della storia, anche se oggi abbiamo perfezionato il sistema e “liofilizzato” quello che vogliamo conservare.
- 2 Nel corpo umano l’acqua è circa il 65% del peso corporeo; in un neonato arriva al 75-85%.
- 3 Per avere un’idea del fenomeno, basti pensare che il Tamigi durante l’inverno gelava e su di esso si organizzavano fiere e divertimenti.
- 4 Sul problema si consulti il testo “Petrolio ieri ed oggi. E domani?” di A.Piglia, Fabiano Editore 2006.



IL SOLARE TERMICO E TERMODINAMICO

2.1 L'energia dal sole

L'energia trasmessa ogni giorno dal sole consentì alle specie che nel pianeta avevano conquistato la preminenza di sopravvivere e svilupparsi: fra le tante, anche la nostra. Sviluppo per gli ominidi a quei tempi aveva un significato diverso da quello che diamo oggi alla stessa parola: voleva dire aumentare di numero, trovare il modo di alimentare in modo adeguato i nuovi nati e tenerli in vita. Cibo, calore e nascite erano variabili fortemente interconnesse, come del resto lo sono ancora oggi nei paesi emarginati. Nessuno aveva idea allora che l'energia del sole poteva essere sfruttata in tanti modi, ma uno era molto chiaro: scaldarsi. Un secondo fu scoperto quando l'umanità cominciò ad occuparsi di agricoltura: essiccare il surplus di produzione che non si consumava, evitando che iniziasse un processo di degradazione ed utilizzarlo successivamente reidratandolo.

Poco per volta si cominciò a capire come usare l'energia solare anche per migliorare le condizioni all'interno dei luoghi abitati. Dopo qualche millennio, ad esempio, i patrizi romani scoprirono come fosse più confortevole chiudere le finestre delle loro case con spessi vetri, in modo da produrre all'interno quello che oggi chiamiamo effetto serra. Probabilmente, ma ne sappiamo poco, anche in Cina erano arrivati alla stessa conclusione.

Un genio come Archimede pensò di concentrare l'energia solare con specchi parabolici e, secondo la tradizione, diede ampia dimostrazione di cosa si poteva ottenere da un proces-



so del genere mandando a fuoco le navi romane che erano entrate nel porto di Siracusa (212 a.C.). Non riuscì a fermare l'invasione, ma dimostrò quanto profonda fosse la sua conoscenza sulle ragioni per le quali si verificavano certi fenomeni naturali.

Chissà dove sarebbe arrivato se uno sprovveduto soldato romano non lo avesse trafitto con la spada. Del resto Archimede non aveva fatto altro che avvalersi dell'esperienza fatta in Grecia dove, fin dal secolo VIII avanti Cristo, il sacro fuoco di Olimpia, che dava inizio alle competizioni sportive, fermando ogni conflitto in corso, era acceso usando delle parabole di bronzo lucidate a specchio.

Anche il faro di Alessandria d'Egitto, costruito nel 300 a.C. sull'isola di Pharos, di fronte al porto, era dotato di specchi bronzei concavi per indirizzare fino ad una cinquantina di chilometri dalla costa la luce generata da un fuoco di legna. L'idea degli "specchi ustori" lasciò tracce anche nei secoli successivi. Furono gli arabi, con i loro raffinati studi di geometria, astronomia ed ottica a tramandare le esperienze sulla concentrazione dei raggi solari, lasciando accesa la fiammella della ricerca e della conoscenza nei lunghi secoli bui dell'Europa, fino al periodo che in Occidente chiamiamo "Rinascimento".

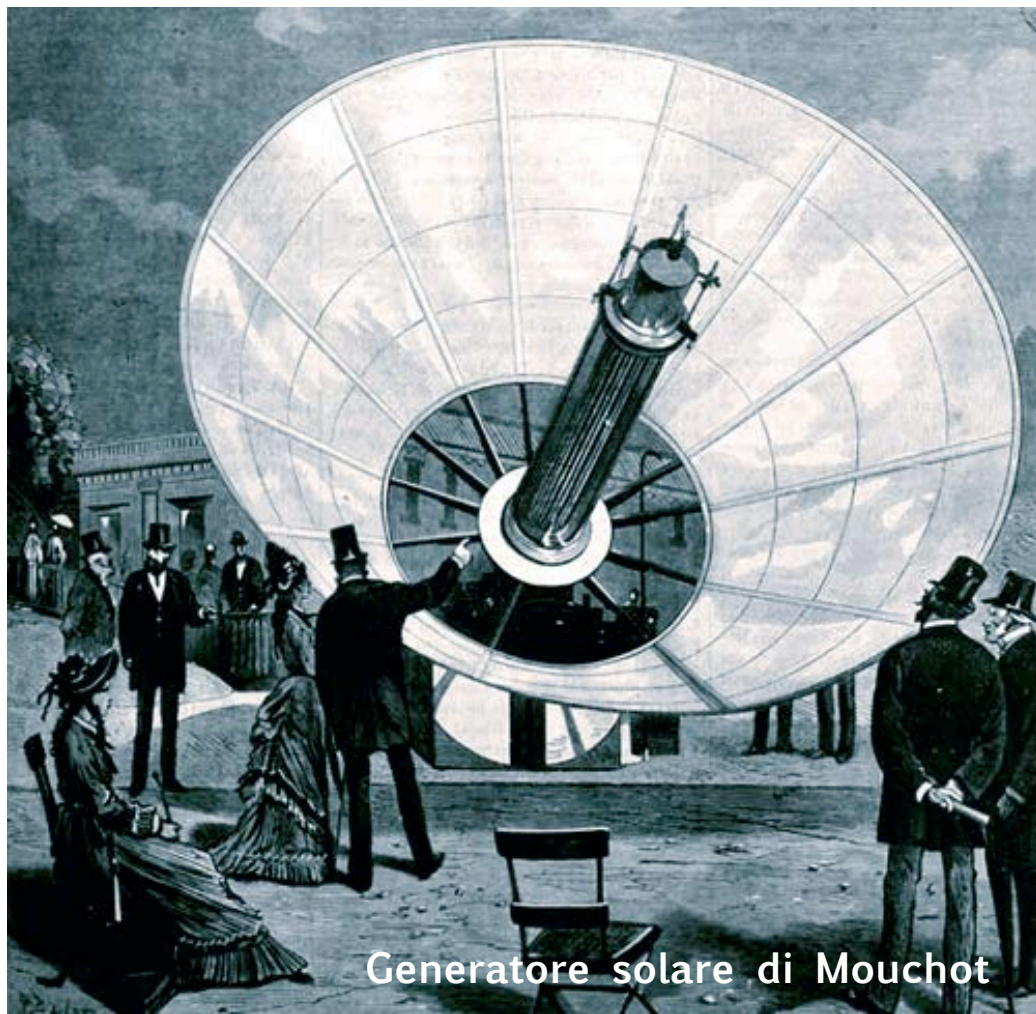
2.2 Solare termico e solare termodinamico

Leonardo, nel Cinquecento, approfondì gli studi sulle parabole per concentrare l'energia solare e nel Settecento Lavoisier, usando un sistema a concentrazione, riuscì a far fondere una barra di platino, fenomeno che avviene soltanto alla temperatura di 1.768 °C. Più o meno nello stesso periodo, un certo Villette, ancora in Francia, aveva costruito uno specchio a parabola che un viaggiatore inglese pensò di poter applicare nell'industria siderurgica per ovviare alla crescente carenza di legna da ardere alla quale abbiamo fatto cenno.

Una singolare applicazione pratica fu concepita nel 1767 dal fisico svizzero Horace-Bénédict de Saussure. Si trattava di una pentola di legno foderata di sughero. In essa tre strati

di vetro sistemati a mo' di coperchio e ad una certa distanza l'uno dall'altro, erano in grado di portare la temperatura all'interno del recipiente fin sopra i 100 °C. L'invenzione fu perfezionata nel 1830 dall'inglese John Herschel che lanciò quel nuovo modo di cottura dei cibi, il *solar cooking*. La pentola, che lo stesso inventore usò nella sua spedizione in Africa, ebbe notevole successo tra i pionieri americani, che ne fecero largo uso nel corso della loro migrazione verso il mitico Far West.

Nuovo impulso all'utilizzo della tecnologia degli specchi concentratori arrivò nella seconda metà dell'Ottocento in Francia, dove un professore di matematica, Auguste Mouchot (1825 – 1912), cominciò a preoccuparsi su cosa sarebbe successo quando fosse cominciato a scarseggiare il carbone, fonte energetica vitale per qualsiasi attività non solo industriale. Mouchot riprese gli studi fatti in precedenza e dopo vari tentativi riuscì a mettere insieme un congegno capace di generare abbastanza vapore da poter alimentare una macchina. Presentò l'invenzione (dalla potenza di circa 1 kW), alla Esposizione di Parigi del 1878. I presenti ebbero l'impressione di trovarsi di fronte a "una enorme *abat-jour* con la concavità rivolta verso l'alto". Napoleone III ne fu entusiasta ed il governo francese incaricò una speciale commissione di studiarne le possibili applicazioni. Dopo un'accurata analisi, la commissione non ritenne che, almeno nel breve termine, esistessero ragionevoli opportunità applicative in campo industriale, anche se, in climi più aridi ed in zone nelle quali non fosse fa-



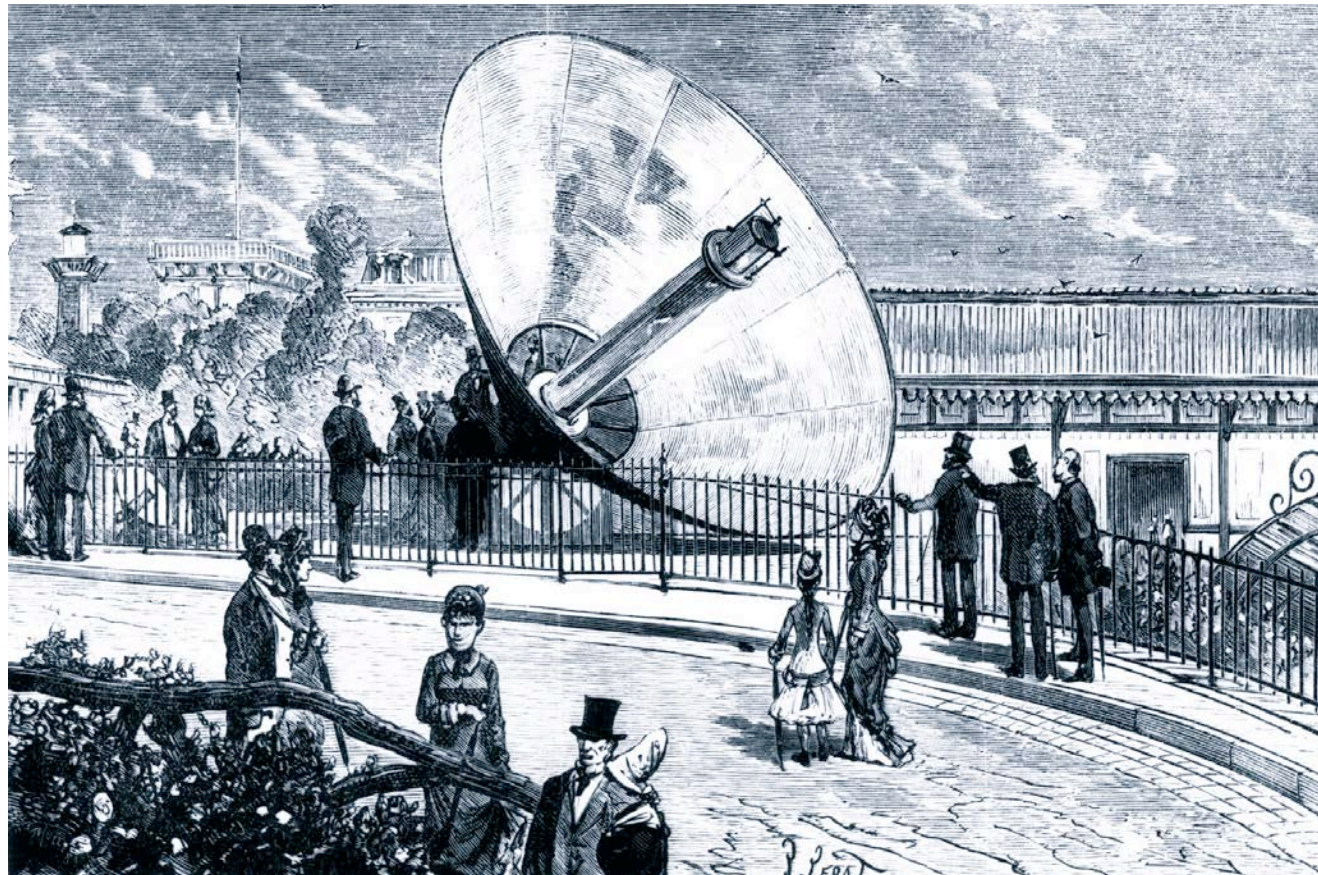
Generatore solare di Mouchot



cile o economico l'accesso alle normali fonti energetiche, sarebbe stato interessante considerarne l'utilizzo.

Mentre altri ricercatori e scienziati, come vedremo, furono attratti in quegli anni dalla possibilità di trasformare direttamente in elettricità i raggi solari, la tecnologia su un loro uso termico continuò a svilupparsi fra alti e bassi. Dopo Mouchot, un altro francese, Charles Tellier, pensò di produrre vapore con un sistema di pannelli piani, ma l'idea non approdò ad applicazioni pratiche.

L'ingegnere americano John Ericsson batté invece la strada di Mouchot, creando un nuovo tipo di concentratore. Dopo i primi entusiasmi si rese però conto che il costo dell'apparato che aveva messo a punto, non avrebbe consentito di competere con il vapore prodotto da carbone e rinunciò. Ci riprovò Aubrey Eneas, un inglese emigrato a Boston che, riprendendo i lavori di Ericsson e Mouchot, si concentrò su come usare i raggi solari per applicazioni in campo agricolo, so-

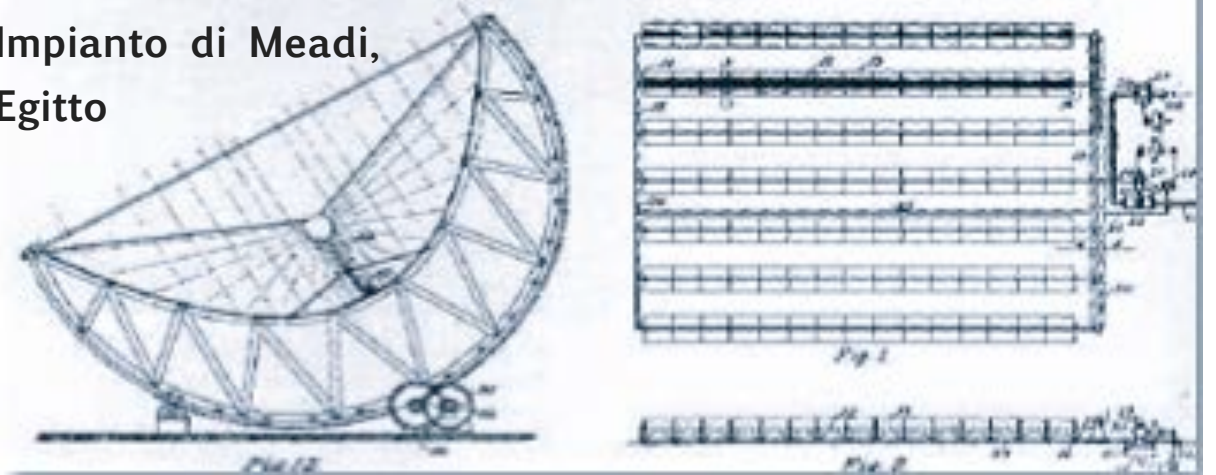


prattutto per l'irrigazione dei campi. Si trasferì in California, dove il sole non mancava e il carbone non era ancora facilmente accessibile, e in Arizona dove estese subito la sua attività. Ebbe inizialmente successo, ma i forti venti e le improvvise tempeste che colpiscono quelle aree mostrarono ben presto la fragilità dei collettori di sua produzione.

Gli insuccessi non scoraggiarono Frank Shuman, un imprenditore che si era arricchito con l'invenzione di cristalli infrangibili per parabrezza di auto. Cominciò a sperimentare collettori solari sulla scia di Eneas e produsse nel 1907 un prototipo che non soltanto tagliava il costo dei concentratori, ma li rendeva assai più robusti. Dalla macchina dimostrativa passò nel 1910 ad un collettore che occupava circa 1.000 metri quadrati di superficie ed azionava un motore da 25 CV. Alla ricerca di finanziamenti, si trasferì a Londra, centro di comando di un Impero nel quale si trovavano spesso le condizioni che la commissione francese aveva considerato interessanti per applicazioni industriali della tecnologia di Mouchot: alta intensità di irradiazione solare e mancanza di fonti energetiche a basso costo. A Londra trovò i finanziatori e si spostò in Egitto nel villaggio di Meadi, quindici miglia a sud del Cairo, dove l'iniziativa ebbe successo e gli valse ordini per l'irrigazione delle terre sulle sponde del Nilo ed un contratto per costruire in Sudan impianti di dimensioni ancora maggiori. L'iniziativa andò avanti fino all'inizio della Prima Guerra Mondiale, quando Shuman dovette lasciare l'Egitto con i suoi collaboratori. Morì d'infarto improvvisamente nel 1918 e, finita la



**Impianto di Meadi,
Egitto**



guerra, la crescente disponibilità di petrolio a basso costo in Medio Oriente rese nuovamente non competitivo il suo sistema. La tecnologia si prestava davvero bene ad applicazioni nei paesi poveri e privi di accesso economico alle fonti energetiche. Occorreva tuttavia non scoraggiarsi di fronte alle prime difficoltà. Successe in India con gli esperimenti di William Adams che, nel suo incarico a Londra presso l'ufficio brevetti, aveva accumulato una notevole massa di informazioni sull'uso dell'energia solare. La sua macchina non convinse gli esperti governativi locali, ma piacque a quelli di Aden (Yemen), dove fu adattata per produrre acqua potabile dalle



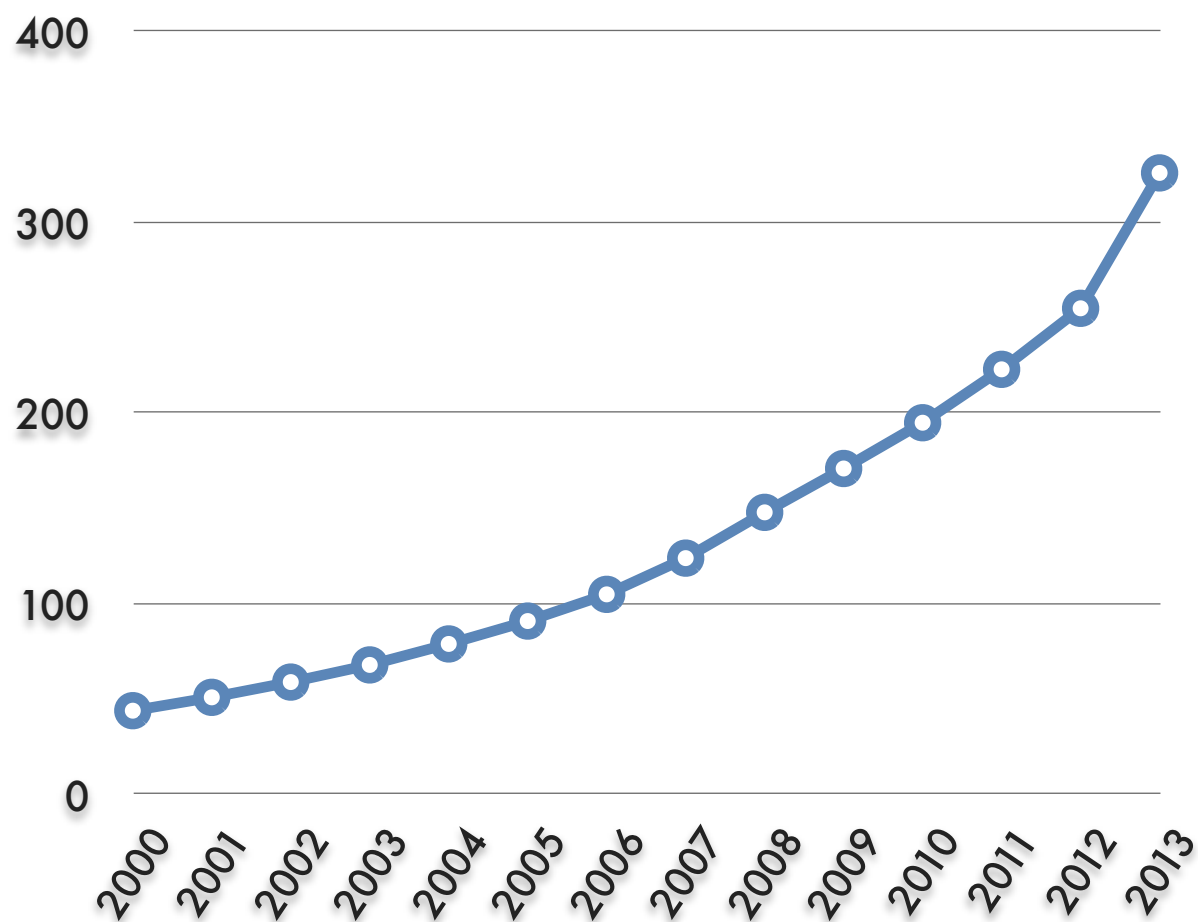
acque marine. Il sistema funzionò fino a dopo la Seconda Guerra Mondiale, quando la disponibilità di petrolio nell'area rese anche questo sistema non competitivo. Da allora sarebbe passato molto tempo prima che gli "specchi ustori" tornassero alla ribalta. Qualcuno, ancora negli Stati Uniti, intuì che, senza necessariamente arrivare a produrre del vapore alla pressione adatta ad azionare delle macchine, si poteva sfruttare l'energia solare per applicazioni meno impegnative, quali la produzione di acqua calda o la fornitura di calore ad impianti domestici di piccola taglia. Clarence Kemp sviluppò

l'idea e brevettò nel 1891 il primo pannello solare termico, un "Collettore Multiplo Solare", che ben si adattava a questi utilizzi. Il successo arrivò immediatamente. Nel 1900 aveva venduto circa 1.600 esemplari in California.

William Bailey nel 1908 mise a punto un miglioramento importante, separando la parte esposta al sole da quella dedicata all'immagazzinamento del calore. Invece che restare immobile in serbatoio l'acqua passava in tubi esposti alla radiazione solare che la riscaldavano rapidamente a più alta temperatura. Il dispositivo fu chiamato, per la durata dell'immagazzina-

mento, *day and night heater*, ed il sistema si diffuse rapidamente in Florida. Anche in questo caso il successo durò poco perché nel 1926 un uragano pose fine al boom edilizio dell'area e l'azienda di Bailey fallì. La terribile recessione iniziata nel 1929 rese impossibile una sia pur limitata ripresa delle attività per parecchio tempo.

TAV. 2.1 - Capacità installata solare termico. Mondo (GWt)



Fonte: REN21, Renewables 2014. Global Status Report

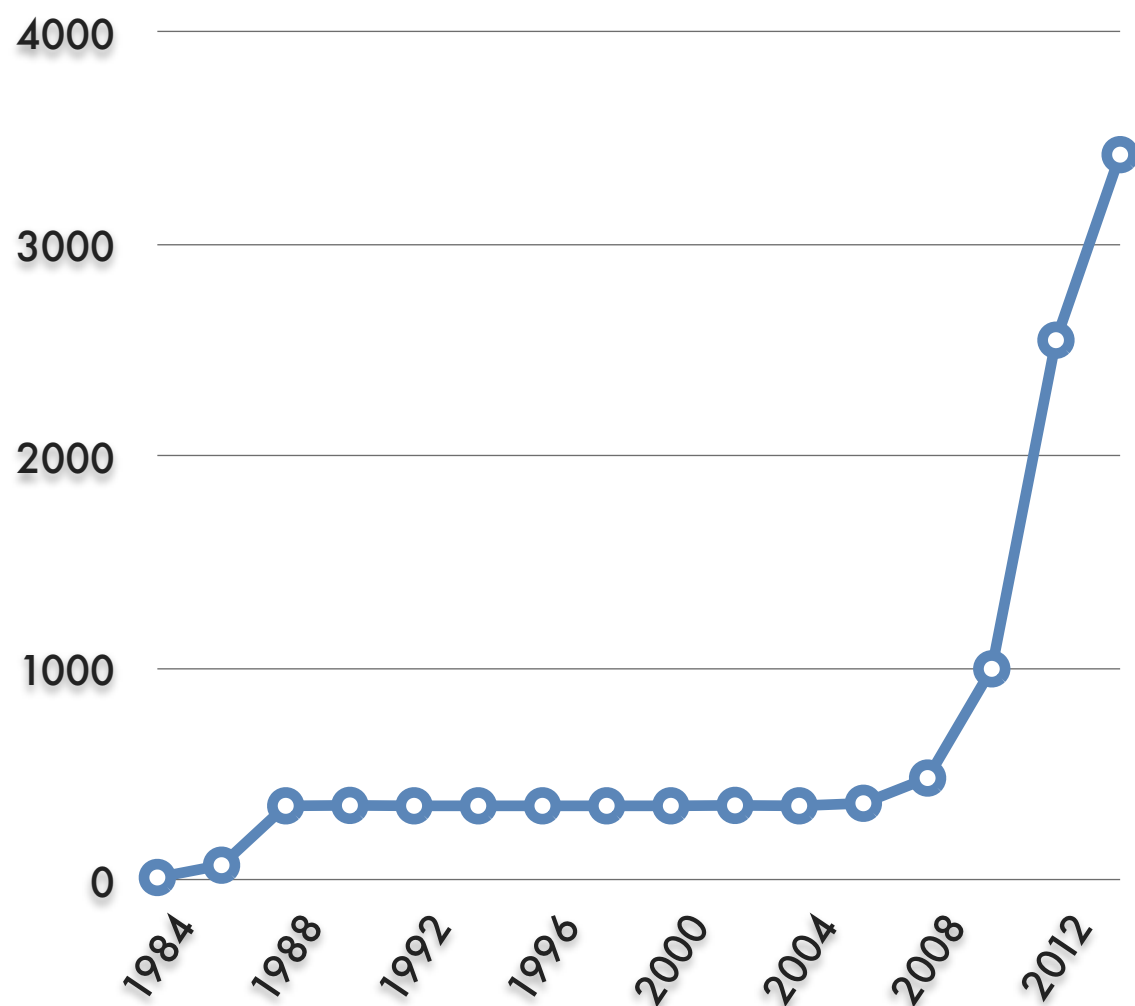
L'idea di sfruttare l'energia solare per migliorare il rendimento energetico degli edifici fece tuttavia breccia fra gli architetti che iniziarono ad inserire nei loro progetti un crescente numero di spazi finestrati rivolti a sud. Nel 1935 si giunse così al primo grande edificio il cui sistema di riscaldamento era alimentato esclusivamente da pannelli solari. La tecnologia, ormai consolidata, trovò numerose applicazioni dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale negli Stati Uniti, Giappone, Australia, Israele, Sud Africa e successivamente ovunque, per abitazioni, impianti sportivi, piscine, alberghi ed aziende manifatturiere. La Tavola 2.1. dà un'idea dello sviluppo di questi utilizzi negli ultimi anni.

Per quanto riguarda la concentrazione dei raggi solari gli studi, pur continuando, non portarono ad applicazioni pratiche fino al momento della crisi energetica del 1973. A quel punto il *Department Of Energy* americano (DOE) assicurò il supporto e le risorse per installare delle parabole lineari a Barstow (California) con la costruzione di Solar One, un impianto commerciale da 10 MW completato nel deserto di Mojave nel 1981 e rimasto in servizio fino al 1986. Parallelamente, e sempre nella stessa zona, per iniziativa della Luz, fu costruita una serie di nove impianti presso Dagget, Kramer Junction e Harper Lake. Il complesso, conosciuto come SEGS (*Solar Energy Generating System*) continua ad operare ancora oggi e, con una potenza complessiva di 354 MW, è il più grande del mondo, dopo Ivanpah, impianto da 377 MW, presente nella stessa area desertica.



Il successo di questa tecnologia ha convinto molti operatori a sperimentarla in altre aree del pianeta. Così, stando ai dati REN21, a fine 2013, la potenza di concentratori solari installata nel mondo supera i 3.400 MW (TAV. 2.2). Gli impianti più grandi, oltre a quelli americani appena citati, si trovano in Spagna, nel complesso Andasol (150 MW a Guadix), Solnova (150 MW a Sanlúcar la Major) e Extresol (150 MW a Torre de Miguel Sesmero). Nuove iniziative sono in fase di sperimentazione, tra gli altri, in Australia, Thailandia, Italia, Germania, Iran, Emirati Arabi, Algeria e Marocco.

TAV. 2.2 - Capacità installata di solare a concentrazione nel mondo (MW)



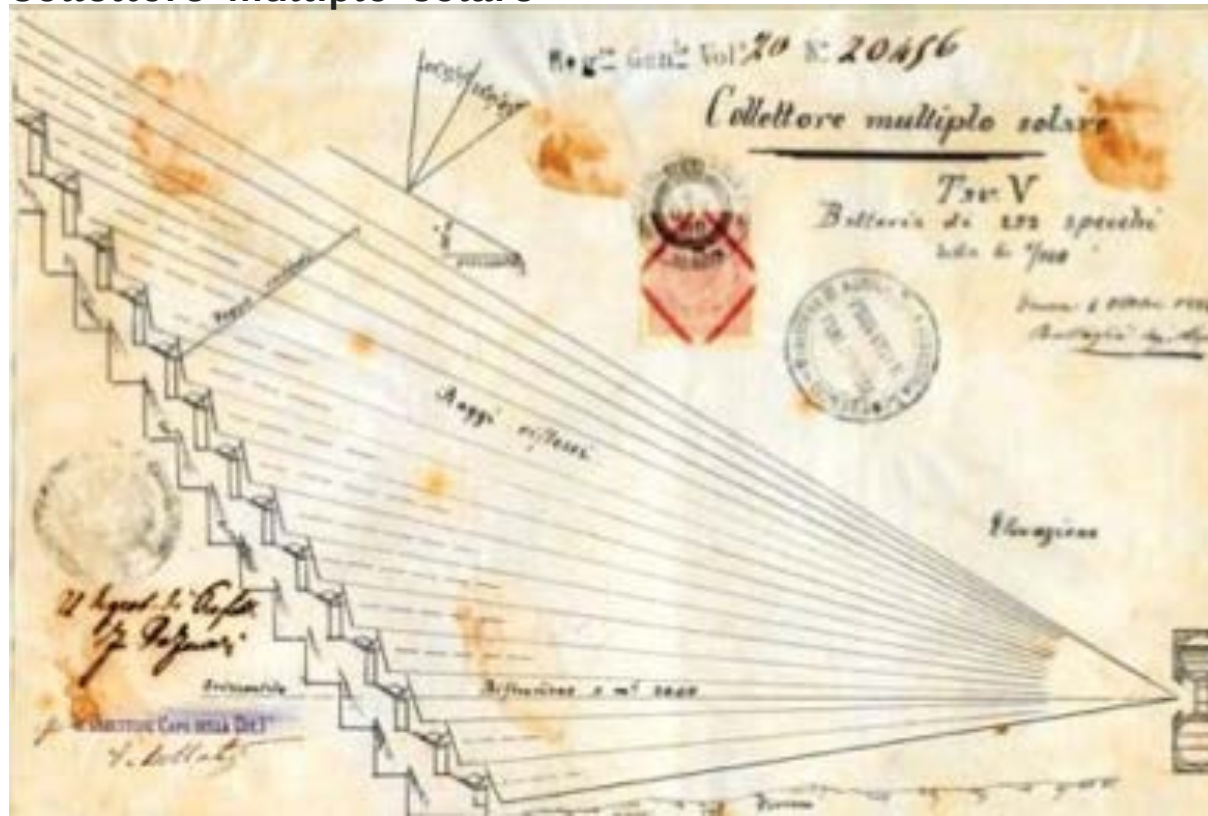
Fonte: REN21, Renewables 2014. Global Status Report

2.3 L'energia solare in Italia

In Italia, le prime ricerche sistematiche sui pannelli solari termici furono condotte dal Politecnico di Milano soltanto all'inizio degli anni Sessanta del secolo scorso, nell'ambito di un programma coordinato e finanziato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). I primi modelli commerciali iniziarono a diffondersi lentamente nella seconda metà degli anni Settanta e, nonostante che una promozione Enel negli anni Ottanta puntasse all'installazione di 100.000 mq di pannelli, si dovette attendere la fine del secolo per vedere qualche significativa applicazione della tecnologia, essenzialmente grazie ad un programma di incentivazione da parte dello Stato.

La ricerca sulla concentrazione dei raggi solari andò invece di pari passo con gli esperimenti di Mouchot. Nel 1884 Alessandro Battaglia brevettò un "Collettore Multiplo Solare" basato sugli stessi principi. Poco dopo, Rodolfo Mathis brevettò un "Elio-pulsatore", una pompa alimentata da raggi solari raccolti e concentrati da un sistema capace di orientarsi automaticamente verso il sole durante il giorno. Pasquale Gabelli brevettò invece l'uso di un particolare tipo di specchi parabolici. Nessuna di queste idee superò tuttavia lo stadio sperimentale, per la mancanza di competitività economica nei confronti delle alternative offerte dalle altre fonti energetiche. L'idea rimase in Italia a livello di curiosità scientifica fino a quando, nel periodo fascista, l'autarchia spinse gli scienziati ad occuparsene nuovamente ed a cercare nuove strade. Gio-

Collettore multiplo solare



vanni Andri presentò alla Fiera di Tripoli, nel 1936, un suo brevetto per la costruzione di un motore solare la cui adozione fu caldeggiata dal Ministero delle Colonie per sostenere le attività agricole nell'Africa Orientale ed in Libia. Qualche altro esperimento non mancò, come ad esempio quello di Daniele Gasperini (1895 - 1960) che inventò un motore solare che presentò alla prima fiera mondiale dell'energia solare svoltasi a Phoenix, in Arizona, nel 1955.

Studi sulle radiazioni solari e sulle possibili applicazioni andarono avanti al Politecnico di Milano con il Professor Amerio, ma la Seconda Guerra Mondiale sconvolse ancora una volta la priorità nell'uso delle risorse. Si tornò a parlare di queste applicazioni alla Conferenza Internazionale sulle nuove fonti

di energia promossa dalle Nazioni Unite a Roma nel 1961. In quella circostanza, Giovanni Francia, un ricercatore torinese che lavorava sulla concentrazione dei raggi solari, presentò un dispositivo con il quale era riuscito a raggiungere la temperatura di 290 °C.

Il suo obiettivo era di usare il calore solare, abbondante e gratuito, per generare vapore a condizioni compatibili con la produzione di energia elettrica. Nel 1965 realizzò un impianto sperimentale a Sant'Ilario, vicino Genova e molte delle sue idee trovano oggi concreta applicazione nei grandi impianti solari finora realizzati nel mondo. Forti di queste esperienze, Enel e CNR sottoscrissero un accordo italo-franco-tedesco per la costruzione di una centrale solare sperimentale (chiamata Eurelios) ad Adrano, in provincia di Catania. L'impianto, della potenza di 1 MW, funzionò dal 1981 al 1987. Si trattava di specchi che si orientavano automaticamente durante il giorno per catturare i raggi solari concentrando l'energia su una caldaia posta su una torre a 50 metri da terra.

Un sistema di accumulo del vapore compensava la variabilità meteorologica. I risultati non furono brillanti, ma era lo scotto da pagare per acquisire l'esperienza necessaria a migliorare il rendimento energetico e soprattutto a trovare soluzioni che abbattessero i rilevanti costi di investimento e di esercizio per un tale tipo di impianto. In seguito Enel, in collaborazione con Ansaldo, studiò la potenzialità delle parabole lineari ed i loro limiti di applicazione nel contesto italiano. Nel 1992 l'ENEA, da parte sua, iniziò lo sviluppo del cosiddetto

progetto Rubbia che, fra molte contestazioni scientifiche, portò alla costruzione dell'impianto "Archimede" a Priolo, in Sicilia. L'impianto, della potenza di 5 MW, è entrato in funzione nel 2010 ed usa specchi a parabola lineare disposti su una superficie di tre ettari di terreno che fanno convergere la luce solare su 5.400 metri di tubazioni nelle quali scorre una miscela di sali fusi. Una speciale vernice foto assorbente (brevetto ENEA) aumenta la capacità di assorbimento della radiazione da parte del sistema. Il fluido di scambio raggiunge una

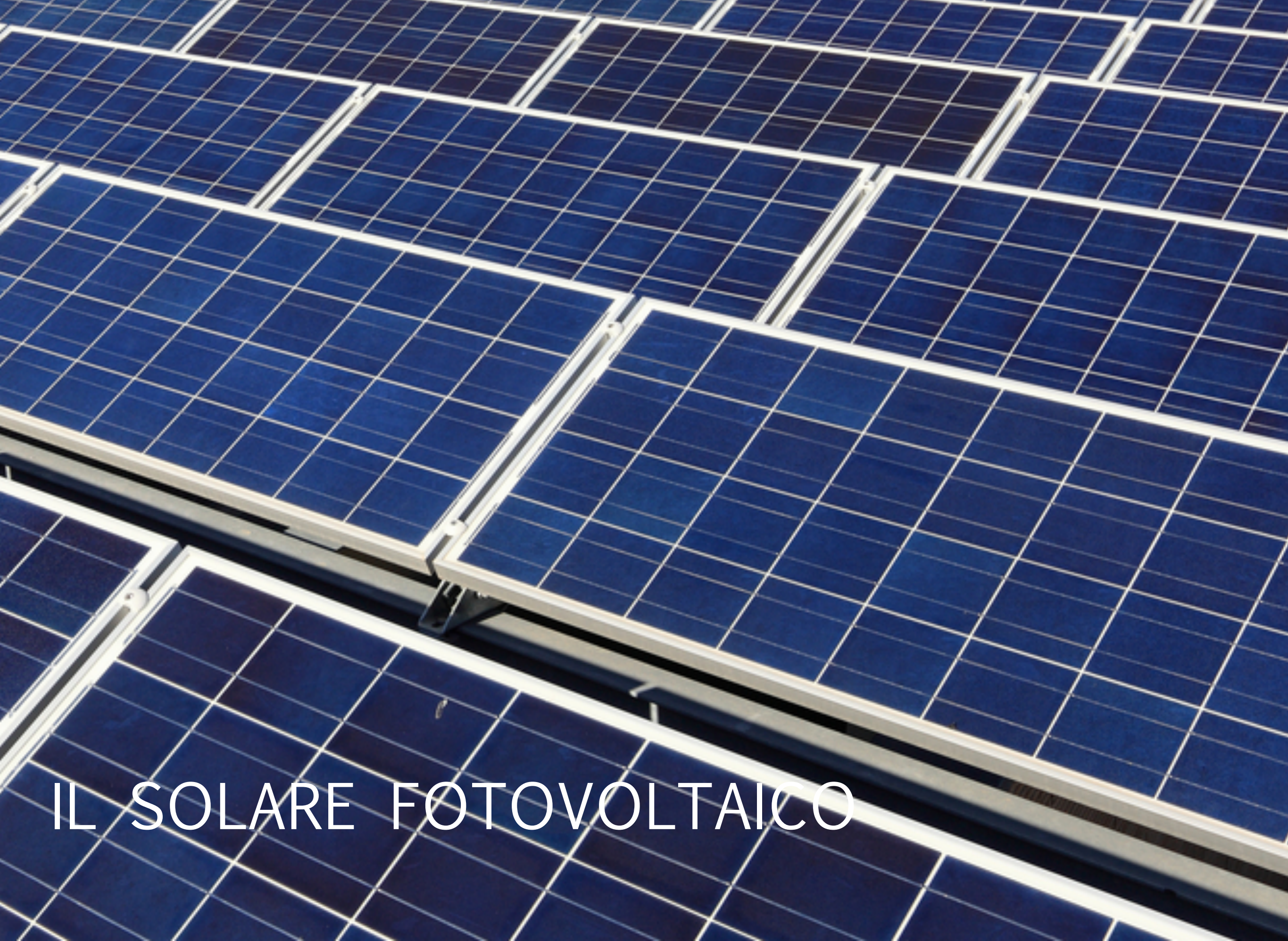
temperatura di circa 550 °C e, dopo aver generato il vapore per la produzione elettrica, torna in ciclo a circa 290 °C. Per far fronte a periodi di scarsa insolazione, la generazione elettrica è garantita in parallelo da una alimentazione della caldaia con gas naturale.

A parte i costi, esistono molte perplessità, da parte degli scienziati sull'uso di questo tipo di tecnologia nelle condizioni climatiche del nostro Paese.

Impianto Enel "Archimede", Priolo Gargallo (SR), Italia - 5 MW

Il progetto Archimede rappresenta la prima applicazione a livello mondiale di integrazione tra un ciclo combinato a gas e un impianto solare termodinamico. L'impianto solare a concentrazione incrementa la potenza del ciclo combinato di circa 5 MW e permette di produrre una quantità di energia elettrica aggiuntiva da fonte solare tale da soddisfare il fabbisogno di 5.000 abitanti.





IL SOLARE FOTOVOLTAICO



3.1 Nascita e sviluppo dell'energia fotovoltaica

Se l'uso del calore solare ha aiutato l'umanità nei secoli in vari modi, la scoperta dell'effetto fotovoltaico, cioè la possibilità di generare energia direttamente dalla luce solare, è avvenuta abbastanza recentemente ed in modo piuttosto casuale. Fu il fisico francese Edmond Becquerel a scoprire nel 1839, a soli diciannove anni, che in una cella elettrolitica, con due identici elettrodi al platino, si generava una differenza di potenziale quando uno di essi era illuminato e l'altro restava al buio e che questa differenza dipendeva sia dall'intensità della luce, sia dal suo colore (ossia la sua frequenza).

Del resto, nella seconda metà dell'Ottocento, durante la posa in mare del cavo telegrafico transatlantico fra America ed Europa¹, i tecnici addetti alla verifica delle condizioni del cavo, osservarono che il selenio, un elemento chimico usato nel manufatto, esposto alla luce in certe condizioni, era in grado di fornire una corrente elettrica.

Mentre la spiegazione scientifica di questi fenomeni sarebbe arrivata soltanto dalle elaborazioni di fisica quantica di Einstein, i tentativi di sfruttarli a fini pratici iniziarono quasi subito. Willoughby Smith, nel 1873 scoprì la fotoconducibilità del selenio e tre anni dopo due scienziati inglesi, William G. Adams e Richard E. Day, studiarono a fondo il fenomeno, al quale diedero il nome di "effetto fotoelettrico", concludendo che il selenio poteva convertire la luce del

sole direttamente in elettricità senza utilizzare parti mobili o riscaldare un fluido.

Publicità pannello fotovoltaico Bell

Where voices are powered by the sun



Lineman mounting solar battery on pole near Americus, Ga. The battery supplies power directly to the line by day and also charges a storage battery for night-time use. The solar battery contains 422 specially prepared silicon cells, cushioned in oil and covered by glass.

A new kind of telephone system developed by Bell Telephone Laboratories for rural areas is being operated experimentally by electric current derived from sunlight. Electric current is generated as sunlight falls on the Bell Solar Battery, which a lineman is seen adjusting in position.

The exciting achievement is made possible by two Laboratories inventions—the solar battery and the transistor. The new system uses transistors to the complete exclusion of electron tubes.

Transistors require little power and this power can be easily supplied by the solar battery.

Compact and economical, the transistorized system can carry several voices simultaneously without interference. It has proved its ruggedness by standing up to heat, cold, rain and lightning. It promises more and improved telephone service for rural areas and it typifies the Laboratories' continuing efforts to make American telephony still better each year.



In sending and receiving terminals, transistors are used as oscillators, amplifiers and regulators, and for signaling.



One of the transistors (actual size) used in the new system. New ideas, new tools, new equipment and new methods had to be developed for this project.

BELL TELEPHONE LABORATORIES

IMPROVING AMERICA'S TELEPHONE SERVICE PROVIDES CAREERS FOR CREATIVE MEN IN SCIENTIFIC AND TECHNICAL FIELDS

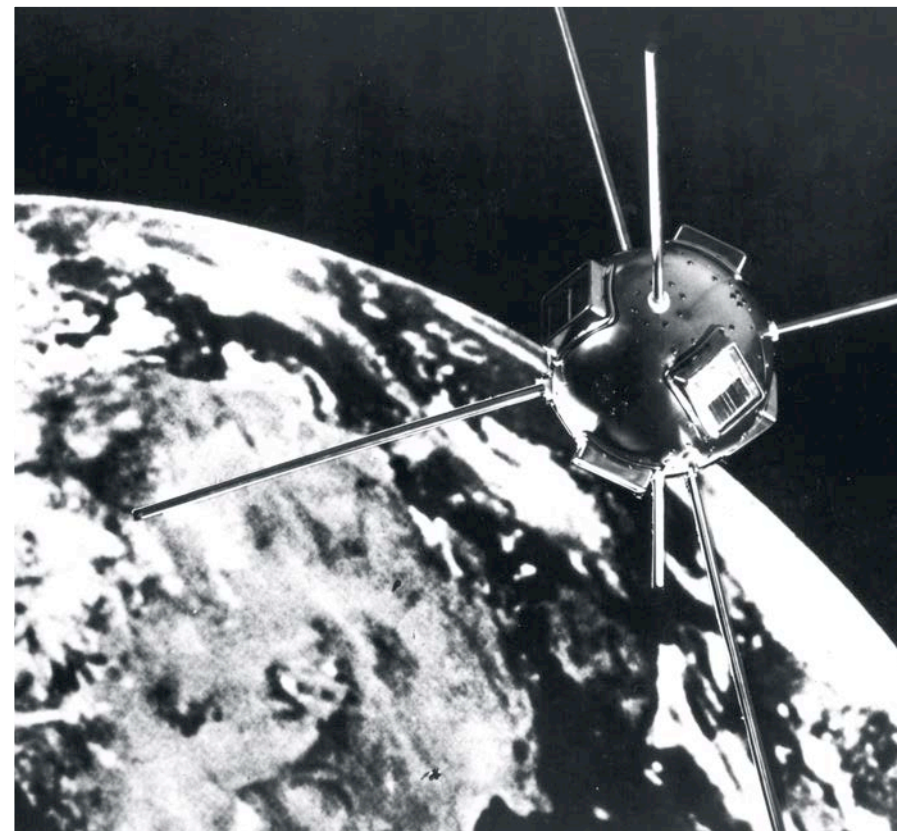
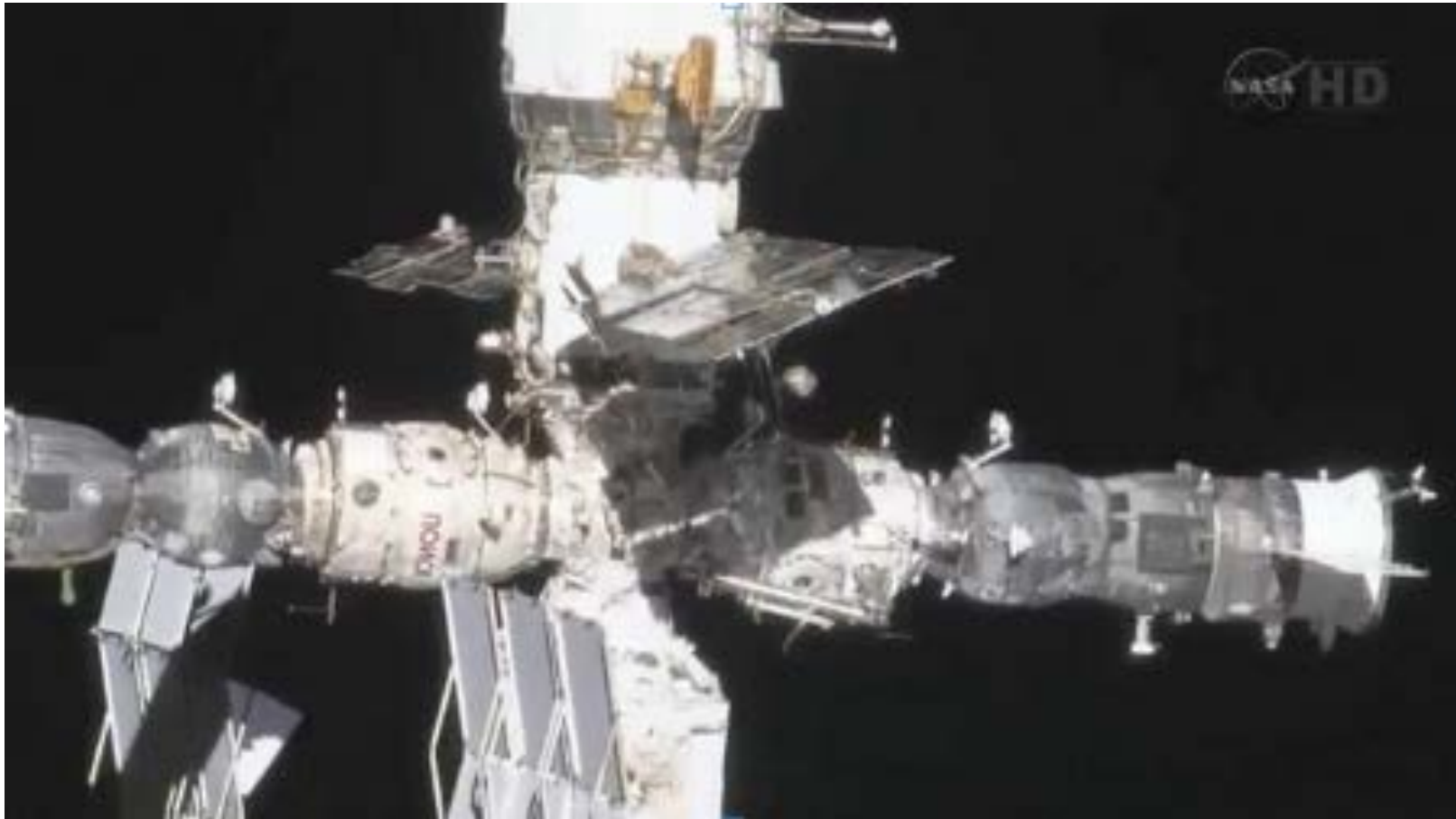


Il primo a tentare uno sfruttamento pratico del fenomeno fu Charles Fritts, che costruì un prototipo di pannello fotoelettrico nel 1883. Soddisfatto dei risultati sperimentali, fece avere la documentazione del suo lavoro a Werner von Siemens, fondatore di un'azienda elettrica di tutto rilievo ed a sua volta autore di ricerche sulle proprietà del selenio. Entusiasta, Siemens portò i risultati all'Accademia di Prussia, ma non se ne fece nulla. I congegni di Fritts rendevano possibile la conversione diretta della luce in elettricità, senza passare attraverso il calore, ma erano estremamente costosi e soltanto una minuscola parte dell'energia incidente si trasformava in elettricità. L'applicazione rimase così una semplice curiosità scientifica, senza prospettive di sviluppo industriale, almeno nel medio termine.

L'idea tuttavia non fu abbandonata e gli esperimenti in laboratorio portarono a migliorare i rendimenti delle celle fotovoltaiche fino a quando, nel 1931, il tedesco Bruno Lange, con pannelli di nuova concezione ottenne una resa di conversione dell'1%. Ancora nel 1935 però E.D. Wilson, della Westinghouse, non vedeva futuro per le celle a selenio e l'idea fu messa da parte per quasi un ventennio.

Le novità arrivarono dopo la guerra dai laboratori della Bell, azienda famosa per i brevetti sul laser e sul transistor. Russel Ohl aveva scoperto nel 1939 che erano le impurità all'interno dei cristalli a creare la barriera di potenziale fra aree a diversa concentrazione e brevettò nel 1946 una prima batteria solare al selenio. Negli stessi laboratori, Gerald Pearson,

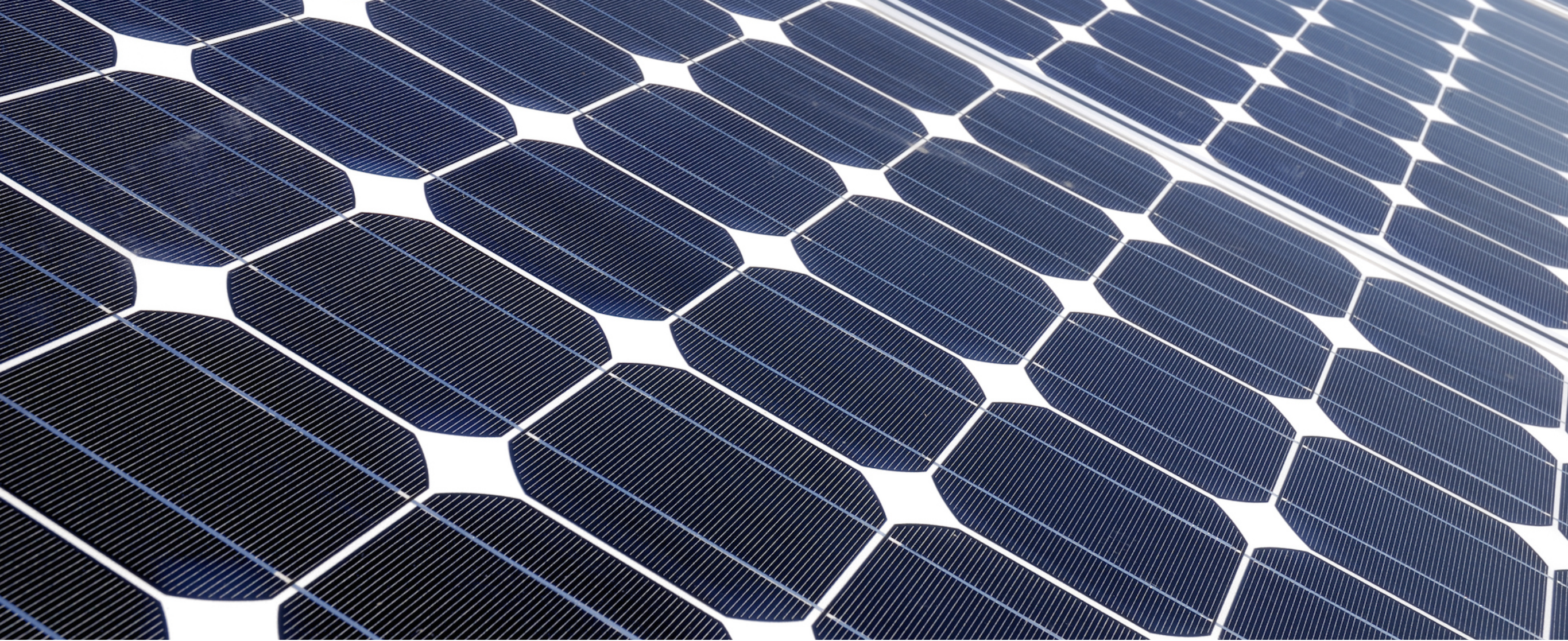
Fotovoltaico nei satelliti



che studiava le proprietà del silicio per le sue possibili applicazioni nelle apparecchiature elettroniche, quasi casualmente constatò che una cella al silicio aveva un rendimento decisamente superiore a quello delle celle al selenio.

Altri due scienziati della Bell, Daryl Chapin e Calvin Fuller, perfezionarono la cella e realizzarono nel 1954 il prototipo della “batteria solare Bell”, capace di alimentare dispositivi elettrici di uso quotidiano: il rendimento era salito a circa il 6%. Anche questo notevole progresso sarebbe tuttavia rimasto soltanto una curiosità se non si fosse presentata un’opportunità unica ed imprevista.

Quando iniziò l’avventura dell’esplorazione dello spazio fu chiaro a tutti che occorreva inventarsi qualcosa per impedire che, dopo un paio di settimane, tutte le attrezzature a bordo dei costosi satelliti finissero di funzionare per la mancanza di energia causata dall’esaurimento



delle batterie tradizionali. Anche se Esercito ed Aeronautica americana seguivano da tempo i lavori della Bell, non fu facile convincere la NASA a sperimentare la cella a bordo dei primi satelliti. Hans Ziegler, genio delle trasmissioni dell'Esercito, riuscì a convincere i colleghi a fare almeno un esperimento. Così la Marina Americana installò a bordo del satellite Vanguard due sorgenti di energia: delle batterie chimiche

tradizionali e delle celle al silicio. Le batterie si fermarono dopo una decina di giorni, mentre le celle continuarono a funzionare per anni. Le celle, accettate inizialmente come soluzione temporanea, in attesa che fossero sviluppate le tecnologie nucleari previste dai progettisti dei primi satelliti, divennero in questo modo la tecnologia energetica preferita nell'esplorazione dello spazio.

Il successo spaziale aprì alle celle fotovoltaiche un vastissimo campo di impieghi, dall'osservazione meteorologica alle telecomunicazioni, ma i costi rendevano i dispositivi ancora troppo onerosi per le normali applicazioni terrestri, anche se negli anni Sessanta si pensò di produrre il silicio in nastri, evitando così gli sprechi del taglio dei lingotti usato fino ad allora.

Alla fine degli anni Sessanta, Elliot Berman, dopo un decennio di ricerche sullo sviluppo di materiale fotografico innovativo, cambiò settore e si concentrò sul modo di abbassare drasticamente il costo di fabbricazione delle celle.

La sua azienda (la *Solar Power Corporation*) finanziata dalla Exxon, riuscì a ridurre il costo dei moduli ad un decimo di quello fino allora sperimentato nelle applicazioni spaziali. Da prodotto di nicchia le celle divennero così la soluzione da adottare là dove, in aree non servite dalle reti tradizionali, il fabbisogno elettrico fosse compatibile con la loro potenza.

Non deve sorprendere l'interesse di una società petrolifera a finanziare una ricerca del genere. Illuminare le piattaforme *offshore* ed avere dispositivi capaci di generare elettricità in zone impervie senza dover ricorrere a ingombranti motori diesel e costose batterie chimiche di accumulo, erano problemi non indifferenti da risolvere.

I primi acquirenti della nuova tecnologia furono, infatti, le compagnie petrolifere. Oltre a segnalare la posizione delle piattaforme, le celle consentivano nei campi di coltivazione di olio e gas anche la produzione di quel quantitativo di elettri-

cità necessario a combattere la corrosione dei condotti e delle teste pozzo con la tecnica della protezione catodica.

Oltre a Exxon, anche Mobil, ARCO ed Amoco trovarono interessante partecipare allo sviluppo dell'energia fotovoltaica. Erano i tempi nei quali le multinazionali pensavano che la loro sopravvivenza si potesse assicurare soltanto con una notevole diversificazione e non mancavano loro risorse per lanciarsi in attività estranee al core business. Se Exxon creò Solar Power, Mobil entrò in partnership con Tyco, ma i tempi mutarono rapidamente e prima della fine degli anni Novanta tutte le compagnie petrolifere uscirono dal settore per la non attraente economicità. Nelle applicazioni della nuova tecnologia, all'industria petrolifera seguì quella delle telecomunicazioni. Un ingegnere, John Oades, progettò nel 1974 un ripetitore che non necessitava di grande potenza. Si pose così fine alla necessità di portare in zone scomode e fuori dalle reti di comunicazione, carburante e batterie necessari a tenere attivi questi dispositivi. Per l'Australia fu una svolta: il continente infatti è molto esteso e la popolazione è limitata e concentrata in poche aree, lontanissime le une dalle altre.

Nel 1977 la Guardia Costiera americana adottò la tecnologia con un programma per l'alimentazione di boe in mare e fari sulla costa. Fu poi la volta di dispositivi di segnalazione e sicurezza del traffico ferroviario, con l'eliminazione della necessità di installare pali e linee telefoniche lungo i binari. Ben presto le applicazioni si estesero dagli Stati Uniti a molte altre nazioni, Italia compresa. Nonostante i costi fossero anco-



La partnership tra Enel Green Power e Barefoot College (a cura di Enel Green Power)

Enel appoggia le Nazioni Unite nel progetto Energia sostenibile per tutti (*Sustainable energy for all*) con il programma *Enabling Electricity*. Il programma, basato su più aree di intervento, comprende anche la partnership tra Enel Green Power e Barefoot College. Il principale tratto distintivo dell'approccio "Barefoot" consiste nell'individuazione di giovani donne analfabete o semianalfabete (di età compresa tra i 35 e i 50 anni) per un programma di formazione che le trasformi in *Solar Engineers* (BSE). Una volta selezionate, queste donne si trasferiscono per sei mesi nel Barefoot College in India (Tilonia, Rajasthan) dove imparano a installare e mantenere i piccoli impianti fotovoltaici. La formazione avviene attraverso gesti, suoni e colori in modo da poter comunicare efficacemente anche senza condividere la stessa lingua. Al termine del *training*, le donne tornano nei loro villaggi di origine per portare, grazie ai kit fotovoltaici messi a disposizione da Enel Green Power, luce, sviluppo e lavoro.

Il progetto ad oggi ha coinvolto complessivamente 37 donne - provenienti da villaggi isolati, poveri e senza accesso all'elettricità di Messico, Panama, Colombia, Brasile, Perù, Cile, El Salvador, Guatemala ed Ecuador. Dall'avvio nel 2012 il progetto ha coinvolto 41 comunità con la collaborazione di 10 ONG locali, consentendo l'accesso all'energia a oltre 2.400 famiglie.

Per raccontare il progetto Enel Green Power ha presentato il documentario "Bring the Sun Home".

ra particolarmente alti, ovunque ci si trovasse lontano da qualsiasi fonte energetica o rete distributiva, diventò ragionevole usare energia fotovoltaica per le necessità impellenti. Quando, ad esempio, nel Sahel la grande siccità colpì il Mali, dove il missionario Padre Verspieren tentava di dare una mano a quelle popolazioni, una studentessa del Politecnico di Parigi, Dominique Campana, stava sviluppando per la sua tesi di dottorato un sistema di alimentazione di pompe idriche con elettricità fotovoltaica. L'esperimento diede ottimi risultati ed il missionario, visto il dispositivo, si affrettò ad adottarlo, lanciando nel 1977 un programma di pompaggio di acqua dalle falde sotterranee.

Nacque "Mali Aqua Viva", che ancora oggi rappresenta un modello di riferimento non solo per molti paesi africani, ma anche per Messico, India ed America Centrale.

Ad oggi esistono ancora zone nelle quali vivono due milioni di persone che non hanno accesso all'energia elettrica. Come dimostra l'esperimento del Mali, l'energia fotovoltaica può essere un qualcosa in più di una semplice energia pulita e apportare notevoli vantaggi in termini di qualità della vita, in particolare in aree in cui risulterebbe dispendiosa e di difficile realizzazione l'installazione di lunghe linee di trasmissione. Nel frattempo la ricerca continua a progredire, nel tentativo di trovare soluzioni che abbattano i costi e migliorino i rendimenti di trasformazione. Nell'ambito delle applicazioni spaziali si sono usate celle all'arseniuro di gallio. Successivamente si sono sperimentati materiali quali fosfuri (di iodio o zinco), se-

leniuri (di rame o tungsteno), telluriuri. Si tratta di composti assai dispendiosi e dai nomi incomprensibili, ma in laboratorio si sono raggiunte efficienze di trasformazione anche superiori al 50%. Molto meno costose, e sfortunatamente meno efficienti, si sono rivelate le soluzioni con silicio policristallino o amorfo. Come si inserisce l'Italia in questo percorso di ricerca e sviluppo?

3.2 Fotovoltaico in Italia

Come abbiamo già detto, le Nazioni Unite organizzarono a Roma nel 1961 la prima Conferenza Internazionale sulle “Fonti di Energia Nuove e Rinnovabili”. Furono presentati parecchi studi sul fotovoltaico, diffusi successivamente fra gli addetti ai lavori dalla “Rassegna di Eliotecnica”. Negli anni seguenti furono pubblicati numerosi lavori di ricercatori italiani e fu organizzata la Sezione Italiana della *International Solar Energy Society* (ISES). Nel 1969 la Selenia, del gruppo IRI, avviò la produzione delle celle solari per uso spaziale che furono usate sul satellite SIRIO, rimasto attivo per più di dieci anni. Ancor oggi questa applicazione è considerata uno dei maggiori successi conseguiti dal nostro Paese nelle esplorazioni spaziali.

Nel 1979 fu realizzato, al Passo di Mandriola, nell'Appennino cesenate, il primo impianto fotovoltaico italiano da 1 kW, dovuto alla collaborazione di Enel, CNR, Helios Technology che,

abbinando la tecnologia fotovoltaica a quella eolica, raggiunse l'obiettivo di evitare l'abbandono dell'area da parte di persone stanche di vivere in modo disagiato per la carenza di energia. Fu poi la volta di due importanti realizzazioni: sull'isola di Vulcano nel 1984 e dieci anni dopo a Serre Persano, in provincia di Salerno².

Negli anni Novanta, con 14 MW, l'Italia era al primo posto in Europa per potenza installata e nel 1993 fu preparato il primo Piano Fotovoltaico Nazionale, alla stesura del quale parteciparono Enel, ENEA, Eni ed Helios Technology. Poi l'attenzione di governo ed imprese fu temporaneamente distratta dai processi di privatizzazione e liberalizzazione fino all'approva-

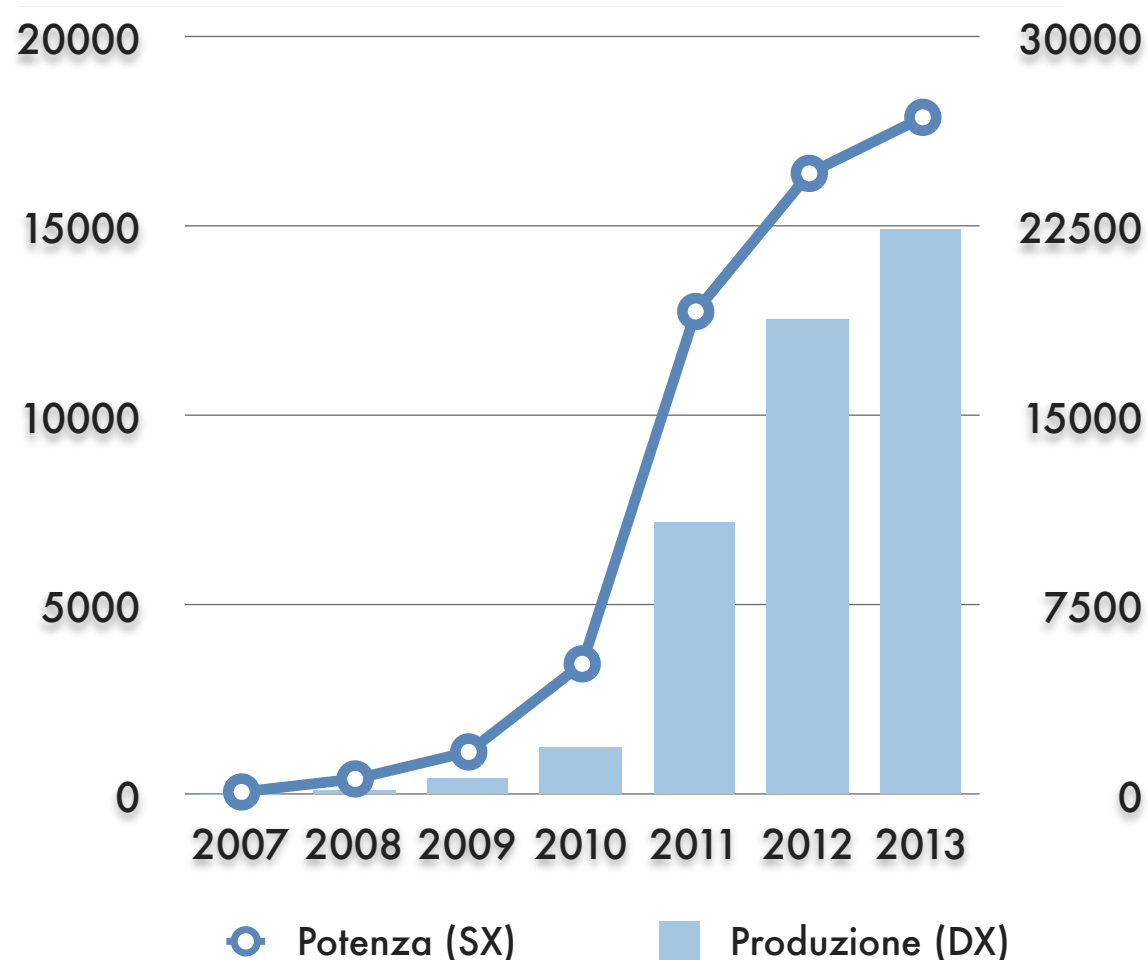


zione, da parte del CIPE nel 1999, del Libro Bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili. Il piano fissò per il fotovoltaico un obiettivo di 300 – 500 MW da installare entro il 2010. Partirono quindi vari programmi di incentivazione da parte di MATTM e delle Regioni che tuttavia portarono soltanto all'installazione di una ventina di MW che, sommati a quelli esistenti, portarono la capacità totale nel 2005 a 30/40 MW. Il salto di qualità e di quantità avvenne con la creazione del cosiddetto "Conto energia". In pochi mesi si superò il tetto incentivabile stabilito a 100 MW e fu necessario nel 2006 modificare il provvedimento. Nel 2007 si passò ad un secondo "Conto energia" per favorire le soluzioni integrate nei manufatti edili. Ad esso seguirono altri due aggiornamenti con incentivi che arrivarono a 44 c/kWh. La potenza installata ha raggiunto, secondo dati del GSE, circa 17.900 MW a fine 2013.

Con questi provvedimenti però il costo annuo di incentivazione da pagare in bolletta elettrica per il solo fotovoltaico salì a 6 miliardi di euro prima dell'intervento del governo "tecnico" nel 2012. La domanda che alcuni si pongono è: "Quanto è alto il rischio che fra qualche anno tanta produzione da fotovoltaico non sia più competitiva perché generata da sistemi tecnologicamente ormai sorpassati?" Le dimensioni dell'operazione si apprezzano ancor più dal confronto con gli altri paesi nel mondo, considerando che quasi non esiste, da parte italiana, tecnologia autoctona e che tutti o quasi i componenti necessari devono essere importati.

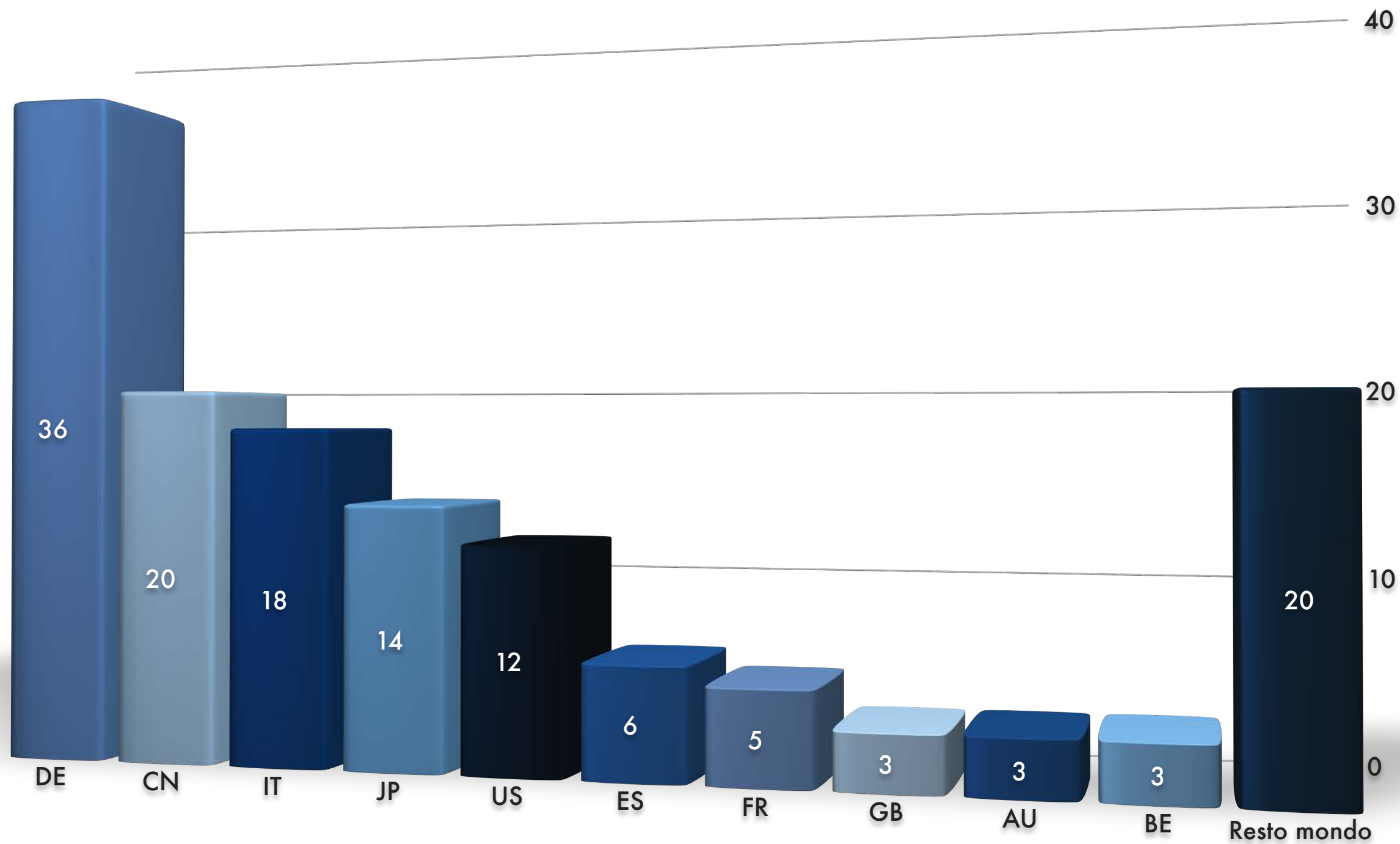
In Italia si registra quindi quasi un quinto della potenza fotovoltaica installata in tutto il mondo. Le ore di utilizzazione dell'intero parco fotovoltaico italiano sono state pari nel 2012 a 1.312 rispetto alle 1.325 del 2011, le 1.195 del 2010 e le 1.163 del 2009³. La prevalenza delle installazioni non si colloca là dove mediamente c'è più luce ma è situata, per quasi la metà, al Nord.

TAV. 3.1 - Potenza e produzione fotovoltaica in Italia (MW e GWh)



Fonte: GSE

TAV. 3.2 - Potenza fotovoltaica mondiale - 2013 (GW)



Fonte: REN21, Renewables 2014. Global Status Report



NOTE

1 La stesura del cavo tra la Scozia e Terranova, dopo molti tentativi andati a vuoto fu completata nel 1866.

2 A Vulcano l'impianto da 80 kW di potenza alimenta una sessantina di abitazioni. Serre Persano invece con una potenza installata superiore a 3 MW è l'impianto fotovoltaico più grande d'Europa.

3 GSE, Rapporto statistico 2012. Impianti a fonti rinnovabili, settore elettrico.



LA GEOTERMIA



4.1 La geotermia tradizionale

L'energia geotermica deriva dal calore endogeno della Terra che risale in parte alle origini stesse del pianeta, in parte è dovuto al decadimento di isotopi radioattivi presenti all'interno del mantello, lo strato di circa 2.900 chilometri sottostante la cosiddetta crosta terrestre. Considerando che al centro della Terra il magma incandescente di ferro e nichel ha una temperatura di circa 6.000 °C, il calore che si propaga verso la superficie è in quantità enorme, pari ad una potenza di 600 W per ettaro, o teoricamente, in un anno sul suolo italiano, di quasi 3.000 kWh per abitante.

Soltanto fra il sedicesimo ed il diciassettesimo secolo, scavando nelle prime miniere a qualche centinaio di metri di profondità, ci si rese conto che la temperatura del sottosuolo aumentava di circa 30 °C ogni mille metri. Da allora sono state sviluppate numerose teorie e modelli, fino a teorizzare che non c'è equilibrio fra calore disperso verso lo spazio e calore endogeno e radiogenico, con la conseguenza paradossale che, in un periodo considerato di *global warming*, il nostro pianeta si sta lentamente raffreddando.

Vulcani, sorgenti termali, geysir, sono da millenni il segno evidente dello sprigionarsi, a volte capriccioso, di questo tipo di energia. Sappiamo che gli Etruschi di Volterra, tre secoli prima di Cristo, usavano l'acido borico proveniente dai soffioni sia a scopo medico, sia per rendere brillanti i colori degli smalti delle loro ceramiche. Licofrone, poeta ed erudito greco, del 330 a.C. e Lucrezio Caro nel primo secolo a.C. descrissero questi fenomeni naturali; Plinio il Vecchio fu testimone e vittima dell'eruzione del Vesuvio; Virgilio individua la porta d'ingresso agli Inferi nella zona dei Campi Flegrei. In altre parti del mondo, la dinastia Qin in Cina costruì una piscina termale a Xian, dove sorge oggi il palazzo di Huaqing. In Britannia, ad Aquae Sulis, (l'odierna Bath) i romani usarono le sorgenti calde per alimentare i bagni pubblici. I Maori migrati in Nuova Zelanda intorno al 1300, usavano i laghi bollenti per detergere tessuti, bollire il pesce, essiccare i cibi. Esperienze simili hanno avuto gli abitanti dell'Islanda e di alcune zone del Messico. Sappiamo poi che Lorenzo il Magnifico aveva una residenza a Bagno al Morbo (presso Larderello) dove con la famiglia faceva uso delle locali acque termali. Il primo utilizzo semi industriale dei soffioni per produrre acido borico si ebbe in Toscana nel 1777 a Montecerboli ad opera di Francesco Hofer, Direttore delle Farmacie del Granducato. Il paesino si trova al centro della "Valle del Diavolo", così chiamata a causa del suo paesaggio, caratterizzato dalla presenza di soffioni con alte colonne di vapori bianchi, ispiratori dei lugubri siti descritti da Dante nei versi dell'Inferno.

Fumarole



La "Valle del Diavolo"



Fu un giovane ufficiale francese, Francois Larderel, giunto in Toscana al seguito delle armate napoleoniche e lì rimasto, a mettere a punto nel 1818, una nuova tecnica per la raccolta dei vapori, l'estrazione dell'acido borico e l'utilizzo dei fanghi associati al processo.

Le acque boriche erano fatte fluire in grosse vasche di evaporazione con cunicoli a cielo aperto; al di sotto delle vasche si accendeva un fuoco di legna che permetteva di concentrare la soluzione ed ottenere la cristallizzazione del boro.

A questo procedimento seguiva un processo di raffinazione del prodotto. Questa tecnica produttiva poco per volta portò al disboscamento dapprima delle zone limitrofe e successivamente di quelle più lontane dalla fabbrica. I costi crescenti del trasporto rendevano nel tempo la produzione sempre più onerosa, con il rischio di mettere fuori mercato l'attività.

Verso il 1826 Larderel innovò profondamente il procedimento con la tecnica del lagone coperto che sfruttava il calore in uscita dal suolo; sostituì i condotti aperti con tubazioni chiuse.



se ed eliminò completamente l'uso della legna. Perfezionata la tecnica produttiva, iniziò nel 1828 a perforare pozzi appositi alla ricerca di altro vapore, sia per aumentare la produzione, sia per ottenere energia per mandare avanti la fabbrica. Cominciò così a sfruttare l'energia meccanica del vapore per sollevare l'acqua ed azionare le pompe e gli argani impiegati nella perforazione.

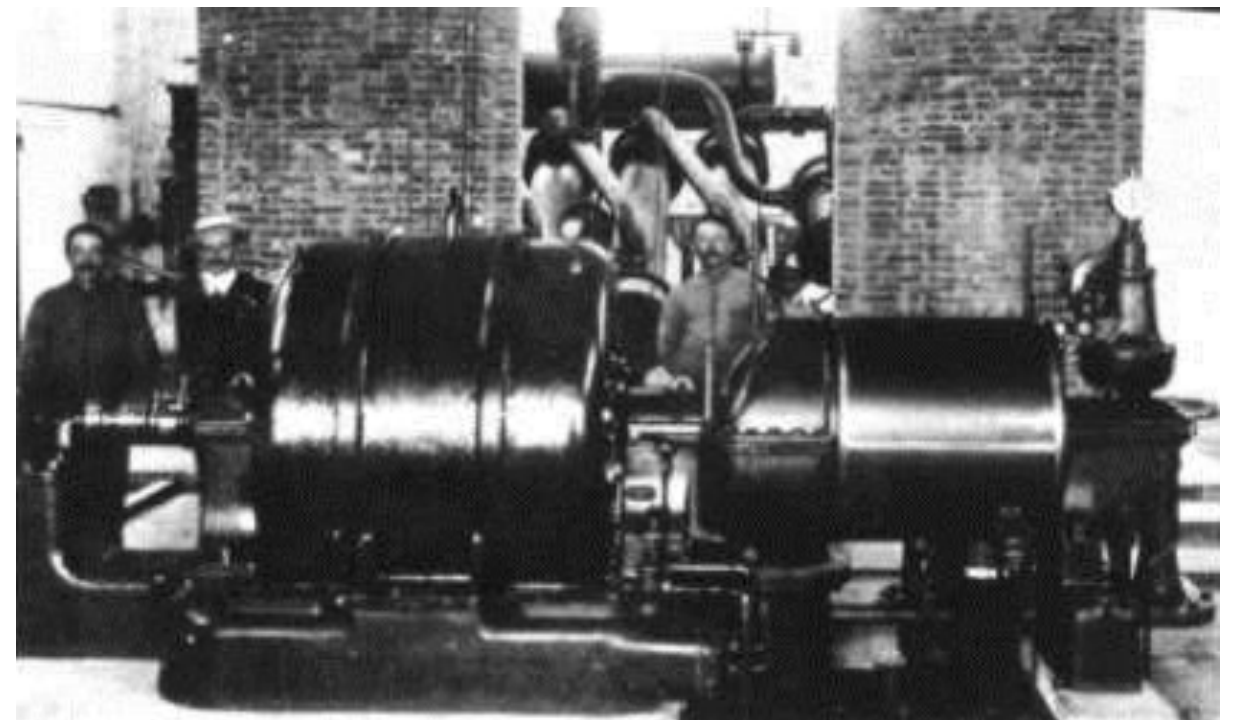
Tra il 1850 ed il 1875 il complesso raggiunse praticamente il monopolio europeo della produzione di acido borico. Larderel accumulò rapidamente un cospicuo patrimonio che utilizzò per promuovere l'occupazione nell'area di Pomarance, dove abitava, e migliorarne le condizioni ambientali. Grato del contributo dato al Granducato, Leopoldo II lo nominò nel 1846 conte di Montecerboli, sede originale dello stabilimento e mutò in Larderello il nome della località. Larderel morì nel 1858, ma la sua impresa, lasciata nelle buone mani prima del figlio Federigo e poi del nipote Florestano, continuò a prosperare e rinnovarsi. Ad esempio, nel 1894, Ferdinando Reynant, Direttore Generale delle Fabbriche, fece costruire la prima caldaia alimentata direttamente dal fluido endogeno e ne usò il vapore per azionare tutte le macchine dell'azienda. Una svolta decisiva arrivò quando il Principe Ginori Conti, che aveva sposato una pronipote di Larderel, prese la guida del complesso e si concentrò su due obiettivi: da un lato accrescere la produzione e migliorare la qualità del prodotto, che già godeva di buona fama internazionale, dall'altro sfruttare ancor meglio l'energia termica dei soffioni e, se possibile, far-

ne dell'elettricità, la nuova forma di energia che stava rapidamente prendendo piede.

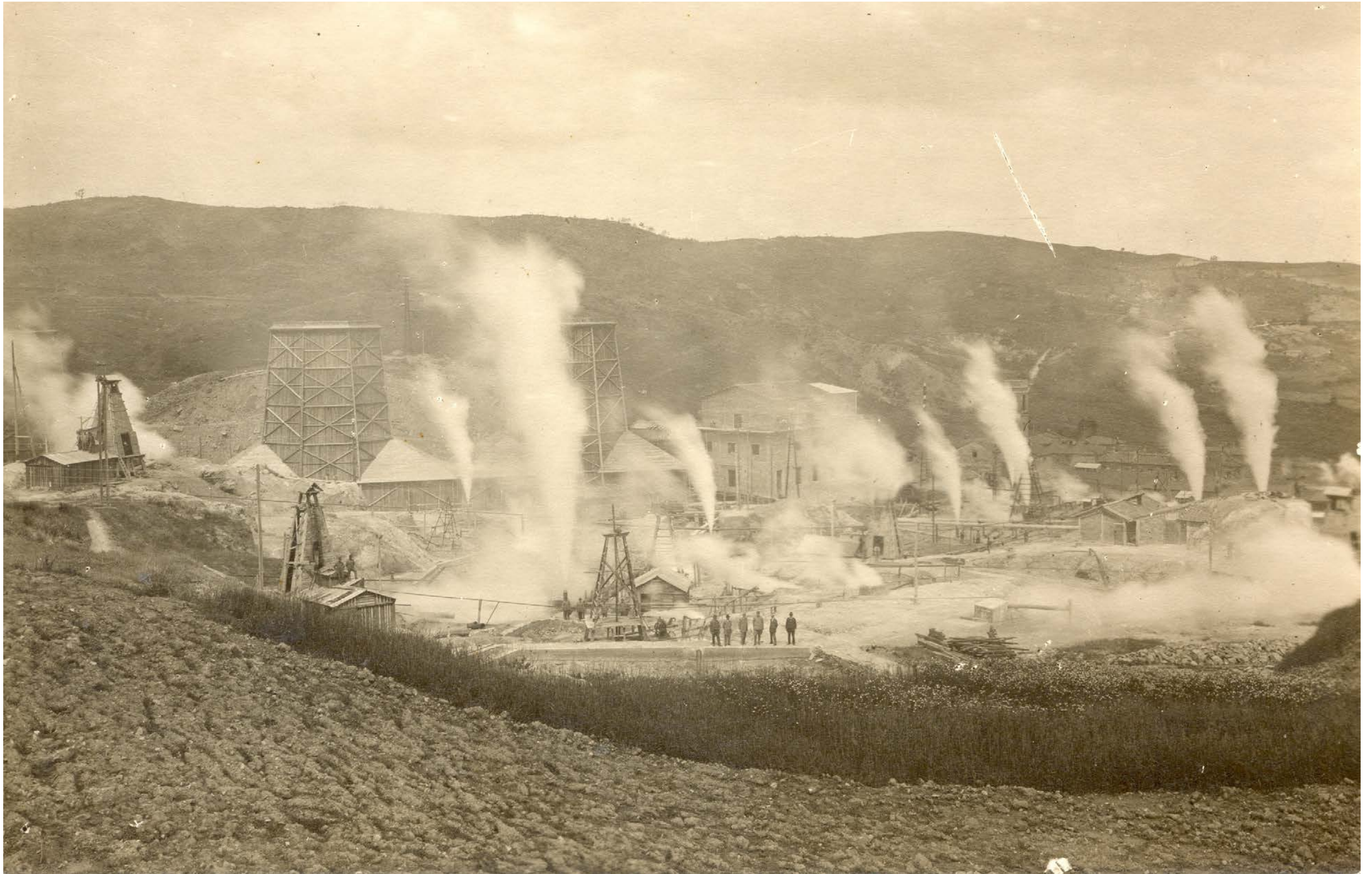
A questo scopo, contrariamente a quanto si doveva fare con il carbone, il vapore era già disponibile, anche se per usare tal quale quello che usciva dal suolo qualche difficoltà esisteva. Il primo esperimento gli riuscì nel 1904 quando, collegando ad una dinamo un motore alternativo da 1 CV alimentato dal vapore estratto dal sottosuolo, riuscì ad accendere cinque lampadine.

L'anno successivo un motore da 20 CV ed una dinamo da 20 kW iniziarono a fornire energia elettrica alla fabbrica.

Turboalternatore "Tosi"



Larderello, immagini storiche





Con l'aiuto di un neo assunto (l'ingegner Bringhetti) Ginori Conti cominciò a studiare come realizzare una vera e propria centrale elettrica, la prima al mondo alimentata da fonte geotermica. L'impianto entrò in funzione nel 1913 con un turboalternatore della Tosi da 250 kW e fu in grado di soddisfare tutte le necessità della fabbrica. L'anno successivo un impianto di potenza

analoga consentì al complesso di collegarsi alla rete e fornire così di elettricità i centri abitati di Larderello e Pomarance. La Prima Guerra Mondiale rallentò lo sviluppo industriale dell'azienda e subito dopo cominciarono anche ad affiorare i primi problemi sociali, nonostante la cura che il Principe si era preso durante il conflitto di mogli e figli degli operai partiti per il fron-

te. Gli scioperi indetti dalla Lega degli Operai nel 1920 spinsero le famiglie Ginori e Larderel a simpatizzare per il nascente movimento fascista¹. I lavori di sviluppo del progetto geotermico ripresero soltanto dopo il 1921, ma fu il ritrovamento nel 1931 del cosiddetto “Soffionissimo” a lanciare in grande la produzione elettrica, diventata ormai indispensabile per il futuro dello stabilimento a causa dell’aggressiva concorrenza americana nella produzione di acido borico e sali ammoniacali. La potenza del nuovo soffione era tale che il rumore si udiva fino a Volterra e Massa Marittima, distanti circa una trentina di chilometri. Si arrivò così a costruire una centrale da 60 MW. Dal 1932, nel capitale sociale dell’azienda entrarono le Ferrovie dello Stato che finirono per assumerne il controllo totale nel 1939, poco prima della morte del Principe. Nonostante la guerra, ricerca di nuovo vapore e produzione di energia elettrica continuarono ad andare avanti. Nel 1943 la potenza installata arrivò a 127 MW e la produzione raggiunse un picco di 900 GWh. Poi i bombardamenti distrussero tutti gli impianti e dopo la guerra fu necessario ripartire da capo. Ma tra le truppe di occupazione c’erano anche tecnici capaci di apprezzare quanto fino allora realizzato e pensare di valorizzare situazioni analoghe in altri paesi.

Per alcuni decenni, infatti, l’esperienza di Larderello non aveva avuto emulazioni. C’era stata qualche sporadica applicazione geotermica, ma nulla di paragonabile.

Uso di affioramenti di vapore dalla terra era stato fatto soltanto negli Stati Uniti con un sistema di riscaldamento urba-

no a Boise (Idaho) ed in Islanda dove dal 1928 i fluidi geotermici (essenzialmente vapore) erano usati per fornire calore agli edifici della capitale Reykjavik. In Giappone, il primo pozzo geotermico fu perforato nel 1919 a Beppu. Bisogna attendere il 1958 per registrare l’entrata in esercizio in Nuova Zelanda del primo impianto geotermoelettrico dopo Larderello, con una potenza di 47 MW. Fu poi la volta di piccoli impianti in Messico nel 1959 (4 MW) e California (12 MW). Nel tempo altri seguirono con dimensioni via via crescenti.

Oggi si produce energia elettrica da fonte geotermica in 25 paesi, ma esistono idee o progetti in almeno altri settanta. Nel 2013 la potenza installata ammontava a 12 GW². La maggior parte della capacità si trova negli Stati Uniti (3,4 GW); seguono le Filippine (1,9 GW), l’Indonesia (1,3 GW), il Messico (1,0 GW), la Nuova Zelanda (0,9 GW) l’Islanda (0,7 GW), l’Italia (0,7 GW) e il Giappone (0,5 GW). La *International Geothermal Association* (IGA) prevede che al 2015 la capacità geotermica installata nel mondo salirà a circa 18,5 GW con le espansioni previste in Africa (Kenya in particolare), Turchia, America Latina e nei paesi che già ne sono forniti.

In Italia tutta la potenza è per ora concentrata nel settore toscano di Larderello, Radicondoli e Travale oltre che in quello del Monte Amiata (impianti Enel Green Power), ma non si esclude che qualche iniziativa possa svilupparsi nella zona dei campi Flegrei, dei quali si parla ormai da tempo. Affascinante, anche se per ora allo stadio puramente speculativo, è l’idea di sfruttare il vulcano sottomarino di Monte Marsili, si-

Geyser Strokkur, Islanda

Il geyser è una sorgente di natura vulcanica che getta vapore, acqua e gas, tipica dell'Islanda. Nella regione geotermica nei pressi del fiume Hvítá, nella parte sud-occidentale dell'Islanda, è presente il Geyser Strokkur, uno dei più famosi di tutto il Paese. Si tratta infatti di uno dei pochi geyser naturali che erutta regolarmente ogni 4-8 minuti circa, producendo un getto dell'altezza di 20 metri.



tuato nel Tirreno a nord delle isole Eolie. Marsili è il più grande vulcano d'Europa e si innalza dal fondo del mare per ben tre chilometri, fino ad arrivare a 450 metri dalla superficie delle acque. È ancora in attività, con alcune bocche laterali costantemente sotto il controllo dei sismologi per il potenziale rischio di tsunami nel caso si verificasse una eruzione violenta. Per ora si è proceduto con cautela a dei sondaggi che hanno rivelato al suo interno la presenza di significative quantità di fluidi ad alto contenuto termico, capaci di generare elettricità stimata in 4 TWh.

Insieme al *know-how* idroelettrico, la geotermia italiana costituisce oggi un patrimonio tecnologico di assoluto rilievo in campo internazionale e può garantire soddisfazioni economiche interessanti per gli utilizzi che se ne possono fare in numerosi paesi emergenti.

4.2 Lo sfruttamento delle fonti a bassa entalpia

Negli ultimi decenni si sta sviluppando un nuovo modo per sfruttare il calore della Terra senza dover ricorrere a fluidi geotermici ad alto contenuto energetico. Queste nuove fonti di energia sono chiamate fonti geotermiche a bassa entalpia ed utilizzano una pompa di calore per spostare energia da una “sorgente”, calda o fredda, ad un “pozzo”, freddo o caldo, spendendone una certa quantità. Il sistema, nella versione più semplice, è costituito da un circuito nel quale scorre

un fluido che evapora o condensa, un compressore che lo muove ed una valvola di espansione inserita nel circuito.

Il sistema è in sostanza un impianto di climatizzazione nel quale, ad esempio, in fase di riscaldamento il terreno costituisce la sorgente di calore da trasferire ed un edificio costituisce il pozzo nel quale accumularlo. Viceversa, nel caso di raffreddamento, l'edificio è la sorgente fredda ed il pozzo è costituito dal terreno.

Solitamente le pompe di calore funzionano spostando energia fra un ambiente e l'aria esterna, la cui temperatura varia notevolmente durante l'anno. Nel caso di uno scambio con il suolo, invece, al di sotto della profondità di una decina di metri, la temperatura del terreno è praticamente costante fra i 14 e 16 °C (all'incirca la temperatura media annuale dell'aria esterna)³. Il suolo è quindi più caldo dell'aria esterna d'inverno e più freddo d'estate, cosa che avvantaggia in misura consistente il rendimento termico del trasferimento energetico. Il principio teorico di funzionamento di una pompa di calore fu concettualmente descritto da Lord Kelvin fin dal 1853 e successivamente ampliato da Ritter von Rittinger. Pompe di calore aerotermiche si diffusero rapidamente in Europa e Stati Uniti nella seconda metà dell'Ottocento. La prima pompa geotermica fu invece inventata dallo svizzero Zoelly nel 1912, utilizzando un circuito secondario nel quale scorreva un fluido intermedio (sistema che oggi chiamiamo chiuso). Passarono tuttavia quasi quaranta anni prima che Robert C. Webber inventasse una pompa in grado di trasferire calore fra pozzo

e sorgente senza far uso di un fluido intermedio, con il sistema che oggi chiamiamo “a scambio diretto”. Dopo l’applicazione nel 1946 in un palazzo di Portland (Oregon), ebbero successo anche gli impianti a circuito aperto, quelli cioè in grado di trasferire energia usando direttamente per la climatizzazione l’acqua estratta dalla falda senza far ricorso a circuiti intermedi.

La possibilità di utilizzare tubi in materiale plastico (polibutilene), migliorando l’economicità delle operazioni per il minor investimento, contribuì alla definitiva affermazione delle pompe geotermiche a circuito chiuso. La crisi energetica del 1973 diede notevole impulso all’applicazione di queste tecnologie, soprattutto in Svezia e Germania dove fu realizzato il primo impianto per lo sfruttamento del calore geotermico superficiale con l’uso di apposite sonde.

La geotermia a bassa entalpia è oggi diffusa in numerosi paesi: oltre a Svezia e Germania, pionieri nel suo sfruttamento, si trovano applicazioni in Cina, Canada, Stati Uniti, Norvegia, Danimarca e Svizzera. Anche in Italia stanno affermandosi applicazioni in aree con caratteristiche simili a quelle dei paesi appena citati. Si stima che la fonte geotermica abbia fornito nel 2012 una quantità di energia pari a 223 TWh⁴ e che il contributo termico sia ammontato a circa due terzi del totale.





Centrale geotemica di Krafla, Islanda - 60 MW

Situata nel nord dell'Islanda, vicino alla grande area vulcanica di Krafla, è stata costruita nel 1977. Attualmente opera ad una capacità di 60 MW utilizzando una media di 15 - 17 pozzi per volta.

NOTE

1 Il Principe, stimato dal Duce, arriverà al rango di Senatore del Regno e nel 1939 a Ministro di Stato.

2 REN21, Renewables 2014. Global Status Report.

3 La temperatura resta entro questi limiti fino a circa 100 metri di profondità. Successivamente, come detto in precedenza, aumenta di 3 °C ogni cento metri di profondità.

4 REN21, Renewables 2013. Global Status Report.



L'EOLICO



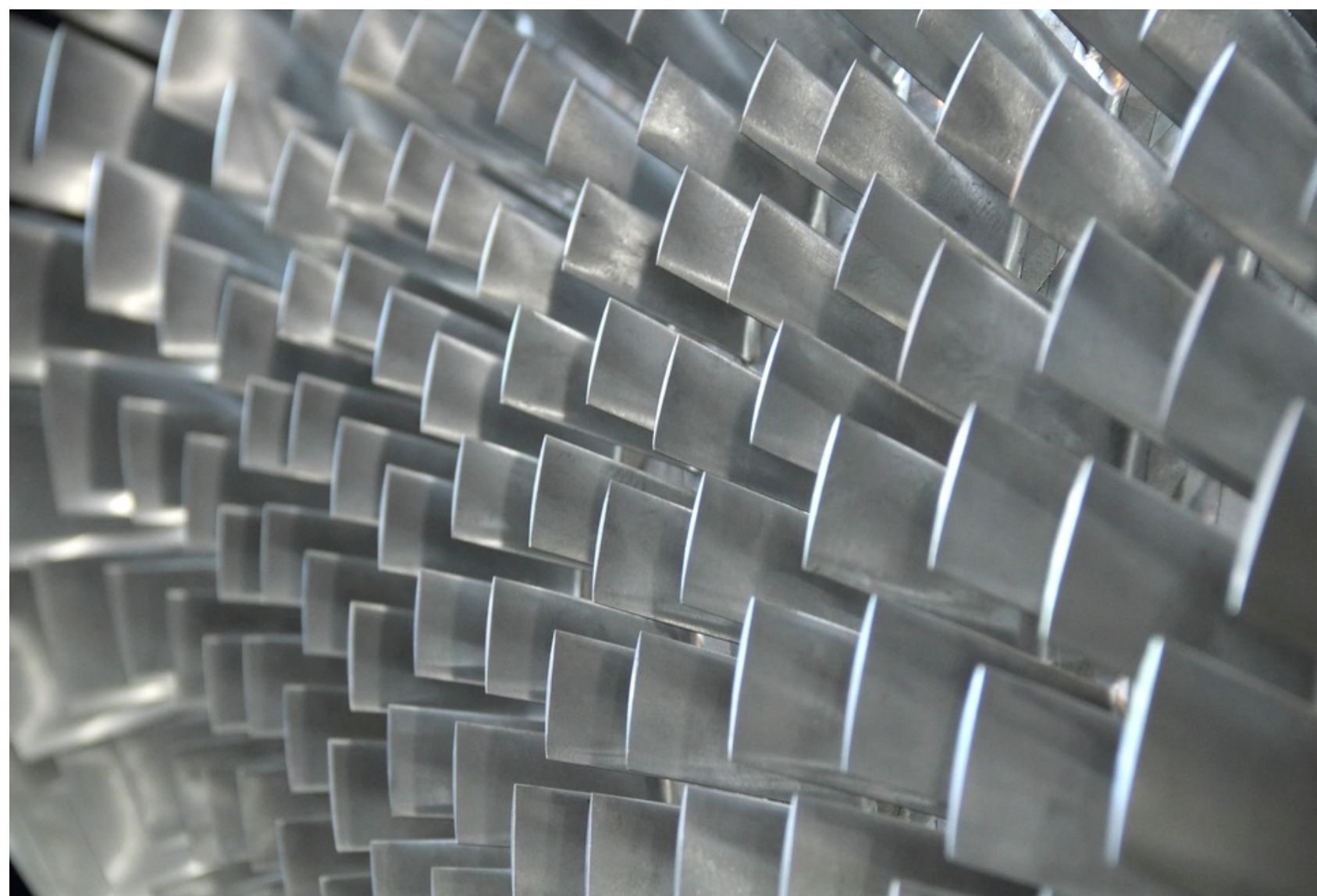
5.1 Le origini dell'eolico

Il contributo che l'Italia ha dato allo sviluppo dell'energia eolica è stato probabilmente più limitato rispetto a quello fornito per le altre fonti di energia rinnovabile, quali idroelettrico, geotermico e fotovoltaico. Il nostro Paese è situato nel bel mezzo di un bacino “chiuso” come il Mediterraneo e non è quindi troppo esposto a venti di forte intensità o di andamento regolare. L'orografia del territorio, caratterizzata da catene montuose e grandi specchi d'acqua determina, infatti, correnti aeree abbastanza incostanti e piuttosto capricciose. Non accade così in molte altre parti del mondo, in particolare nel Nord Europa, in California ed in Estremo Oriente.

Come per ogni altra forma di energia rinnovabile, anche l'eolico ha una storia che si perde alle origini della civiltà. Dai tempi più antichi, la navigazione a vela ha fornito uno dei principali mezzi di trasporto e comunicazione a lunga distanza, favorendo scambi di prodotti e culture. L'Odissea di Omero fornisce la miglior descrizione dell'importanza che questa forma di energia ha avuto molto prima della nascita di Cristo, al punto da fare del vento una divinità. Oltre che per spostarsi sulle vie d'acqua, il vento ha fornito energia per le attività umane legate alla molitura di grano, cereali ed olive. L'origine dei mulini a vento risale a quasi 2.000 anni fa, nell'antica Babilonia, zona compresa

Impianto Enel Green Power Alto Casillias, Barracas, Spagna - 30 MW

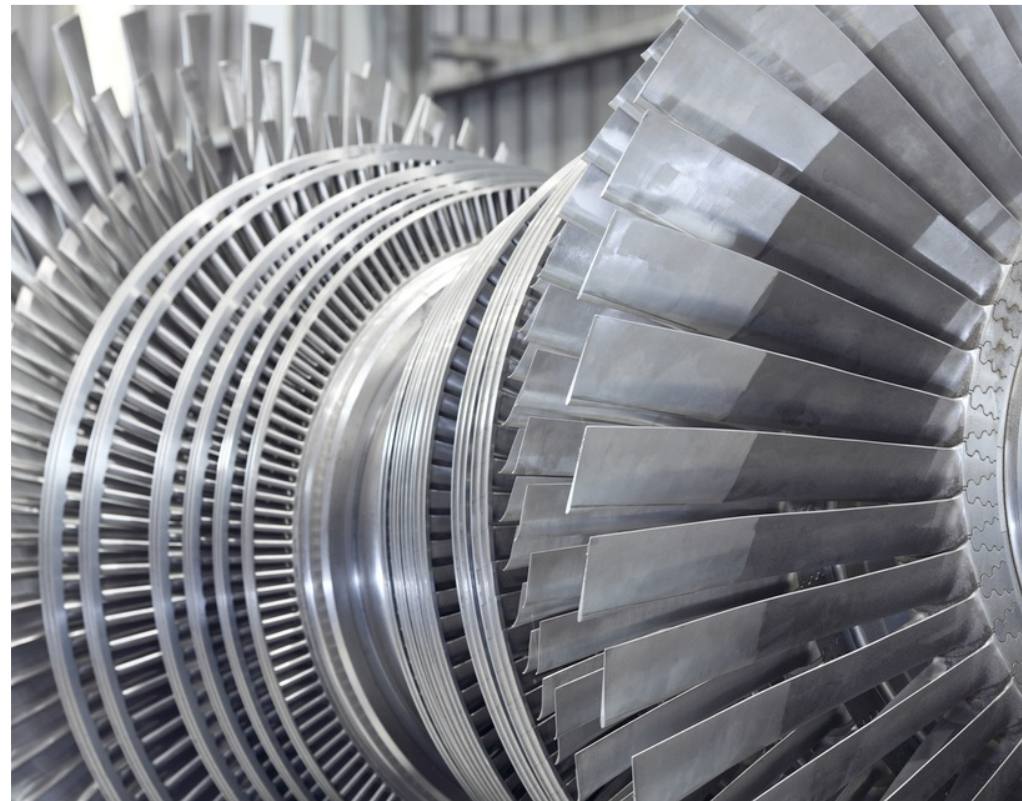


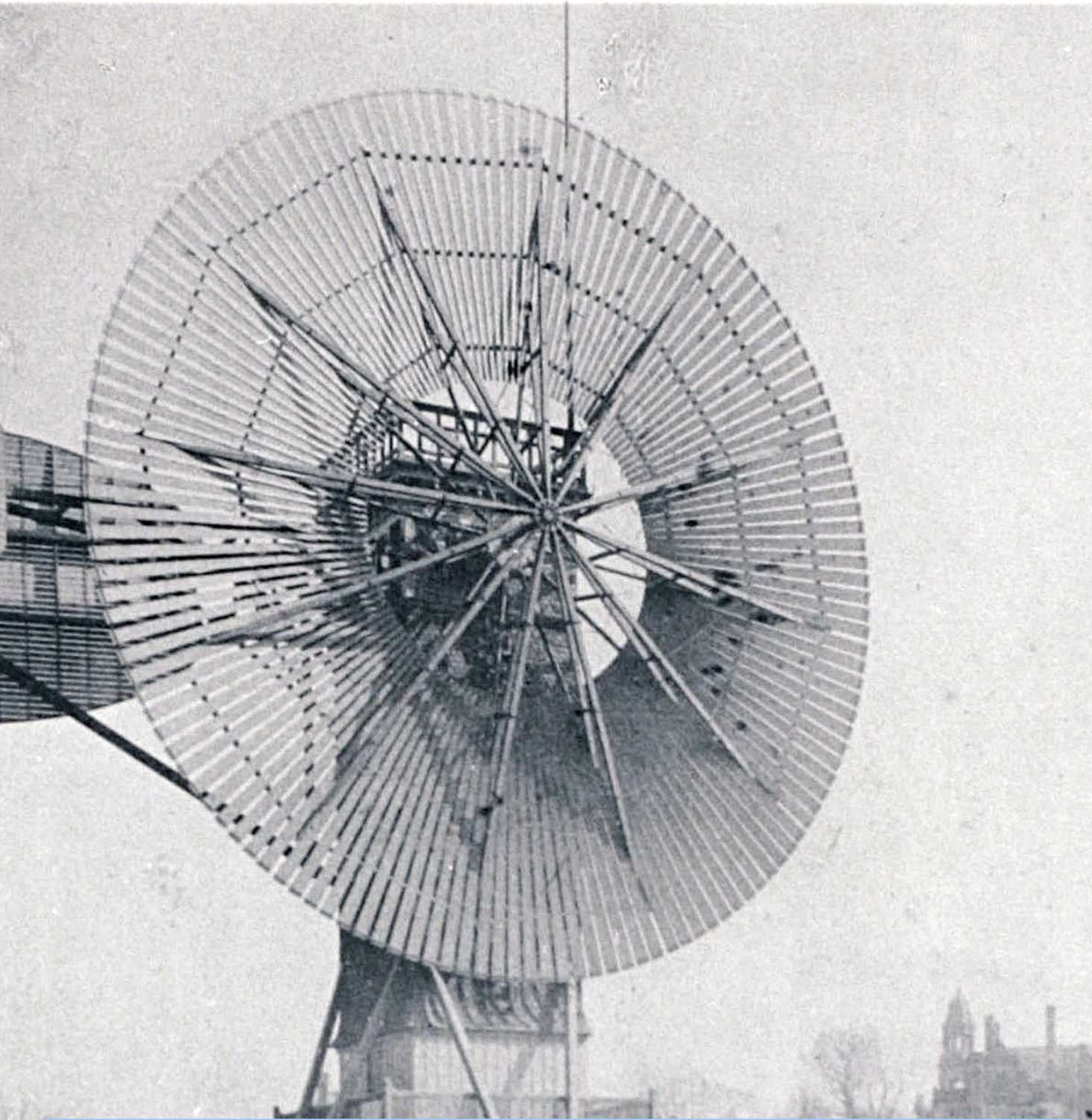


fra l'odierno Iraq e l'Afghanistan. La tradizione continuò nel tempo e nell'area si possono ancora vedere strutture di mulini dell'ottavo e nono secolo, con vele rettangolari fissate ad un asse verticale. Con ogni probabilità, i viaggiatori che percorrevano la via della seta resero la tecnologia disponibile in Cina, dove si ha testimonianza dell'esistenza di mulini a vento ben prima del viaggio di Marco Polo.

I mulini arrivarono nel Medioevo anche in Europa, lungo il Canale della Manica e persino più a Nord. Rispetto ai modelli orientali, quelli europei adottarono l'asse orizzontale con una ruota capace di orientarsi verso la direzione del vento, concetto costruttivo che è passato alla tecnologia attualmente in uso. Poco per volta migliorò l'efficienza delle pale ed in questa attività si distinsero gli olandesi, al punto da far diventare il mulino quasi il logo distintivo della loro nazione.

Si trattava di strutture di grandi dimensioni, mai realizzate prima di allora, fatte con telai in legno sui quali si fissava la





Turbina eolica di Brush

La turbina di Brush, la prima al mondo azionante un generatore in corrente continua, funzionò per oltre quindici anni fornendo energia elettrica alla casa e al laboratorio dell'inventore statunitense. Da sottolineare la lungimiranza del progetto che prevedeva già la presenza di un trasformatore per l'adattamento dell'energia continua al voltaggio richiesto dal sistema.

tela delle vele spinte in rotazione dalla corrente aerea. Fu così possibile oltre ad eseguire le operazioni di molitura, anche segare tronchi d'albero ed espandere le prestazioni ad attività non collegate al puro e semplice miglioramento dei prodotti agricoli. I mulini in Olanda servirono, infatti, a pompare l'acqua fuori dai polder, parti di terreno sotto il livello del mare recuperate a scopo agricolo, assicurando così il drenaggio del territorio con un complesso sistema di dighe.

Decisivo fu lo sviluppo nelle grandi pianure del nuovo continente americano dove, al posto di poche grandi pale, fu introdotto un modello più piccolo, dotato di un gran numero di sottili lame o stecche. Rifornivano d'acqua i ranch e le stazioni ferroviarie lungo le linee che procedevano verso Ovest, accompagnando l'avanzata dei coloni nei territori indiani.

L'invenzione della dinamo di Pacinotti¹ nel 1860 aprì anche all'energia eolica una nuova strada per fare un salto di qualità. Dopo numerosi studi da parte di James Blyth, dell'Anderson College di Glasgow, Charles Brush nel 1887 mise a punto a Cleveland (Ohio) la prima turbina eolica per la generazione di elettricità. Si trattava di una torre alta 18 metri, con un rotore costituito da 144 pale di

legno del diametro di 17 metri. Il generatore aveva una potenza di 12 kW².

Il meteorologo danese Poul La Cour nel 1891 ridusse il numero di pale e lavorò a fondo sulla loro sagomatura. Fu, infatti, il primo a condurre esperimenti sistematici sulla forma delle pale in una galleria del vento. Motivato dal desiderio di migliorare la vita delle popolazioni rurali, spinse l'applicazione ben oltre la generazione di elettricità ottenendo, tramite elettrolisi, idrogeno con il quale illuminare, oltre la scuola dove insegnava, anche il villaggio vicino. Ben presto sotto la spinta della nuova tecnologia la Danimarca estese l'uso dell'energia eolica fino a diventarne leader indiscussa.

Con 250 generatori installati, il 3% del consumo energetico nazionale era soddisfatto da questa fonte di energia. Gli usi continuavano tuttavia ad essere abbastanza specifici, legati cioè a ciascuna singola attività industriale, ma nel tempo iniziarono a sorgere vere e proprie centrali eoliche per soddisfare fabbisogni di molteplici soggetti. Con l'espansione nacquero le prime industrie specializzate, come la Lykkegaard e la Smidth. L'eolico rappresentò per la Danimarca quello che le fonti idriche furono per l'Italia.

Nel periodo fra le due guerre lo sviluppo dell'eolico rallentò, per l'affermarsi della generazione elettrica da carbone, ma esperimenti e ricerca continuarono in Francia, Germania e Regno Unito, in parallelo con lo sviluppo dell'aviazione dalla quale arrivarono idee e sviluppi aerodinamici molto importanti.

Con il passare degli anni le dimensioni dei generatori eolici aumentarono. Negli anni Trenta del secolo scorso i Sovietici costruirono in Crimea, a Balaclava, un generatore da 100 kW, alzando l'altezza della torre a 30 metri. I tedeschi progettaron, ma non costruirono, centrali da 19 MW. La prima centrale a superare 1 MW fu costruita negli Stati Uniti, nel Vermont, dove P.C. Putnam curò l'installazione di un'unità da 1.250 kW. Nel 1941 collegò il suo generatore alla rete nazionale e fino al 1945 accumulò più di mille ore di servizio operativo. La rottura di una pala fu però fatale, perché il costo della riparazione fu stimato talmente alto da sconsigliarne l'utilizzo ulteriore.

La presenza delle grandi praterie con le loro necessità agricole e le esigenze logistiche delle ferrovie che attraversavano il continente americano, portarono alla formazione anche negli Stati Uniti di una fiorente industria eolica. La Jacobs Wind, nata con il finanziamento degli agricoltori, divenne un punto di riferimento importante dopo l'introduzione della turbina a tre pale soltanto, considerata oggi come la soluzione ottimale. L'avvento del petrolio a basso costo dopo la Seconda Guerra Mondiale, rallentò per anni lo sviluppo della tecnologia eolica, che tuttavia continuò a progredire nel tempo avvalendosi, per pale e rotor, dei notevoli progressi fatti dall'industria aeronautica nella progettazione degli aerei ad elica e turboelica. Le ragioni del declino furono molte: oltre al petrolio, si andava affermando come fonte del futuro l'energia nucleare, al punto

da far affermare al primo presidente dell'Autorità di regolazione nucleare americana che sarebbe diventata "*too cheap to meter*". Allo stesso tempo, in quasi tutto il mondo occidentale, iniziò l'elettrificazione delle aree rurali, eliminando così uno dei punti di forza che avevano favorito l'espansione dell'eolico fino allora. Fallì la Jacobs Wind e Percy Thomas non riuscì a far passare al Congresso il suo piano per abbinare nella parte occidentale del paese l'energia idroelettrica con quella eolica.

In Danimarca Johannes Juul lavorò sulle idee di La Cour e riuscì a costruire una turbina con un rotore di quasi 25 metri di diametro che funzionò egregiamente per una decina di anni. Le crisi energetiche del 1973 e del 1979 portarono nuovamente alla ribalta le possibilità che il vento offriva per affrancarsi dal ricatto dei paesi produttori del petrolio. In Danimarca, a queste motivazioni si aggiunse una forte spinta del movimento ambientalista antinucleare che portò a rendersi attive nel settore eolico alcune aziende specializzate in macchine



Impianto offshore Barrow, Regno Unito - 90 MW

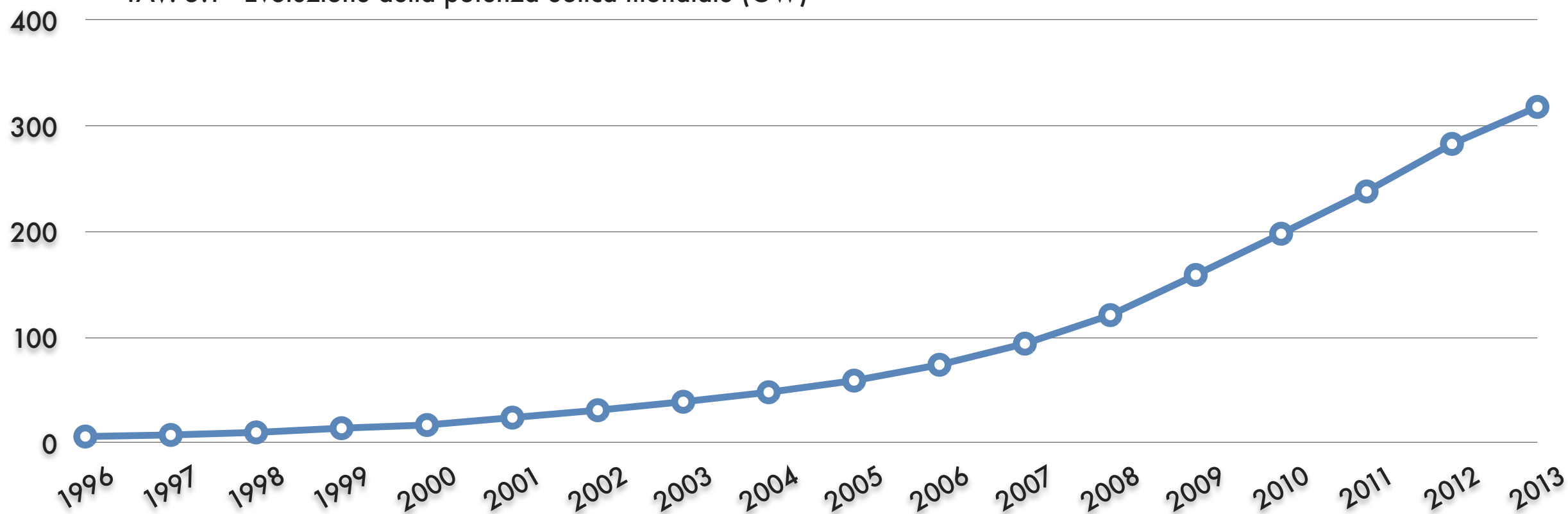
agricole, come Vestas, abituate a costruire macchine robuste, in grado di resistere a condizioni climatiche molto severe. In risposta all'embargo petrolifero ed alla ricerca dell'autosufficienza per limitare la vulnerabilità del sistema industriale alle importazioni di petrolio, il governo degli Stati Uniti, insieme a numerose altre iniziative, sostenne una serie di studi e sperimentazioni su diversi tipi di aerogeneratori. Nel 1980 si arrivò così al primo parco eolico nel New Hampshire, costituito da venti turbine, ma l'esperimento non diede risultati accettabili. Miglior successo ebbe, invece, un anno dopo, la costruzione di una singola turbina con una potenza di 7,5 MW. Era la prima vera dimostrazione della possibilità di usare l'energia eoli-

ca per generare elettricità in quantità non marginali ed aprì la strada a numerose applicazioni di successo.

I primi parchi eolici arrivarono all'inizio degli anni Novanta: nel 1991 a Vindeby, in Danimarca, furono installate in mare (*offshore*) 11 turbine per una potenza totale di 450 kW ed in un agriturismo in Cornovaglia si creò un parco *onshore* con 10 turbine. Da allora numerosi sono stati i parchi on ed *offshore* costruiti in tutto il mondo.

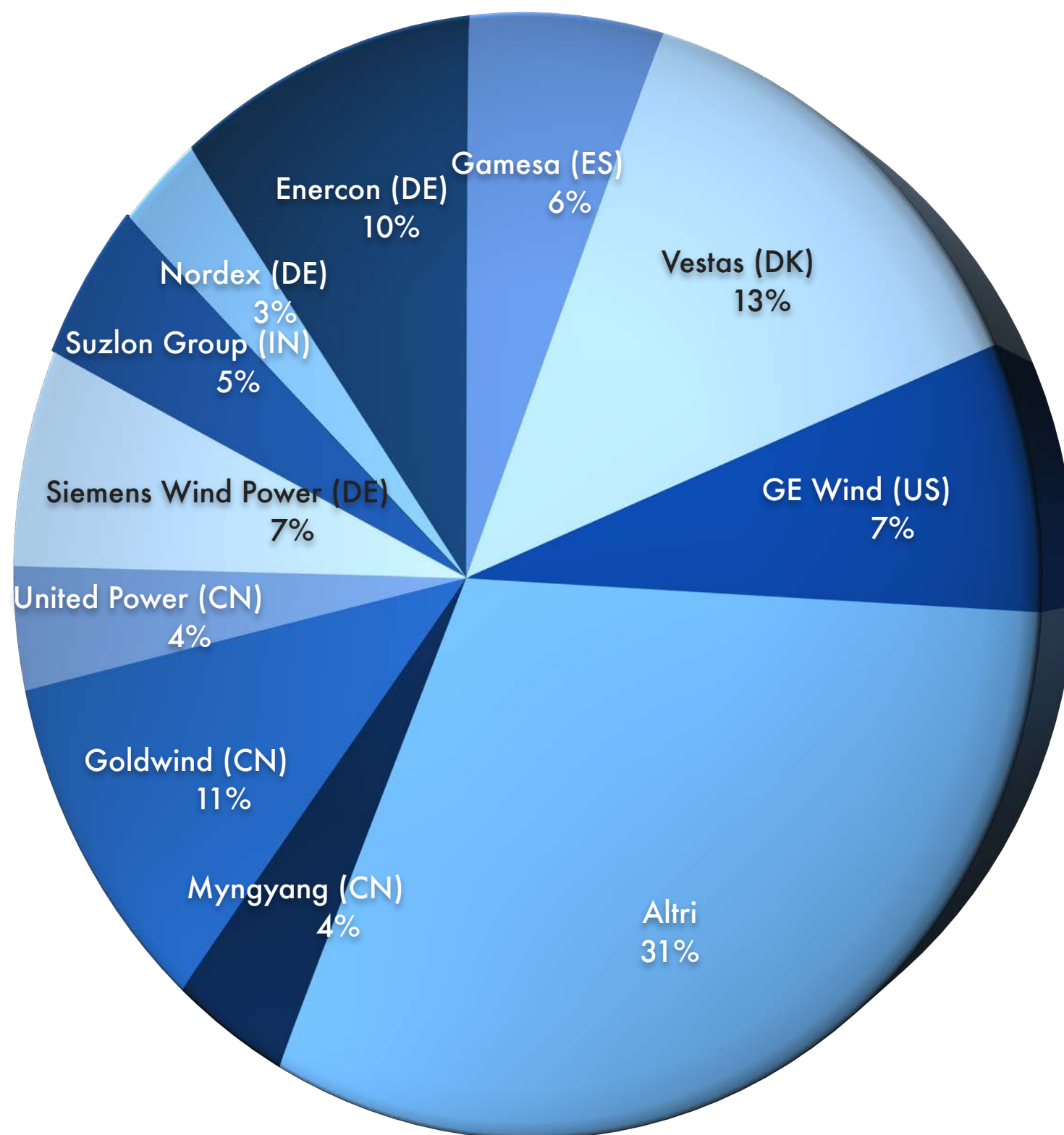
Ad oggi la potenza mondiale eolica ammonta a 318 GW³ e tra i maggiori produttori di aerogeneratori e turbine eoliche figurano Vestas (Danimarca) e Goldwind (Cina).

TAV. 5.1 - Evoluzione della potenza eolica mondiale (GW)



Fonte: REN21, Renewables 2014. Global Status Report

TAV. 5.2 - Quota di mercato di produttori di aerogeneratori e turbine eoliche - 2013



5.2 L'eolico in Italia

Cosa succedeva in Italia in tutto questo tempo?

Abbiamo già detto che la nostra penisola non è particolarmente adatta ad applicazioni delle dimensioni danesi o americane, ma non per questo la tecnologia è stata ignorata. Ovviamente c'erano mulini anche da noi, ma più sui corsi d'acqua che per la cattura delle correnti aeree. Dopo le prime realizzazioni di Brush in Ohio, anche da noi furono presentati alcuni brevetti, come quello di Giuseppe Bella nel 1889, per un "Nuovo motore a vento attraverso lo sfruttamento delle correnti d'aria". Furono fatti in seguito parecchi tentativi, tutti di modeste dimensioni e per lo più collegati a sistemi di batterie di accumulo, per ovviare al problema dell'intermittenza e variabilità dei movimenti delle masse d'aria sul territorio.

L'interesse aumentò dopo l'esperienza di Balaclava e la Vivarelli, una ditta di

Grosseto produttrice di piccoli impianti eolici ad uso agricolo, costruì un generatore che diede buoni risultati in Libia, allora nostra colonia. Il periodo dell'autarchia seguito alle sanzioni della Società delle Nazioni⁴, portò l'attività ad uno stadio non lontano da una prima applicazione di un certo rilievo. Antonino Lo Surdo (1880-1949), appena nominato direttore del neo costituito Istituto Nazionale di Geofisica, propose di sfruttare anche da noi il vento per produrre dell'energia elettrica. Esempi di questa possibilità già ne esistevano al mondo, sia negli Stati Uniti, sia in Danimarca. Tuttavia, i dati disponibili sull'intensità, la costanza e la direzione dei venti in Italia si limitavano a quanto serviva per le previsioni meteo e la sicurezza delle rotte aeree.

Lo Surdo si inventò quindi un prototipo di anemografo utilizzabile per un programma di mappatura anemologica del paese, lo perfezionò e, soddisfatto del suo funzionamento, ordinò ad una ditta bolognese di costruirne un centinaio di esemplari. L'idea era di iniziare la campagna di rilevazione in Liguria, a Trieste ed in Calabria, per poi proseguirla in Sardegna, Puglia e Sicilia.

La guerra bloccò l'iniziativa e quando, nel 1944, Lo Surdo batté cassa con il commissario straordinario del CNR Castelnuovo, non ottenne i fondi necessari a riprendere la ricerca. Non c'era gran convinzione nella bontà del progetto. Mentre, infatti, si poteva valutare facilmente il potenziale idraulico di una certa area, non c'era parametro che consentisse di valu-

tare quello eolico e spendere soldi per capirlo non sembrava una priorità rispetto ad altre urgenze.

Lo Surdo non si diede per vinto e nel 1948 riuscì ad ottenere fondi sufficienti per dispiegare una ventina dei suoi anemografi in varie località della provincia di Messina. Anche questa volta tuttavia non andò lontano: l'avvento degli idrocarburi a basso costo e le prime applicazioni dell'energia nucleare fecero passare iniziativa e finanziamenti in secondo piano e l'idea fu messa da parte.

Ci sarebbero voluti altri cinquanta anni prima che il CESI⁵, con la collaborazione dell'Università di Genova, arrivasse a costruire un Atlante eolico italiano. Del lavoro di Antonino Lo Surdo, pioniere sfortunato, sembra non ricordarsi più nessuno ora che l'energia eolica, in alcune aree del mondo, già compete "ad armi pari", nella generazione elettrica, con le fonti fossili convenzionali.

Piccole applicazioni vennero realizzate dall'Enel con la partecipazione di ENEA, di Aeritalia e del CNR, ma il nostro primo parco eolico vide la luce ad Isernia solo nel 1994; ad esso seguirono realizzazioni di Enel ed altri soggetti nelle due isole maggiori, in Puglia, Abruzzo e Toscana.

Di tutte le fonti rinnovabili, l'energia eolica è quella i cui costi sono scesi nel tempo in maniera più continua e costante fino a rendere la tecnologia matura e quindi economicamente conveniente e competitiva, in molte parti del mondo. Nonostante questo enorme pregio, si incontrano ovunque resisten-

ze anche accanite al suo sviluppo, in particolare per le applicazioni per le quali l'effetto NIMBY è particolarmente acuto. D'altro canto anche all'interno dei movimenti ambientalisti non esiste unanimità di consenso su questa fonte.



NOTE

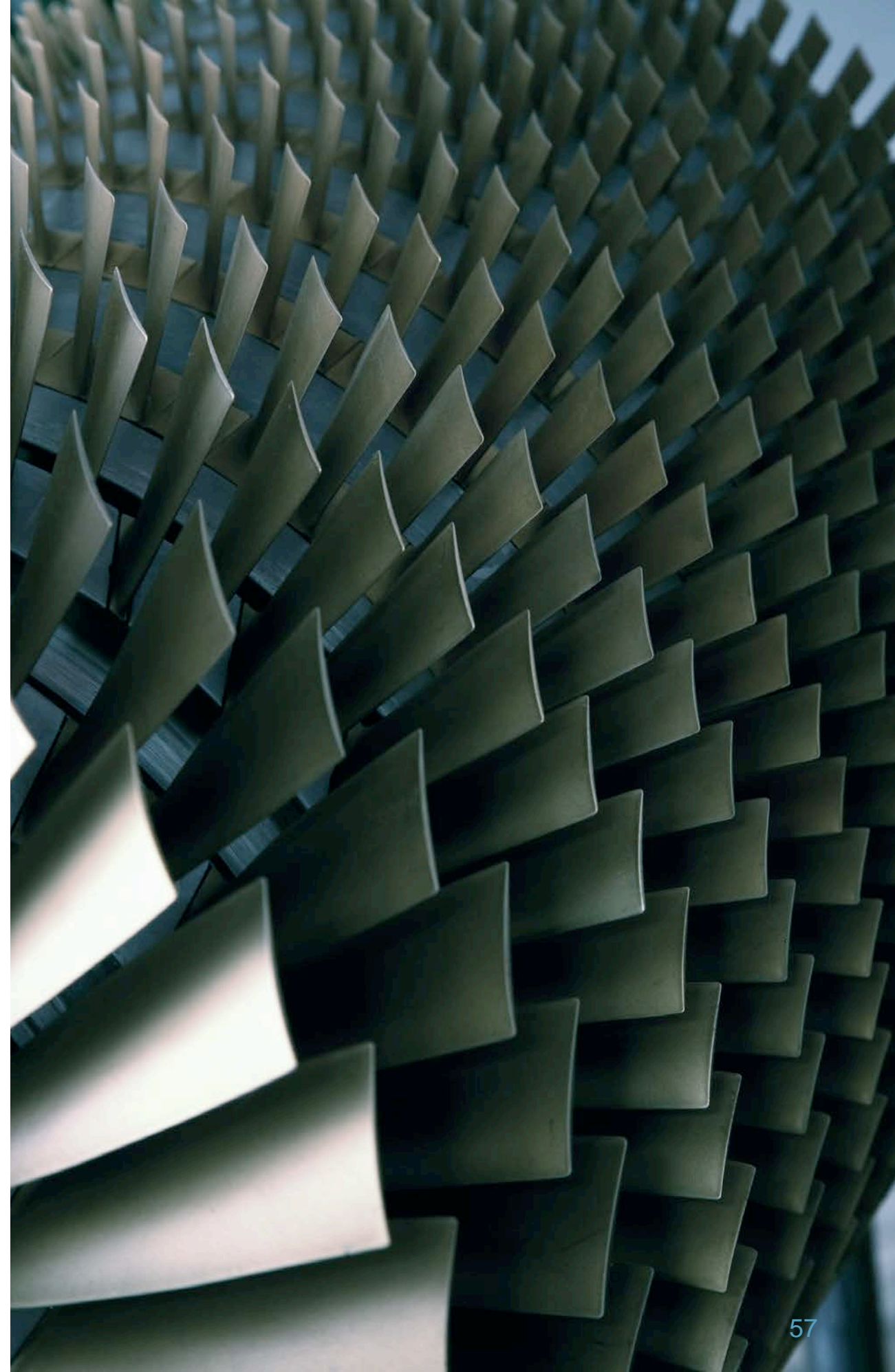
1 Pacinotti in realtà costruì soltanto un prototipo. In Francia l'invenzione è attribuita al belga Zenobe Gramme che nel 1868 realizzò un modello completo e funzionante.

2 Per rendersi conto di cosa significhi il progresso tecnologico, con dimensioni di questo tipo si arriva oggi ad ottenere una potenza dieci volte superiore, intorno ai 100 kW.

3 REN21, Renewables 2014. Global Status Report.

4 Istituita nel periodo successivo alla Prima Guerra Mondiale, fu un ente internazionale che ebbe come finalità il mantenimento della pace e lo sviluppo della cooperazione. Fu estinta nel 1946 in seguito al fallimento rappresentato dalla Seconda Guerra Mondiale ed è considerata, malgrado il suo insuccesso, il predecessore dell'Organizzazione delle Nazioni Unite.

5 Oggi RSE Ricerca dei Sistemi Energetici.





L'IDROELETTRICO



6.1 Il carbone bianco

Dopo il 1861 lo sviluppo in Italia stentava a prender piede, sia perché i mercati agricoli europei erano colati a picco con l'arrivo delle derrate americane, abbondanti e a buon prezzo, sia perché l'attività industriale non era decollata. Fra le tante cause, c'era un approvvigionamento energetico assai precario. Esser senza carbone, nell'epoca del vapore, non era affare semplice e condizionò non poco lo sviluppo dell'economia italiana e la scelta delle tecnologie più adatte a soddisfare le necessità energetiche del nostro Paese. Da noi, a parte la legna, l'energia idrica di fiumi e torrenti era l'unica fonte primaria disponibile, in un'epoca in cui i paesi sviluppati facevano largo uso di carbone.

6.2 Alla ricerca di una nuova fonte energetica

Scorrere la storia dell'energia idroelettrica significa con una certa sorpresa, vedere cosa successe in Italia dopo che l'ing. Colombo mise in funzione la prima centrale elettrica del continente europeo a Milano, nel 1883 in via di Santa Radegonda¹.

Era soltanto il primo passo verso l'affrancamento dalla totale dipendenza energetica dall'estero; il secondo arrivò con il passaggio alla distribuzione in corrente alternata, an-



Centrale idroelettrica, cascate del Niagara

cora con un fondamentale contributo italiano. In Italia, infatti, si stabilì nel 1892 il record mondiale di trasmissione a distanza dell'energia elettrica, con una linea da 5.000 volt dalle cascate dell'Aniene a Tivoli, a Porta Pia a Roma: 27 chilometri. Così, a metà degli anni Ottanta del XIX secolo, l'Italia fece buon viso a cattivo gioco e, contro ogni regola di economicità per quei tempi, scelse di produrre energia da fonte idrica. Il primo grande impianto idroelettrico fu però costruito nel 1894 in Canada, con lo sfruttamento dell'enorme salto idrico delle cascate del Niagara.

A casa nostra si era già sperimentato, prima di allora, qualcosa di meno impegnativo. A Genova, Alberto Preve nel 1889 aveva realizzato l'impianto del Gorzente, il cui scopo era di fornire energia elettrica agli stabilimenti della Val Polcevera ed in generale dell'area di Genova.

L'iniziativa non aveva dato inizialmente i risultati sperati, ma alcuni tecnici svizzeri riprogettarono il tutto, dividendo il salto idraulico totale in tre stadi intermedi. Gli stadi, battezzati Pacinotti, Volta e Galvani, entrarono regolarmente in funzione, uno per volta, tra il 1890 ed il 1892. Tivoli arrivò poco dopo e l'impianto fra il Regio Parco alle porte di Torino e la città, sul modesto salto (otto metri) del canale della Pellerina entrò in esercizio nel 1896. Tre chilometri di linea portarono la corrente dalla centrale al quadro di distribuzione in Piazza Castello. Prima di poter realizzare progetti di grandi dimensioni esistevano nel nostro Paese un paio di ostacoli da superare. Il primo era di natura regolatoria, ma le normative sulla derivazione delle acque a scopo idroelettrico e quelle dei diritti di passaggio per le linee di trasmissione furono rapidamente riformate fra il 1892 ed il 1895.

Il secondo era dovuto alla profonda crisi economica che in quel periodo aveva messo in difficoltà anche aziende leader del settore elettrico. Decisivo per lo sviluppo idroelettrico fu quindi l'intervento di capitali tedeschi e svizzeri, secondo uno schema che coinvolgeva, nelle varie iniziative, istituti di credito ed importanti costruttori elettromeccanici. Un esempio del disegno strategico sottostante fu la Gesfürel (Thompson, Loewe, Thyssen) che si fuse quasi subito con la Edison Electric di New York per dar vita a General Electric. In Europa nacque, per iniziativa della tedesca Schuckert, la Continentale. In Svizzera, per iniziativa di AEG, Deutsche Bank, Credito



**Impianto Enel Green Power
El Gallo, Guerrero, Messico -
30 MW**

Svizzero e le neonate Credito Italiano e Commerciale Italiana, nacque Electrobank. Altri organismi fecero capo a Brown Boveri, Siemens e Schneider-Creusot, ancora con il concorso di banche svizzere, tedesche, belghe e francesi.

Fu la Banca Commerciale Italiana a sostenere Edison nella realizzazione della più grande centrale idroelettrica europea a Paderno d'Adda, nota come Centrale Bertini, la cui costruzione iniziò nel periodo 1894-1895 per terminare nel 1898. Capitali sviz-

zeri fecero sorgere a Napoli la SME (Società Meridionale di Elettricità); capitali tedeschi furono alla base della Elettrochimica di Pont Saint Martin, dalla quale sarebbe nata SIP. Belgi ed americani intervennero nel capitale della finanziaria Centrale che finì per controllare SELT (Società Elettrica Ligure Toscana), SRE (Società Romana di Elettricità) e SEL (Società Elettrica Ligure).

6.3 Misure a sostegno della nuova industria

Parallelamente all'afflusso di capitali esteri, un paio di altri cambiamenti istituzionali favorirono lo sviluppo del settore elettrico. Il primo fu la decisione del Governo nel 1903 di municipalizzare i servizi locali, provvedimento che diede origine a vari contratti per illuminazione e trasporto urbano nelle cit-

Impianto Enel Green Power Torixoreo, Brasile - 2,4 MW

L'impianto di Enel Green Power, situato nello Stato del Mato Grosso, opera ad una capacità di 2,4 MW.



tà di una certa dimensione. Per Napoli fu anche varata una legge speciale, con incentivi specifici per l'uso delle risorse idriche dell'area campana.

Il secondo intervento fu la nazionalizzazione delle Ferrovie, decisa nel 1906, che liberò altri capitali, questa volta italiani, provenienti dagli indennizzi ricevuti dalle società che fino allora avevano costruito e gestito il trasporto su rotaia nell'intero paese. Oltre ad alcuni discutibili utilizzi dei risarcimenti (lo stesso sarebbe accaduto quasi sessanta anni dopo con la nazionalizzazione dell'energia elettrica) importanti aziende, come Bastogi, si riconvertirono al nuovo settore. Naturalmente anche le principali banche (Credito Italiano e Commerciale) reimpiegarono le risorse recuperate nella nuova promettente attività.

Il risultato di queste iniziative fu di far decollare un'attività industriale indispensabile per il progresso economico e sociale del paese. Nel settore specifico, ai costruttori tedeschi e svizzeri, iniziarono a sostituirsi aziende italiane come Ansaldo, Franco Tosi, Riva e, per quanto riguarda i cavi elettrici, Pirelli e SICE. Il politico più pronto ad intuire quanto l'energia idroelettrica significasse per l'economia italiana fu Francesco Saverio Nitti, un socialista lucano, che delineò con lucidità in un suo libro del 1905² un programma elettro-irriguo per l'intero paese. In esso arrivava ad ipotizzare in futuro una nazionalizzazione del settore per assicurare una programmazione coerente e rapidi tempi di completamento. Inutile dire che era troppo presto per superare le non poche resistenze degli in-

Centrale Bertini



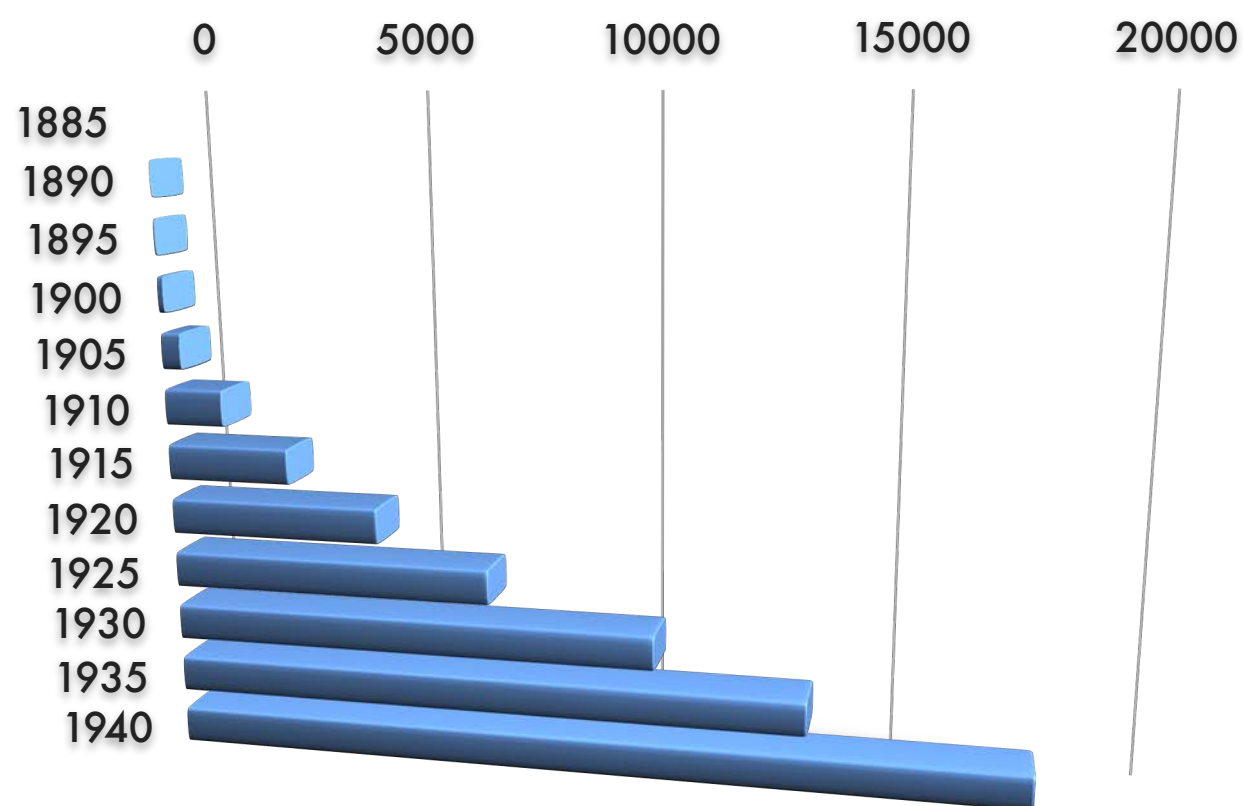
dustriali del tempo, nonostante Nitti fosse stato promosso nel governo Giolitti a Ministro dell'Industria, Agricoltura e Commercio. Da allora, l'energia idroelettrica, il nostro “carbone bianco” come fu chiamato, cominciò a svilupparsi fino a coprire, nel 1940 circa il 92% dell'elettricità prodotta nel paese. Si trattava di un'attività pionieristica che solo l'esperienza e l'evoluzione tecnologica, riuscirono a rendere competitiva con le altre fonti primarie.

6.4 Da realtà locali a sistemi regionali

L'Italia uscì vittoriosa dalla Prima Guerra Mondiale, ma con le ossa rotte. L'economia era in frantumi, le file della disoccupazione si ingrossavano con la smobilitazione dell'esercito, l'energia indispensabile per far ripartire lo sviluppo non c'era

in quantità sufficiente e quella che c'era si rivelava di scarsa qualità. L'Italia aveva dovuto prendere atto durante il conflitto che non si poteva più ignorare il problema del rifornimento energetico nella sua globalità. Alle difficoltà di approvvigionamento, soprattutto per le esigenze militari, aveva fatto fronte con le importazioni, ma la più intensa utilizzazione delle centrali elettriche esistenti aveva messo a nudo la mancanza di integrazione delle reti distributive, costringendo a razionamenti e ad un inadeguato utilizzo dei bacini idrici.

TAV. 6.1 - Produzione lorda energia idroelettrica in Italia (GWh)



Fonte: Terna

Il cambiamento arrivò presto. Già nel 1916 il governo Bonomi aveva abolito, con un decreto, il regime privato dei corsi d'acqua, dichiarando le acque "soggetto di interesse collettivo". Nel 1919 un nuovo decreto sancì definitivamente la proprietà dello Stato su acque superficiali e bacini naturali, imponendo per il loro utilizzo una concessione governativa valida per un periodo massimo di 60 anni. Alla scadenza "tutte le opere di raccolta, di regolazione e derivazione, principali ed accessorie, i canali adduttori dell'acqua, le condotte forzate ed i canali di scarico" sarebbero diventati proprietà dello Stato. L'obiettivo era chiaro: garantire, attraverso il sistema delle concessioni, uno sviluppo coordinato e razionale della generazione e distribuzione di elettricità.

Il provvedimento scatenò la stessa battaglia che avrebbe preceduto la nazionalizzazione dell'industria elettrica del 1962, ma facilitazioni fiscali, sovvenzioni statali e semplificazioni procedurali convinsero l'industria. Fra il 1919 ed il 1922 la potenza installata passò da 1.000 a 1.600 MW. Per dare un'idea dell'importanza raggiunta dall'energia idroelettrica è sufficiente ricordare che la domanda energetica totale in Italia aveva raggiunto nel 1919 l'ammontare di circa 10 Mtep: il carbone copriva il 75% dei fabbisogni, l'energia idroelettrica il 21% ed il petrolio, ai suoi albori, il rimanente 4%³.

Lo sviluppo dell'industria idroelettrica o, a dire il vero, dell'intera industria elettrica italiana, passò attraverso varie fasi. All'inizio si dovette assistere ad una notevole parcellizzazione di attività, fra aziende grandi e piccole ed operatori che si

attrezzarono inizialmente per autoprodurre i loro fabbisogni. Circa la metà delle settanta centrali Enel ancora in funzione e costruite fra il 1908 ed il 1918 furono, infatti, costruite da piccoli autoproduttori. Entrarono successivamente in gioco anche le grandi industrie siderurgiche ed elettrochimiche, trattate inizialmente dai produttori elettrici come clienti residuali rispetto ai consumatori domestici dai quali estraevano margini assai migliori. È il caso, ad esempio, delle acciaierie di Terni e del complesso elettrochimico di Pont Saint Martin, che iniziarono soddisfacendo i loro fabbisogni e poi estesero la loro produzione elettrica a coprire le esigenze dei loro consumatori locali o regionali.

Era evidente a tutti, operatori e Governo, che nel mercato elettrico non c'era spazio per aziende di piccole dimensioni, per l'entità degli investimenti richiesti e le relative necessità di credito. Favorita dalle banche, iniziò perciò una progressiva concentrazione attorno alle società più dinamiche ed efficienti. Nel giro di qualche anno si venne così a creare, attraverso fusioni ed acquisizioni, una regionalizzazione abbastanza spinta, basata anche su accordi (più o meno palesi) di non belligeranza fra gli operatori nelle zone di influenza di ognuno⁴. In questo contesto storico si affermarono le aziende che avrebbero fatto la storia dell'industria elettrica italiana fino alla nazionalizzazione del settore del 1962.

Edison guidò lo sviluppo a Nord, espandendo la sua area di influenza a parte del Veneto, del Piemonte e della Liguria. Ancora una volta fu l'intuizione dell'ing. Colombo a tracciare la

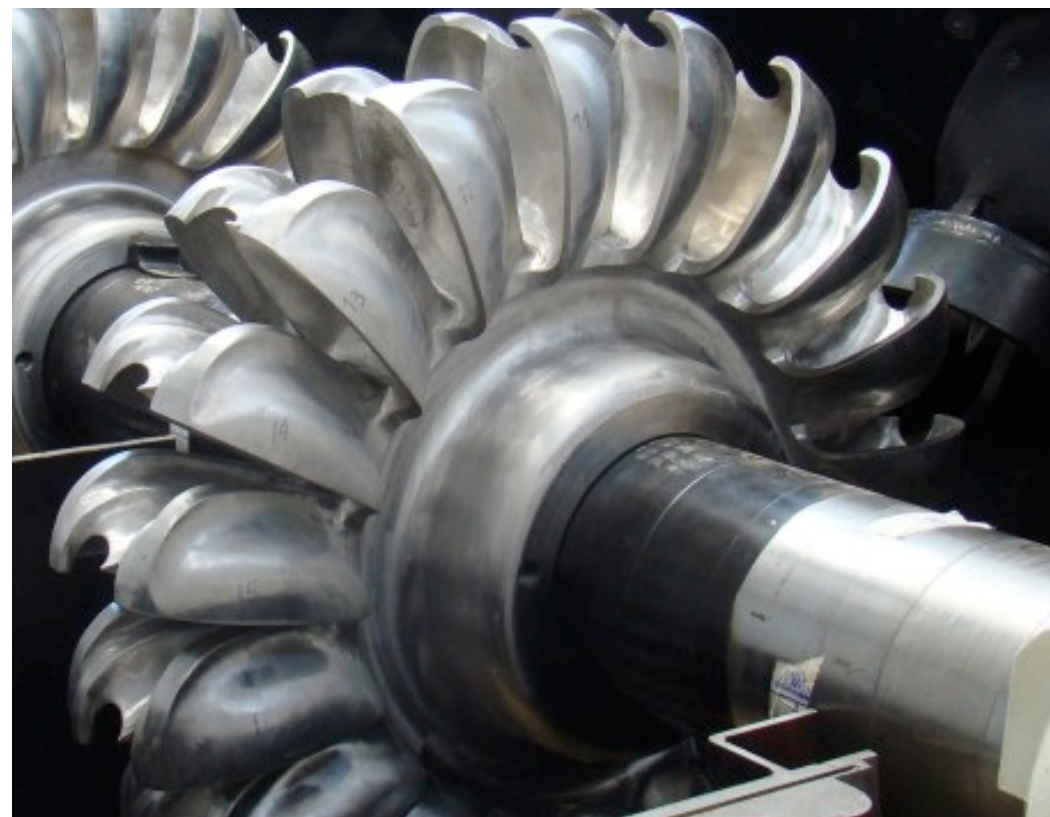
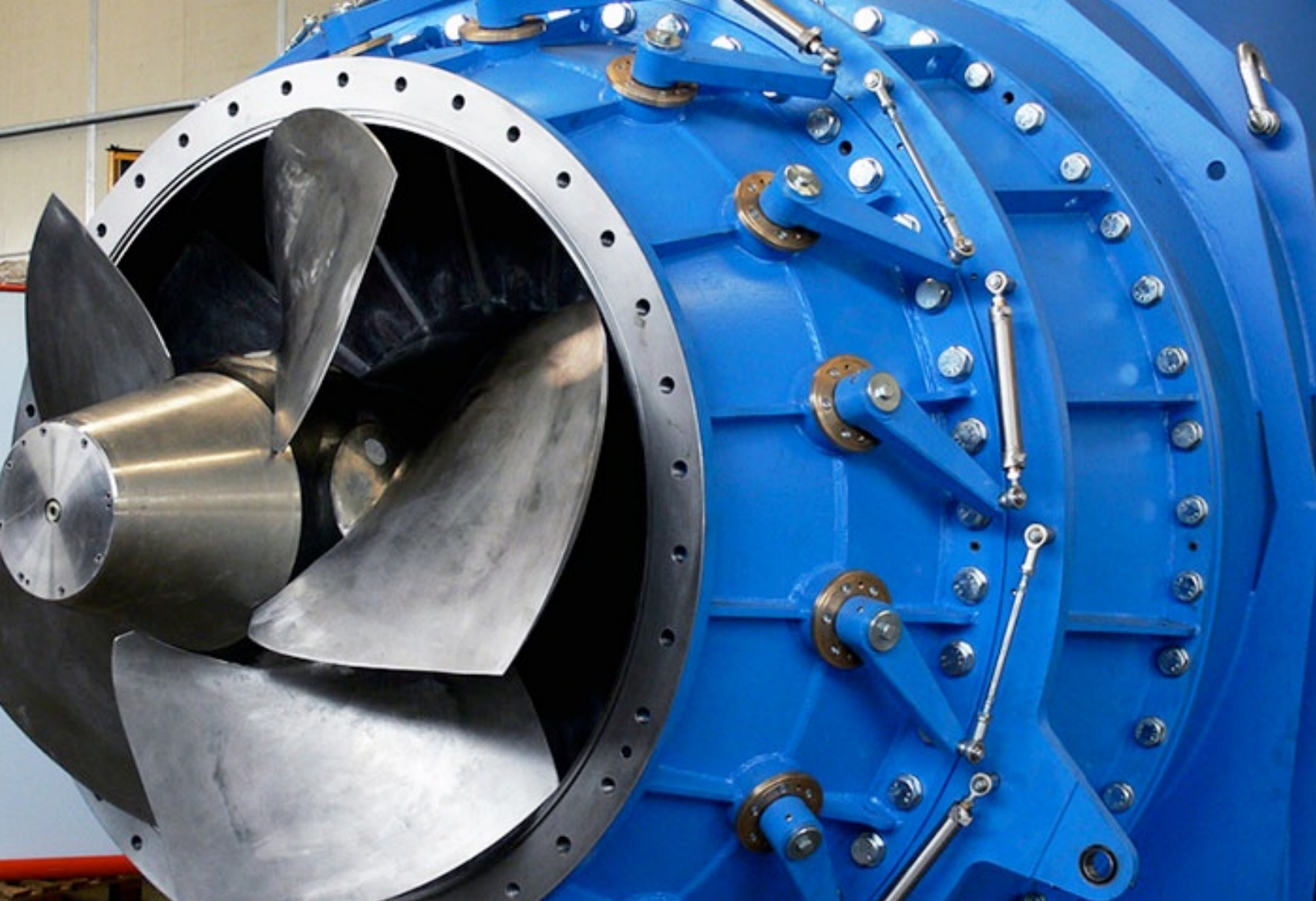


Società Adriatica di Elettricità

direzione. Egli aveva, infatti, lanciato in precedenza, nell'ambito di un concorso pubblico, il tema: "Progetto per fornire Milano di una forza motrice proporzionale al suo sviluppo industriale". L'aveva vinto l'ing. Cippolletti con uno studio sugli impianti di Paderno e Vizzola (sull'Adda e sul Ticino, non lontano da Oleggio). Divennero le prime iniziative di espansione di Edison.

Ovviamente incontrò concorrenti agguerriti. Ad Est era nata Cellina, azienda che prendeva il nome dal torrente friulano sul quale aveva costruito la sua prima centrale. Da essa, nel 1904, nacque SADE (Società Adriatica Di Elettricità) da capitali di banche e privati dell'area veneta interessati all'espansione del polo industriale di Porto Marghera. Ben gestita e finanziariamente solida, bloccò Edison dalla sua parte. Ad Ovest invece ci volle più tempo a contrastare le iniziative Edison perché con il concorso di capitali svizzeri e tedeschi dall'Elettrochimica Saint Martin nacque nel 1918 SIP (Società Idroelettrica Piemonte).

SIP si lanciò in una serie di iniziative che ne trasformarono struttura e finalità, rendendo l'azienda simile ad un moderno conglomerato. Contrariamente a SADE ed Edison, che si finanziavano con ingenti mezzi propri, SIP si appoggiò quasi total-



mente a Credito Italiano e Banca Commerciale. Oltre che di energia elettrica cominciò ad interessarsi di editoria (acquistando SET, Società Editrice Torinese ed EIAR, Ente Italiano Audizioni Radiofoniche) e soprattutto di telefonia, con l'acquisizione di STET (poi STIPEL), TIMO, TELVE, praticamente tutta la rete telefonica del Nord Italia. Il blocco all'espansione di Edison avvenne con un accordo nel quale SIP cedeva le azioni di una sua società (la Negri) in Liguria in cambio delle risorse Edison dell'Alto Po, acquisiva Vizzola e rinunciava a qualsiasi interferenza o disturbo sulle attività Edison a Cogne (in Val d'Aosta).

La concentrazione lungo le coste del Tirreno avvenne attorno a SELT (Società di Elettricità Ligure Toscana) che confluì, insieme alla Società Anglo Romana del Lazio, la EGR (Elettricità e Gas) di Roma e numerose società minori in una finanziaria (la Centrale) che gestiva capitali di imprenditori italiani e statunitensi nel ragguardevole conglomerato. Lungo l'Appennino mar-

chigiano ed abruzzese, l'azienda dominante diventò Terni che, partita come autoproduttore, si arricchì via via di impianti e contratti di acquisto dalle altre aziende elettriche. Lungo le coste Adriatiche il controllo finì nelle mani di UNES (Unione Elettrica Servizi) che operava con un singolare schema basato su nove gruppi produttivi: sette di essi si trovavano lungo le coste centrali dell'Adriatico, tre in Liguria, uno in Piemonte ed uno in Val d'Ossola.

Nell'Italia meridionale ed insulare si affermò SME (Società Meridionale di Elettricità). Nacque come evoluzione di una società a capitale svizzero (SGI: Società Generale per l'Illuminazione) che, con la municipalizzazione dei servizi e la legge speciale per Napoli, ebbe un considerevole impulso per espandersi nell'area campana e successivamente nell'intero Meridione e nelle Isole. Lo fece dando incarico ad uno dei più grandi esperti mondiali di idraulica, Angelo Omodeo⁵, di tracciare un piano di sfruttamento idrico del Meridione e delle Isole. Omodeo lo preparò ed aiutò a realizzarlo. Il piano per la Sicilia decollò con i progetti di Cassibile ed Alcantara, al punto da suggerire la creazione di una affiliata locale (SGES: Società Generale Elettricità Sicilia). In Sardegna il bacino del Tirso cominciò ad essere sfruttato nel 1923. In Calabria gli studi sul bacino della Sila portarono a qualcosa di concreto solo nel 1931.

Con alterne vicende tutte queste aziende arrivarono a dover affrontare la crisi mondiale del 1929 e l'imprudente sfida di Mussolini per la difesa del rapporto di cambio fra lira e sterli-

na intorno ad una parità irrealistica⁶. Ci arrivarono, quasi tutte, indebitate fino al collo, senza risorse o liquidità, così come le banche che avevano finanziato le loro iniziative, sovente fuori del *core business*. Il problema era talmente serio che il governo decise di affidarne ristrutturazione, rifinanziamento e gestione ad un Ente creato appositamente: l'IRI (Istituto di Ricostruzione Industriale). Restarono fuori dal provvedimento soltanto Edison, SADE e Centrale, che molto più delle altre aziende facevano uso del capitale di rischio dei soci privati. Questa struttura restò in piedi praticamente fino al 1962, quando la nazionalizzazione dell'industria elettrica conferì attività e capitalizzazioni ad Enel (Ente Nazionale dell'Energia Elettrica), il nuovo ente di gestione unitaria di tutte le attività elettriche.

6.5 Come creare una leadership tecnologica

Puntando quasi esclusivamente sulla generazione di energia elettrica da fonte idrogeologica, i nostri tecnici acquisirono nel tempo un patrimonio di conoscenze ed esperienza (quello che gli anglosassoni chiamano *know how*) che consente alle aziende italiane, ancora oggi, di essere chiamate a collaborare alla costruzione di centrali idroelettriche praticamente in tutto il mondo.

Lo schema tipico di centrale idroelettrica è costituito da una diga di sbarramento e raccolta delle acque di un bacino idri-



co ed una condotta per l'alimentazione, naturale o forzata, dell'acqua ad un sistema di turbine collegate agli alternatori. Tuttavia non si partì all'inizio con questa idea progettuale ed in realtà, prima del 1900, fu costruita in Italia a scopo idroelettrico una sola diga. Tutte le altre realizzazioni furono del tipo ad acqua fluente, vale a dire alimentate da flussi derivati da fiumi e torrenti. Anche i "salti" idrici usati erano relativamente modesti, adatti all'uso di tur-

bine ad elica e, dopo il 1923, di turbine Kaplan⁷ progettate per impianti ad acqua fluente e basso salto idrico. Successivamente, sfruttate le risorse più facilmente accessibili ed economiche, si passò all'uso di cadute di media entità (da 50 a 400 metri) e progressivamente a quelle di notevole entità (da 400 metri in su). Sulle cadute medie si preferì usare le turbine Francis, sulle grandi la preferenza andò al modello Pelton⁸.

Notevoli progressi si fecero anche nella costruzione dell'edificio che ospitava la centrale. I primi siti erano costituiti da una sala macchine ed una stazione di trasformazione dell'energia prodotta. Sovente, tra le due, si costruiva una sala controllo ed una officina per riparazioni e manutenzione. Quando la situazione non permetteva un *layout* di questo genere, o si temevano frane o valanghe, si ricorse a soluzioni innovative e coraggiose. Dopo gli anni Venti si arrivò, a costruire, ad esempio, centrali in caverna. I primi esempi furono in Sardegna (Coghinas) nel 1927 ed in Piemonte (Pian Munè) nel 1931. Negli anni Trenta prevalse la scelta di trasferire all'esterno dell'edificio la stazione di trasformazione, per ragioni sia economiche (minori investimenti fissi), sia di sicurezza (evitare il più possibile incendi dovuti a guasti delle attrezzature). Sotto l'aspetto operativo ci si accorse molto presto che la curva della domanda durante la giornata presentava dei picchi diurni e dei minimi notturni. Per bilanciare il carico ed ottimizzare l'uso delle attrezzature si ricorse a volte all'accorgimento di pompare di notte nel bacino di accumulo l'acqua che aveva lavorato nelle turbine.

Il primo impianto ad usare questo accorgimento fu quello costruito nel 1912 a Viverone, in Piemonte. Fu un modo semplice di risolvere, almeno parzialmente, uno dei problemi più seri in campo energetico, vero tallone d'Achille per la maggior parte delle energie rinnovabili: come immagazzinare il surplus di energia prodotto dopo aver soddisfatto i consumi. È un

vantaggio che l'energia idroelettrica condivide con le fonti fossili, rendendone vincente la scelta negli ultimi due secoli.

6.6 Le barriere all'affermazione dell'idroelettrico

Accanto a tanti successi, non mancarono nello sviluppo dell'energia idroelettrica momenti di seria difficoltà. Il primo si



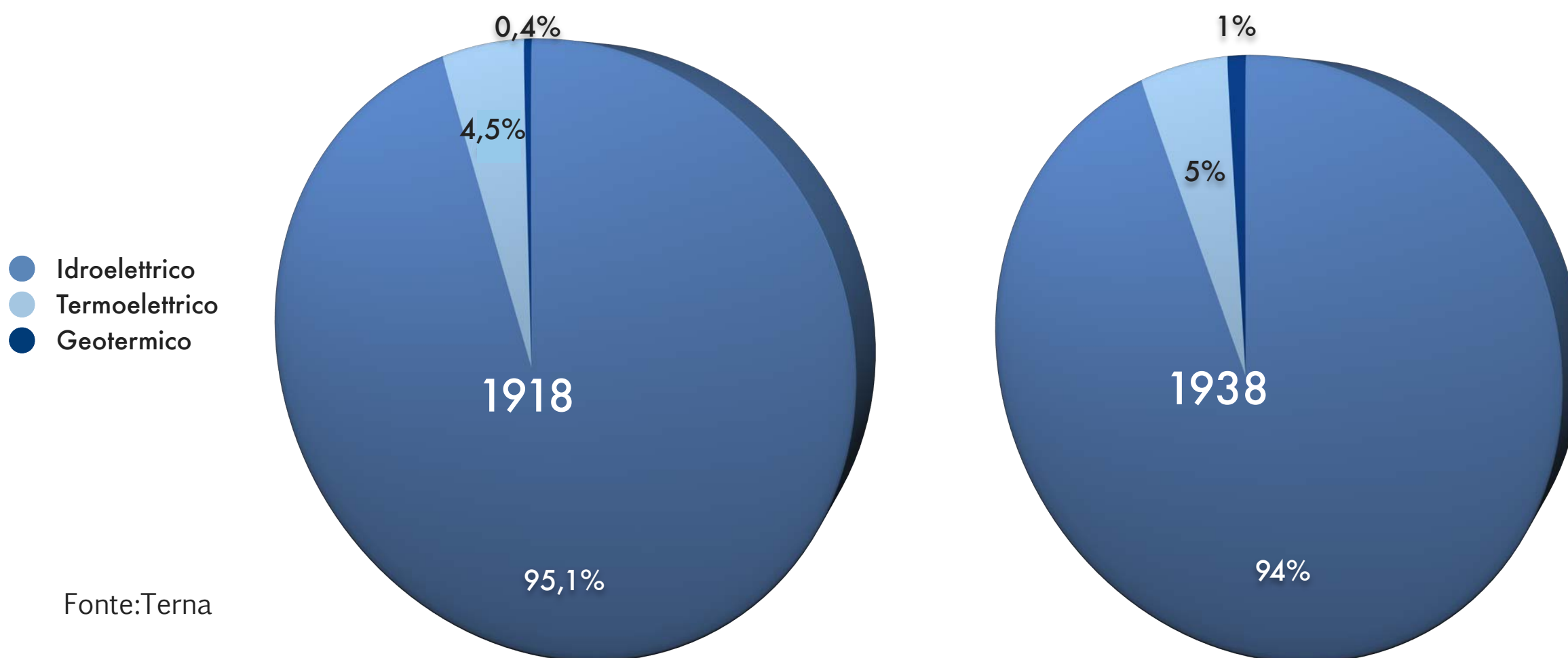
verificò subito dopo la fine della Prima Guerra Mondiale nel momento di massima espansione.

La stagione 1921/1922 fu eccezionalmente secca. La produzione idroelettrica diminuì fortemente e molte industrie lombarde ed emiliane furono costrette a ridurre la produzione sospendendola per due o tre giorni la settimana. Oggi sappiamo che ogni fonte rinnovabile presenta problemi di disponibilità temporale, ma per i nostri bisnonni fu la scoperta di uno spiacevole problema. Il fatto, dopo lunga analisi, fu ritenuto del tutto eccezionale ed in effetti lo era: bisognava andare indietro 170 anni per ritrovare una situazione dello stesso ge-

nera. Tuttavia, quando il fenomeno si ripresentò nel 1924, sia pure in modo meno severo, si cominciò a riflettere sulla necessità di avere a disposizione una riserva di energia basata su una fonte indipendente dai fenomeni naturali.

La discussione si allargò inevitabilmente ad una analisi sull'economicità in Italia della generazione elettrica dalle fonti fossili, come ad esempio il carbone. Si dovette constatare che, nonostante il notevole investimento iniziale richiesto dall'idroelettrico, nella realtà italiana, questo tipo di generazione rimaneva più economica e politicamente più desiderabile. Qualche impianto termoelettrico fu tuttavia costruito ed il

TAV. 6.2 - Produzione elettrica in Italia per fonte



Fonte:Terna

neonato CNR⁹ non mancò di partecipare nel 1924, insieme ai rappresentanti di altri quaranta Stati (Russia e Germania comprese), alla World Power Conference di Londra, organizzata da un industriale elettrico scozzese (Daniel Dunlop), nella quale furono discusse diverse soluzioni di “surrogati” alle fonti fossili ed idriche. Si parlò, infatti, di usare i residui di lavorazione del legno, alcoli ottenibili dalla distillazione della barbabietola e del sorgo zuccherino, rifiuti urbani ed industriali. Insomma, i nostri avi non erano degli sprovveduti e le FER erano ben presenti nei loro pensieri, assai prima che ne avessero coscienza gli ecologisti.

Il secondo momento di difficoltà arrivò con il crollo nel 1923 della diga costruita sul Gleno, nella Lombardia Orientale. Fu istituita una commissione di inchiesta per verificare le norme di progettazione usate in tutte le dighe installate fino a quel momento, rivedere i criteri di sicurezza e stabilire, se necessario, nuovi standard costruttivi. Il lavoro durò due anni e fu prezioso per i suggerimenti e le raccomandazioni che espresse. Da allora non avvennero altri cedimenti strutturali e l'incidente nel 1935 di Sella Zerbino (Piemonte Meridionale) fu causato da una piena di dimensioni eccezionali, non prevedibili a priori. Dall'inizio dell'idroelettrico e fino al 1945 furono costruite 160 dighe e bisogna aspettare il 1963 per il successivo disastro, quello del Vajont, che provocò circa duemila vittime e le cui vicende giudiziarie durarono a lungo, senza arrivare mai a conclusioni condivise.

La cavalcata dell'energia idroelettrica in Italia continuò così indisturbata fino allo scoppio della Seconda Guerra Mondiale. Nel 1938, su un totale di 15.544 GWh consumati nel paese, 14.580 erano generati da impianti idroelettrici, 761 da termoelettrico tradizionale, 203 da geotermoelettrico e 244 importati dall'estero. La fonte idro contava ormai per circa un terzo nell'approvvigionamento energetico dell'Italia.

6.7 L'idroelettrico oggi in Italia e nel mondo

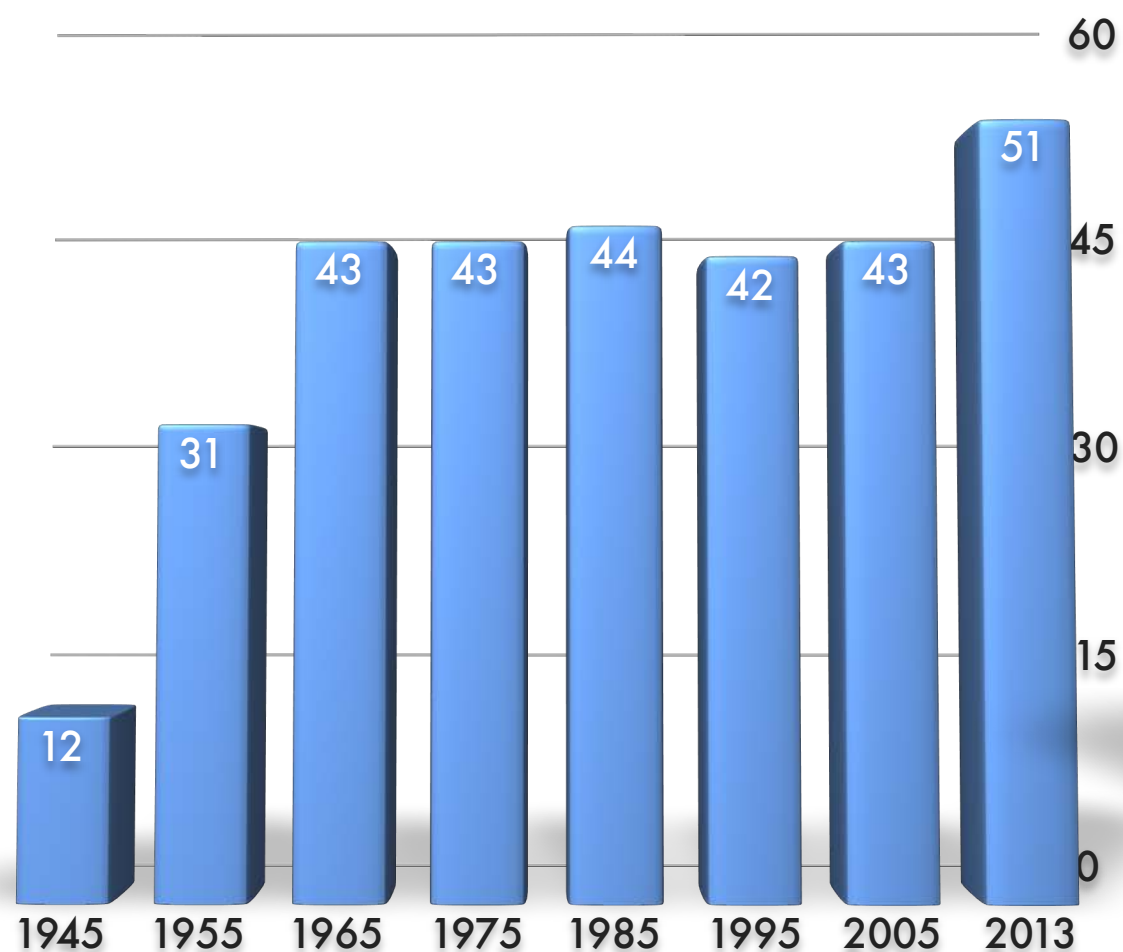
Dopo la Seconda Guerra Mondiale, la produzione di energia elettrica ha fatto sempre più ricorso alle fonti di origine fossile. L'espansione dell'idroelettrico è continuata nei primi quindici anni del dopoguerra e, dopo una stasi fra il 1960 e il



1990, con l'ammodernamento di alcune centrali lasciate in disuso, si è oggi probabilmente raggiunto il massimo del potenziale idrico utilizzabile in Italia.

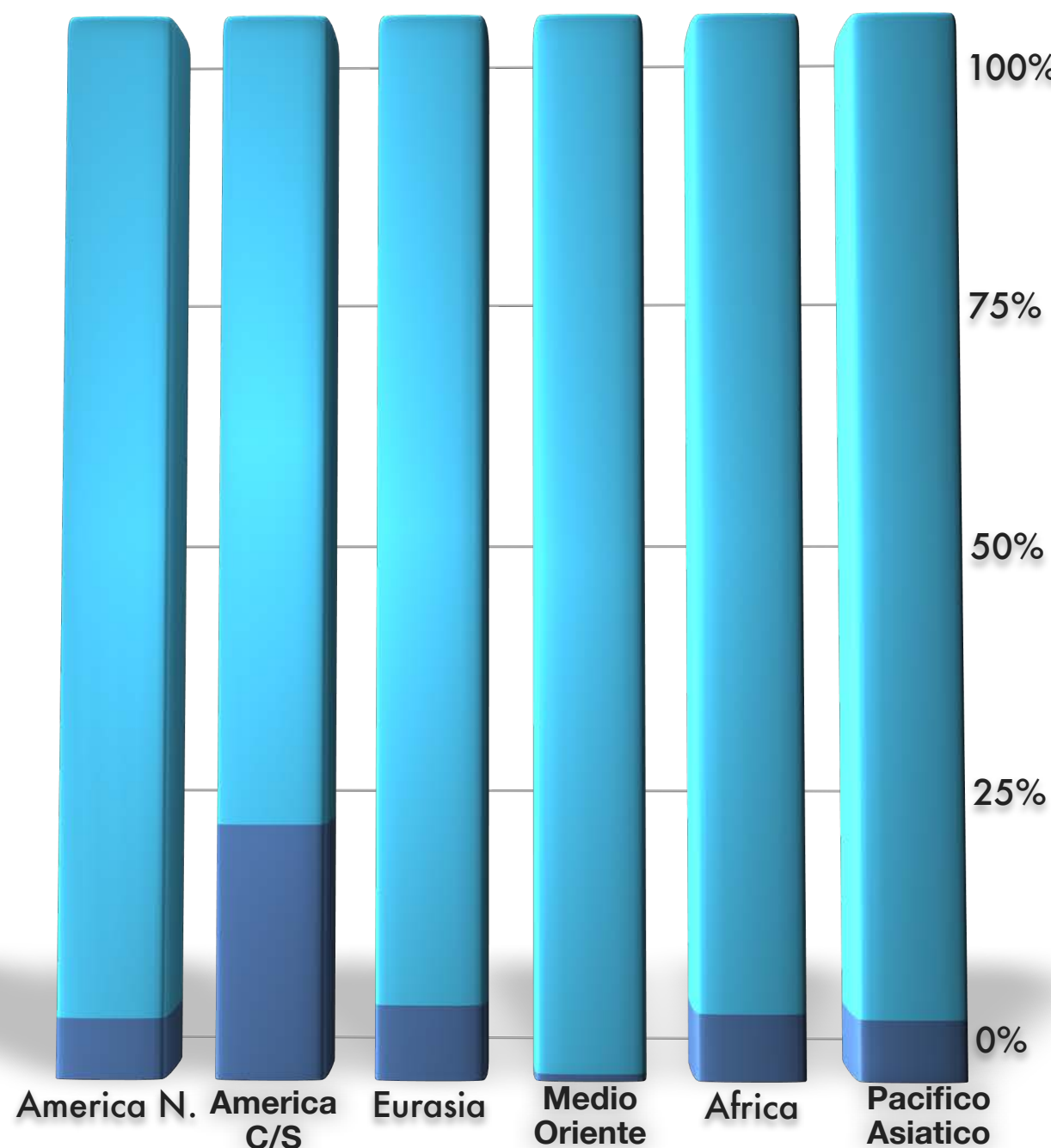
D'ora in avanti non restano che l'efficientamento delle vecchie centrali, lo sviluppo degli impianti di piccola taglia, accomunati nella definizione di mini-idrico e lo sfruttamento del deflusso minimo vitale (DMV).

TAV. 6.3 - Produzione di energia elettrica da fonte idrica in Italia (TWh)



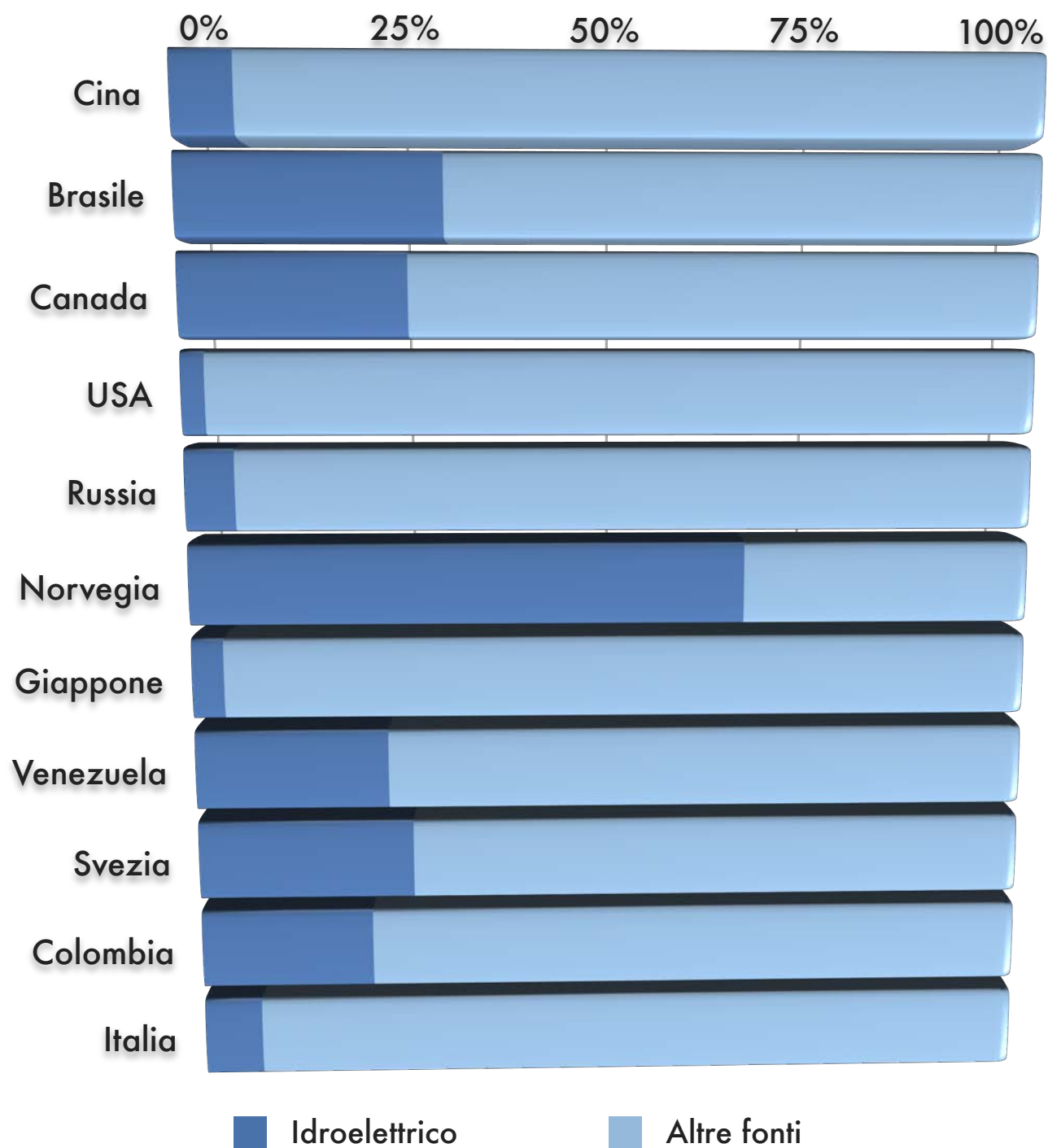
Fonte: Terna, GSE

TAV. 6.4 - Peso percentuale dell'idroelettrico sull'energia primaria totale per area geografica - 2013



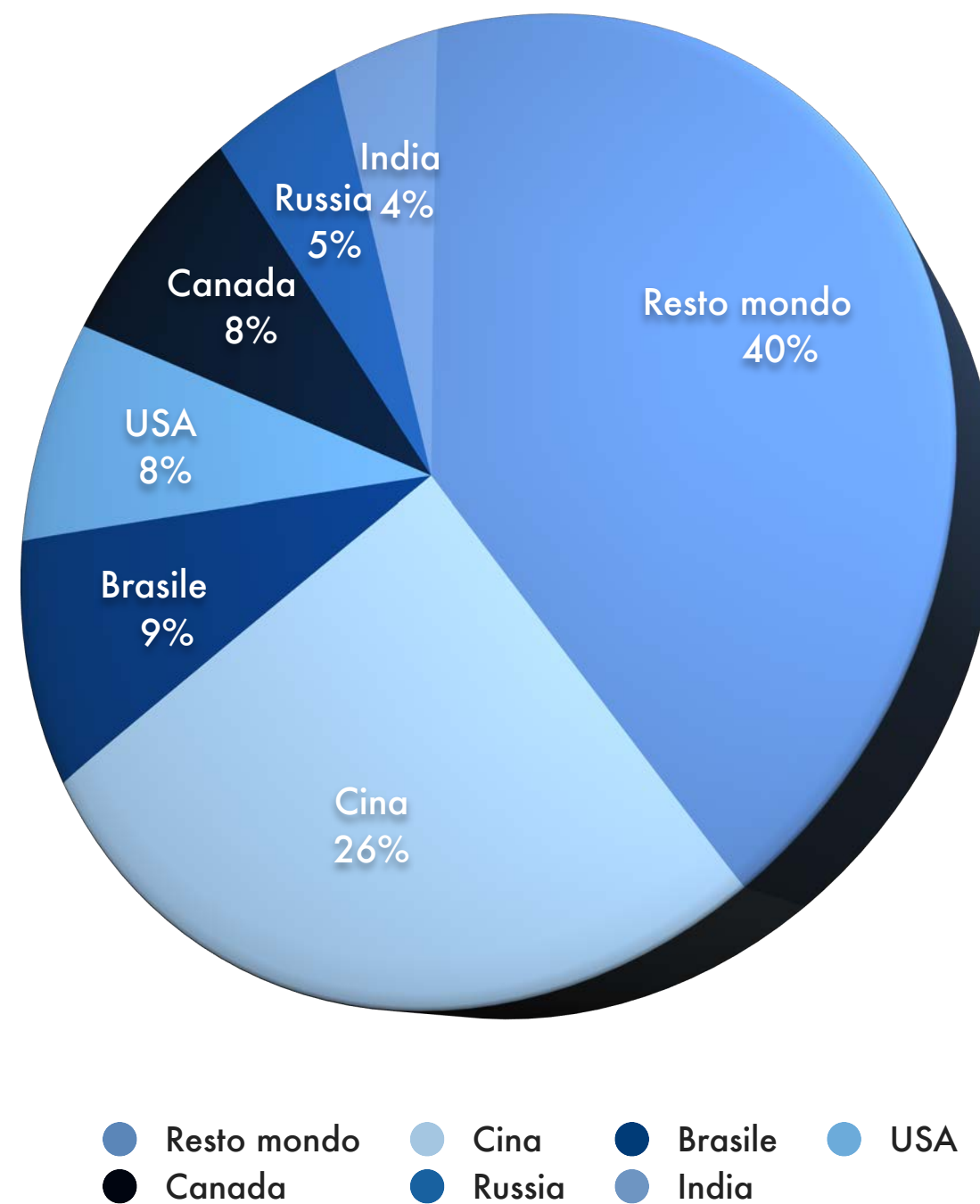
Fonte: BP, Statistical Review of World Energy, 2013

TAV. 6.5 - Peso percentuale dell'idroelettrico sull'energia primaria per Paese - 2013



Fonte: BP, Statistical Review of World Energy, 2013

TAV. 6.6 - Capacità idroelettrica totale nel mondo - 2013



Fonte: REN21, Renewables 2014. Global Status Report

Secondo dati Terna, la produzione idroelettrica, salvo fluttuazioni dovute alla diversa piovosità annuale, si aggira ormai stabilmente fra il 14 ed il 18% del totale.

A livello di energia primaria, l'idroelettrico contribuisce per circa il 6% del fabbisogno totale, in linea con la media mondiale, ma ben superiore al solo 4% della UE. Nel mondo l'utilizzo dell'energia idroelettrica varia da un continente all'altro.

I paesi del Centro e Sud America si distinguono per le più alte produzioni, ma anche per i contributi dell'idroelettrico al soddisfacimento di energia primaria (TAV. 6.4).

Grandissime potenzialità restano in Africa, dove si stima che il potenziale idrico non sfruttato sia quasi del 90% ed in America Latina, dove le applicazioni in Brasile, Peru, Colombia ed Ecuador sono ancora in piena realizzazione.

**La Diga delle Tre Gole,
sul fiume Yangtze, Cina**

Costruita in Cina sul Fiume Azzurro e completata nel 2006, la diga (lunghezza di 2,3 km, altezza di 185 metri), dà luogo a un enorme lago da utilizzare soprattutto per fini idroelettrici. La centrale rappresenta infatti l'impianto con la maggiore capacità di produzione idroelettrica mai realizzato (22.500 MW).



A titolo di curiosità la più grande centrale idroelettrica al mondo si trova in Cina, sullo Yangtze: è la famosa Diga delle Tre Gole, con una potenza di 22,5 GW. La seconda, da 14 GW è sul fiume Paranà, al confine fra Brasile e Paraguay. Segue poi quella sul fiume Caroni, in Venezuela con una potenza di 10,2 GW. In progetto è attualmente l'ampliamento di Inga, sul fiume Congo, dove la potenza installata dovrebbe arrivare a 4,5 GW, mentre in Etiopia si sta completando il Bacino della grande Rinascita che diventerà con 6 GW di potenza la più grande centrale idroelettrica del continente. Il piano quinquennale cinese prevede di installare entro il 2015 altri 290 GW di potenza consolidando la sua posizione di paese con la maggior capacità idroelettrica installata nel mondo.



NOTE

1 Credo non ci sia ingegnere in Italia che non abbia a casa una copia del manuale Colombo, edito per la prima volta da Hoepli nel 1877 ed aggiornato successivamente da collaboratori e proseliti. Laureatosi a venti anni, combattente in Trentino con il Corpo dei Volontari della Libertà di Garibaldi nel 1866, quando già era titolare di una cattedra di Ingegneria Industriale a Milano, oltre ad essere un cattedratico di rilievo, aveva grande fiuto imprenditoriale. All'inaugurazione della prima grande centrale elettrica del mondo a New York, in Pearl Street, ottenne da Thomas Edison l'esclusiva per il "sistema di generazione Edison", ancora basato sull'uso di fonti fossili e distribuzione in corrente continua.

2 "La conquista della forza".

3 G. Carlevaro (1984) "L'economia italiana tra le due guerre", IPSOA, Comune di Roma.

4 Ovviamente non esisteva al tempo alcuna normativa antitrust.

5 Omodeo ebbe incarichi internazionali di grande prestigio nella Russia sovietica, in Cina, in Eritrea ed in altre parti del mondo. Si era laureato in Ingegneria al Politecnico di Milano.

6 La famosa quota novanta lire per una sterlina. Era il cambio all'avvento del potere fascista e nel 1928 aveva già abbondantemente supera quota centocinquanta.

7 Si tratta di turbine a flusso assiale, con la possibilità di regolare l'inclinazione delle palette del rotore. Le turbine ad elica hanno invece pale ad orientamento prestabilito e fisso.

8 Le turbine Francis hanno un distributore a pale regolabili ed un rotore a pale fisse. Nelle turbine Pelton degli ugelli creano dei getti d'acqua che colpiscono le pale del rotore.

9 Consiglio Nazionale delle Ricerche. Istituito nel 1923 e diretto dal matematico Volterra, noto per le equazioni che descrivono le curve di saturazione di un fenomeno e che portano il suo nome (le ben note curve ad S).



LE ENERGIE DEL MARE



7.1 I tesori di Nettuno

Da un po' di tempo si sta cercando di sfruttare la forza delle onde e delle maree, così come abbiamo fatto sulla terraferma con il vento ed il sole. Per ora, come vedremo, siamo ancora... in alto mare, ma qualche piccolo passo avanti si sta facendo. Le difficoltà che la natura oppone alla ricerca sono notevoli, ma i progressi e soprattutto le speranze di superare le difficoltà si stanno facendo più concreti. Ci intratterremo quindi brevemente sulla storia di come finora si è tentato ottenere energia dal mare, rinviando alla sezione sulle biomasse gli esperimenti sull'uso energetico delle alghe. Ognuna delle potenziali applicazioni ha vantaggi e svantaggi tipici di tutte le fonti rinnovabili: da una parte, abbattimento o miglioramento delle emissioni di gas ad effetto serra (GHG), dall'altra discontinuità, variabilità giornaliera e stagionale, bassa intensità energetica e, di conseguenza, costi di produzione elevati.

7.2 Le maree

Già Erodoto, cinque secoli avanti Cristo, aveva descritto il fenomeno delle maree e lo aveva associato al ciclo lunare. Nel Mediterraneo le differenze di livello fra minimo e massimo non erano rilevanti, ma i primi navigatori che oltrepassarono le Colonne d'Ercole (Gibilterra) riferirono di differenze enormi, soprattutto andando a Nord.

Del resto, le spedizioni di Alessandro Magno in Asia, misero in luce fenomeni del tutto simili nell'area dell'Oceano Indiano. Ne seguì l'elaborazione di una teoria astronomica della quale si parlava in un'opera di Posidonio di Rodi¹, andata perduta. Del fenomeno si continuò a parlare nel Medioevo, ma soltanto dopo le teorie di Newton sulla gravitazione universale si cominciò a darne una spiegazione scientifica. Il primo riferimento ad un metodo di sfruttamento del periodico flusso e riflusso delle maree si trova nel "Grande Libro del Catasto d'Inghilterra", un inventario di tutti i beni immobili inglesi compilato, per ordine di Guglielmo il Conquistatore, nel 1086.

In esso si legge che, nel tardo Medioevo, già funzionavano lungo le coste d'Inghilterra, Galles ed Olanda dei mulini azionati dalla forza della marea. Nel "Rapporto sulla Cornovaglia", Richard Carew scrive che gli abitanti utilizzano per i mulini dei tratti di territorio sotto il livello del mare: "Praticano nell'acqua un'apertura e vi collocano una chiusa con due saracinesche. La prima si apre con l'alta marea. Poi, dopo che il flusso ha raggiunto il suo culmine, la richiudono ermeticamen-

te. La spinta dell'acqua per uscire attraverso la seconda saracinesca fa girare la ruota di un mulino". In epoca più recente abbiamo notizia di un mulino azionato da energia mareomotrice in funzione a Salem, Massachusetts, ma bisogna arrivare al secolo scorso per vederne i primi utilizzi nella generazione elettrica. Un esperimento fu tentato in Francia nel 1925, con un progetto per Finistère (in Bretagna), che non andò a buon fine per mancanza di finanziamenti.

L'idea di sfruttare l'estuario sulla Rance venne in quello stesso periodo a Gerard Boisnoer, ma un progetto serio fu messo a punto soltanto nel 1943, ad opera della Società di Studi per l'Utilizzo delle Maree (SEUM). Il fiume, lungo soltanto un centinaio di chilometri, dopo aver bagnato Dinard, sfocia con un estuario nella Manica, vicino Saint Malo: qui le due rive distano quasi ottocento metri l'una dall'altra. Questa situazione costringeva chi volesse attraversare l'estuario a lunghi percorsi per la mancanza di un ponte. L'altezza media della marea nell'anno si aggira intorno agli otto metri, anche se il massimo può arrivare a 13,5 metri. C'erano tutte le condizioni per un progetto di utilità pubblica abbinato ad una inusuale generazione di energia elettrica.

Il piano fu realizzato nel 1961, quando furono create due barriere sull'estuario, una per ogni parte della porzione che ospita la centrale. Essa occupa 332 dei 750 metri dello sbarramento. Il bacino di raccolta della marea è a monte ed ha una superficie di 22,5 chilometri quadrati. La potenza installata è di 240 MW, fornita da 24 turbine da 10 MW ciascuna.



Fino al 2011 la centrale sulla Rance fu l'unico progetto di dimensioni rilevanti costruito per lo sfruttamento delle maree. Ora il primato di potenza installata per una centrale mareomotrice è passato alla recente installazione sul lago Sihwa, nella Corea del Sud. Il lago sorge pochi chilometri ad ovest di Seul e fu ottenuto artificialmente nel 1944 con la costruzione di una diga tra due rive di una baia per mitigare gli effetti delle alluvioni e contemporaneamente per favorire l'utilizzo, a scopo agricolo, del bacino così costruito. Si tratta di una diga di circa 12,7 chilometri che, pochi anni dopo la sua costruzione, iniziò a creare problemi proprio alle attività agricole che intendeva promuovere, per il progressivo inquinamento generato da scarichi urbani ed industriali che si accumulavano nell'area coinvolta dalla raccolta idrica.

Si tentò allora di introdurre, all'interno del bacino artificiale, dell'acqua di mare per diluire e possibilmente eliminare la contaminazione, ma apparve subito migliore l'idea di rendere questo processo di depurazione più efficace, con una immissione controllata e regolare di acqua proveniente dal mare. L'area è soggetta a ma-



ree di una certa entità, con una media di circa cinque metri e mezzo ed un massimo primaverile di quasi otto metri. Il bacino e l'altezza di marea sono di dimensioni tali che l'impianto è stato dotato di ben dieci turbine da 25,4 MW ciascuna e di conseguenza ha una capacità superiore, sia pure di poco, a quella di Rance.

Oltre a questa centrale è operativo nel mondo soltanto un altro impianto di una certa rilevanza. Sorge in Canada, nella baia di Annapolis Royal, in Nuova Scozia. Messo in funzione nel 1984, ha una potenza installata di 20 MW (un decimo di quella della Rance) e produce circa 30 GWh l'anno di energia elettrica².



Questa tecnologia non si è quindi molto sviluppata nel tempo, essenzialmente per due motivi. Da un lato, l'investimento iniziale è piuttosto notevole ed ha senso solo se abbinato ad un importante progetto di viabilità ordinaria, ad esempio l'attraversamento di un estuario, come nel caso della Rance o di Sihwa. Dall'altro, l'installazione ha un elevato impatto ambientale, non soltanto paesaggistico, ma anche per le conseguenze su fauna e flora che vivono nelle regioni ad alta oscillazione di marea. A questo si aggiungono l'accumulo di limo, trasportato dalla marea nel bacino di raccolta, la cui rimozione incide sui costi di manutenzione del sistema e la difficoltà a volte di disporre di un'area sufficiente a coprire la capacità necessaria per il bacino.

7.3 Le onde marine

Trasformare l'energia delle onde in energia fruibile non è un procedimento semplice, come dimostrano del resto i numerosi fallimenti del passato e la cautela con la quale si installano ancora oggi gli impianti sperimentali. Nel 1909, ad esempio, fu lanciato a Los Angeles in California il "motore a onde Reynolds" che, secondo gli inventori, poteva trasformare in



elettricità l'energia ricavata dalle onde del Pacifico. Delle assicelle galleggianti raccoglievano l'energia prodotta dal movimento delle onde e la trasmettevano ad una ruota che a sua volta azionava un generatore. L'elettricità prodotta era appena sufficiente per accendere qualche lampadina e, alla fine, una tempesta spazzò via l'installazione. La *California Wave Motor Company* fallì nonostante la pubblicità l'avesse definita come: “*A good investment, better than a lifetime saving*”. In Europa solo abbastanza di recente, un gruppo di lavoro finanziato dalla UE ha preparato WERATLAS (*Wave Energy Resources Atlas*), la prima mappa europea sull'energia ricavabile dalle onde marine. Essa individua come più promettenti i siti nelle isole Azzorre, in Irlanda ed in Scozia, dove in inverno, al largo, si calcola di poter disporre di una potenza di circa 150 kW per metro di onda.

I problemi che si presentano ai progettisti di un qualsiasi tipo di sistema che cerchi di trasformare quest'energia grezza in qualcosa di economicamente accettabile e facilmente fruibile sono molti. Il primo è costituito dalla robustezza delle attrezzature che

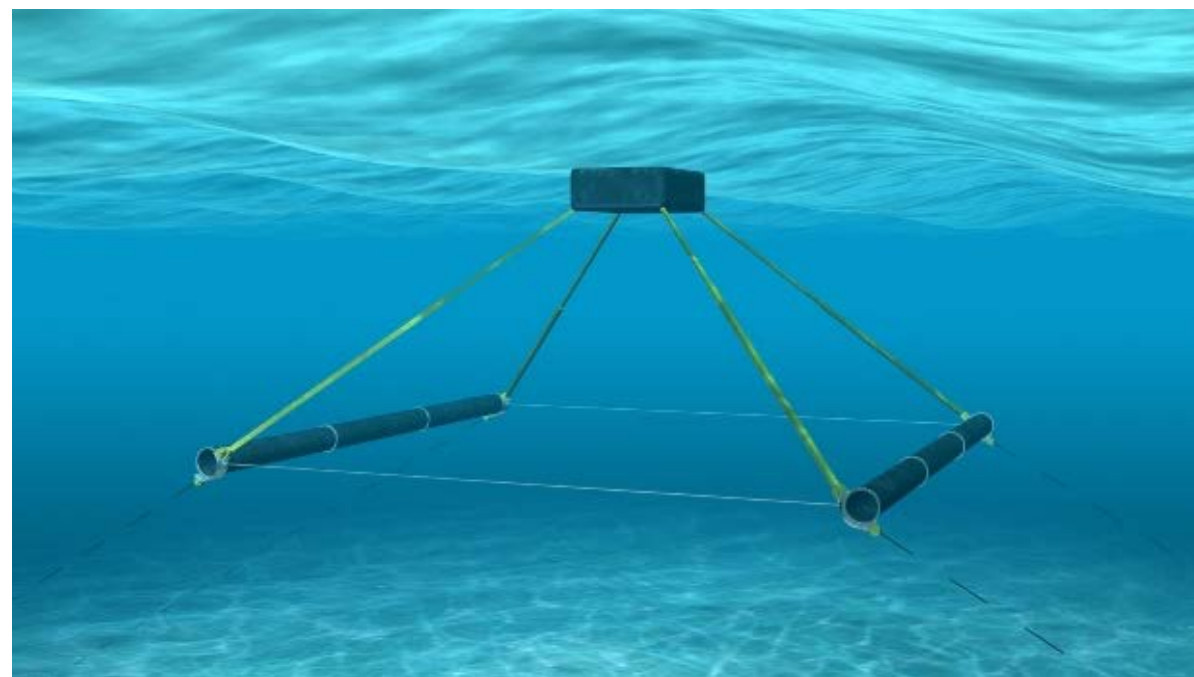
Pelamis Wave Energy Converter, Scozia

Il Pelamis è una struttura semisommersa, costituita da tronconi cilindrici cavi, uniti tra loro da speciali giunti. Somiglia a una specie di serpentone marino, anche se il nome deriva da quello che i Greci usavano per i giovani tonni. Quando arriva l'onda, i tronconi si muovono relativamente l'uno all'altro. La cattura dell'energia avviene nei giunti, all'interno dei quali sono installate delle pompe idrauliche.



Enel Green Power e la macchina marina R115 (a cura di Enel Green Power)

Dal 2013 la società anglo-italiana 40South Energy ed Enel Green Power stanno sperimentando al largo di Punta Righini (LI), il primo esemplare di un nuovo tipo di macchina marina in grado di sfruttare i moti ondosi per la produzione di energia elettrica. La macchina, sviluppata dalla società 40South Energy, è denominata R115 ed ha una capacità nominale regolabile fra 99 kW e 200 kW. I generatori della famiglia R115, a regime, saranno in grado di produrre ciascuno fra 200.000 kWh e 600.000 kWh circa all'anno, a seconda della configurazione e del sito di installazione; nella configurazione ora in sperimentazione nell'arcipelago toscano la produzione prevista è sufficiente a soddisfare i consumi di oltre 80 famiglie. La prima fase di test ha confermato le performance attese dalla macchina in ambiente marino, l'estrema facilità di installazione e l'elevata sicurezza nell'esercizio, permettendo peraltro di identificare una serie di affinamenti mirati ad aumentarne la durabilità in mare. Forti dell'esperienza in campo, il 31 gennaio 2014 è partita la seconda fase di test finalizzata ad ottimizzare materiali e geometrie di funzionamento, con l'obiettivo di installare nel prossimo futuro altre macchine della stessa classe nel Mediterraneo e in ambiente oceanico. Tali test si sono conclusi con successo nel marzo 2014. Sulla base del successo ottenuto, EGP e 40South Energy hanno recentemente deciso di estendere, previo raggiungimento di *milestones* attese di produzione, la loro partnership tecnologica all'attività di sviluppo in corso da parte di 40South Energy di un nuovo generatore marino di potenza nominale pari a 2 MW. Ciò consentirà di incrementare ulteriormente il già ampio spettro di tecnologie a disposizione di Enel Green Power, idroelettrico, solare, eolico, geotermico e biomasse, caratteristica che, insieme alla diversificazione geografica, fa della società italiana delle rinnovabili un unicum a livello mondiale.



vanno adattate alle condizioni atmosferiche più severe alle quali l'impianto sarà esposto. Ad esempio, in Gran Bretagna, la potenza media delle onde oscilla fra 30 e 70 kW per metro di cresta, ma le attrezzature devono essere capaci di resistere alle non infrequenti bufere, durante le quali la potenza sale anche a 2.000 kW per metro. Il secondo problema è legato alla variabilità della potenza disponibile ed al periodo delle onde. Il dispositivo di cattura dovrà quindi avere un governo che lo porti sempre, come nel caso delle pale eoliche, a presentarsi perpendicolarmente al moto ondoso.

Essendo poi il periodo dell'onda relativamente basso (circa un decimo di Hertz) rispetto alla frequenza di rete (50 o 60 Hertz, secondo le nazioni), si può generare soltanto della corrente continua e successivamente trasformarla in alter-

nata. Esiste ormai una notevole pluralità di tecnologie applicabili alla produzione di energia elettrica dal moto ondoso. Quelle che sembrano più vicine ad una applicazione commerciale sono quelle di tipo OWC³ (LIMPET), quelle galleggianti con bacino di raccolta (*Wave Dragon*) e quelle a sezioni oscillanti del tipo *Pelamis*. Esistono poi anche progetti che implementano tecnologie con sistemi sommersi. Dal 2013 la società anglo-italiana 40South Energy ed Enel Green Power stanno ad esempio sperimentando al largo di Punta Righini (LI), il primo esemplare di un nuovo tipo di macchina marina in grado di sfruttare i moti ondosi per la produzione di energia elettrica.

Comincia a farsi strada inoltre l'idea di abbinare a queste tecnologie di produzione elettrica, qualche altra applicazione, quale ad esempio la dissalazione dell'acqua di mare per ripartire i costi, ancora molto elevati, su più di una produzione.

7.4 I gradienti

Fra la superficie del mare e quella che si misura sui fondali esiste una differenza che può arrivare a 24- 26 °C. Gli sforzi per venire a capo di come sfruttare questo enorme potenziale risalgono a più di un secolo fa e ad occuparsene fu per primo il francese Jacques d'Arsonal. Se lui, alla fine dell'Ottocento, si limitò a lanciare l'idea, un suo allievo, George Claude, realizzò un primo impianto pilota OTEC⁴ a Cuba, nel

1930. Tesla, il fisico al quale si devono numerose scoperte nel campo dell'elettromagnetismo, se ne occupò attivamente una decina di anni dopo, ma rinunciò di fronte alle difficoltà ingegneristiche presentate da un possibile progetto di sfruttamento.

Claude ci riprovò, senza successo, così come altri scienziati francesi che progettarono un impianto da 3 MW ad Abidjan, in Costa d'Avorio. L'impianto funzionò fra il 1953 ed il 1955 e fu poi abbandonato, come un altro simile costruito a Guadalupa nel 1958. In tutti questi casi non si andò oltre la fase sperimentale. Bisogna aspettare la prima crisi petrolifera del 1973 per veder l'idea riprendere vigore. Questa volta il governo degli Stati Uniti si convinse che il progetto non era una chimera e finanziò con 200 milioni di dollari un programma di ricerca. Da esso nacque, nel 1979, una piccola centrale da 50 kW nelle Hawaii. I giapponesi si impegnarono anch'essi in un progetto analogo e l'impianto sperimentale della *Tokyo Electric Power Company* fu costruito a Nauru.

Passata la seconda crisi petrolifera del 1979, con il petrolio tornato stabilmente sotto i 20 \$/B, l'interesse per questa tecnologia scemò nuovamente anche perché, il governo americano ritirò i finanziamenti e le ricerche proseguirono unicamente in ambiente scientifico. Soltanto nel 1986 si vide la prima vera realizzazione in mare, a Keahole Point, ancora nelle isole Hawaii, fatta dal *Pacific International Center for High Technology Research*. L'impianto, da 210 kW, funzionò dal 1993 al 1998 e raccolse i dati necessari per lo sviluppo di

progetti su scala commerciale. Da una decina di anni, un impianto per la produzione di energia elettrica ed acqua potabile è in funzione alle Hawaii, presso il *Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority* (NELHA). In India il *National Institute of Ocean Technology* (NIOT) collabora con l'Università giapponese di Saga nella gestione di un impianto sperimentale dello stesso tipo situato su una chiatta al largo di Tamil Nadu con una potenza di 1 MW.

Si sta pensando ultimamente nella base navale americana sull'isola britannica di Diego Garcia, nell'Oceano Indiano, ad un impianto OTEC da 13 MW che dovrebbe produrre la stessa elettricità generata oggi da motori diesel. Oltre a questa funzione, l'impianto dovrebbe rendere disponibile una quantità giornaliera di acqua potabile di circa 200 metri cubi⁵. Un progetto simile potrebbe essere costruito nelle Hawaii, nella base di Pearl Harbour. Molto diversa è la situazione per lo sfruttamento del gradiente salino. Quando tentiamo di dissalare l'acqua di mare per farne dell'acqua dolce, siamo costretti ad usare una notevole quantità di energia. In linea teorica, passando dall'acqua dolce a quella salata, salvo i soliti rendimenti inferiori all'unità, dovremmo veder sviluppare un certo quantitativo di energia. E così è, infatti, quando un fiume sfocia nel mare o nell'oceano e le due acque si mescolano tra loro. Si pensa di sfruttare questa fonte con una tecnologia basata sul fenomeno dell'osmosi, ossia del passaggio di un fluido, a senso unico, attraverso una parete che, proprio per questo, è chiamata semipermeabile.

Il fenomeno dell'osmosi fu scoperto dal francese Nollet nel 1748, quando mise in un recipiente contenente dell'acqua una vescica di maiale piena di vino. Con sua sorpresa vide poco per volta la vescica gonfiarsi ed alla fine scoppiare. L'acqua era ovviamente riuscita a penetrare attraverso il tessuto della parete della vescica finendo per aumentare gradatamente la pressione al suo interno, mentre il vino era rimasto ben custodito all'interno della vescica stessa. La parete della vescica aveva funzionato come una membrana semipermeabile. La successiva elaborazione teorica del fenomeno portò il fisico olandese Van't Hoff a tradurre in relazioni quantitative ciò che abbiamo appena descritto. Per ora non abbiamo ancora trovato il modo di sfruttare questo fenomeno, anche se i ricercatori stanno elaborando alcune idee di un certo interesse.

NOTE

1 Vissuto fra il 135 ed il 50 a.C. filosofo della scuola stoica. Lo studio derivò da un suo viaggio sulla costa atlantica della Spagna.

2 Piccoli impianti di sbarramento esistono anche nella baia di Kislaya (1,7 MW) vicino Murmansk, sul fiume Jangxia (3,2 MW) sul Mar Cinese Orientale.

3 *Oscillating Water Column.*

4 *Ocean Thermal Energy Conversion.*

5 Considerando che il consumo medio giornaliero di acqua per abitante in Italia è di 200 litri, la produzione sarebbe sufficiente per un migliaio di persone se per tutti i consumi si facesse uso di acqua potabile.



LE BIOMASSE



8.1 L'universo delle biomasse

Quando si parla di biomasse, si fa riferimento ad una vasta famiglia di materiali utilizzabili tal quali o con l'uso di tecnologie molto diverse. Il loro utilizzo energetico non è una novità: fino ad un paio di secoli fa costituivano la principale fonte energetica del mondo ed ancora oggi lo sono per un gran numero di persone che vivono sul nostro pianeta in condizioni di indigenza. Stiamo parlando di prodotti e sottoprodotti agricoli, ma anche di rifiuti e residui industriali e forestali, deiezioni animali ed altre forme. L'uso che, in alcune parti del mondo, se ne fa è per cuocere cibo e riscaldarsi, problemi che nei paesi avanzati si sono risolti sostituendo stufe e caminetti con sistemi assai più sostenibili sotto l'aspetto ambientale e meno dannosi per la salute di chi li adopera in ambienti chiusi.

Se ne ha conferma confrontando il mix energetico mondiale con quello dei paesi più industrializzati.

Nel 2011 il contributo che la IEA attribuisce alle FER nel soddisfacimento delle necessità energetiche del mondo è del 13% circa (TAV. 8.1). Escluse le cosiddette biomasse spurie ed il contributo dell'energia idroelettrica, le biomasse cosiddette moderne, non erano che una frazione quasi insignificante dei fabbisogni totali.

Da tempo si conoscono i processi per l'ottenimento di alcol etilico dai succhi zuccherini di canna da zucchero e

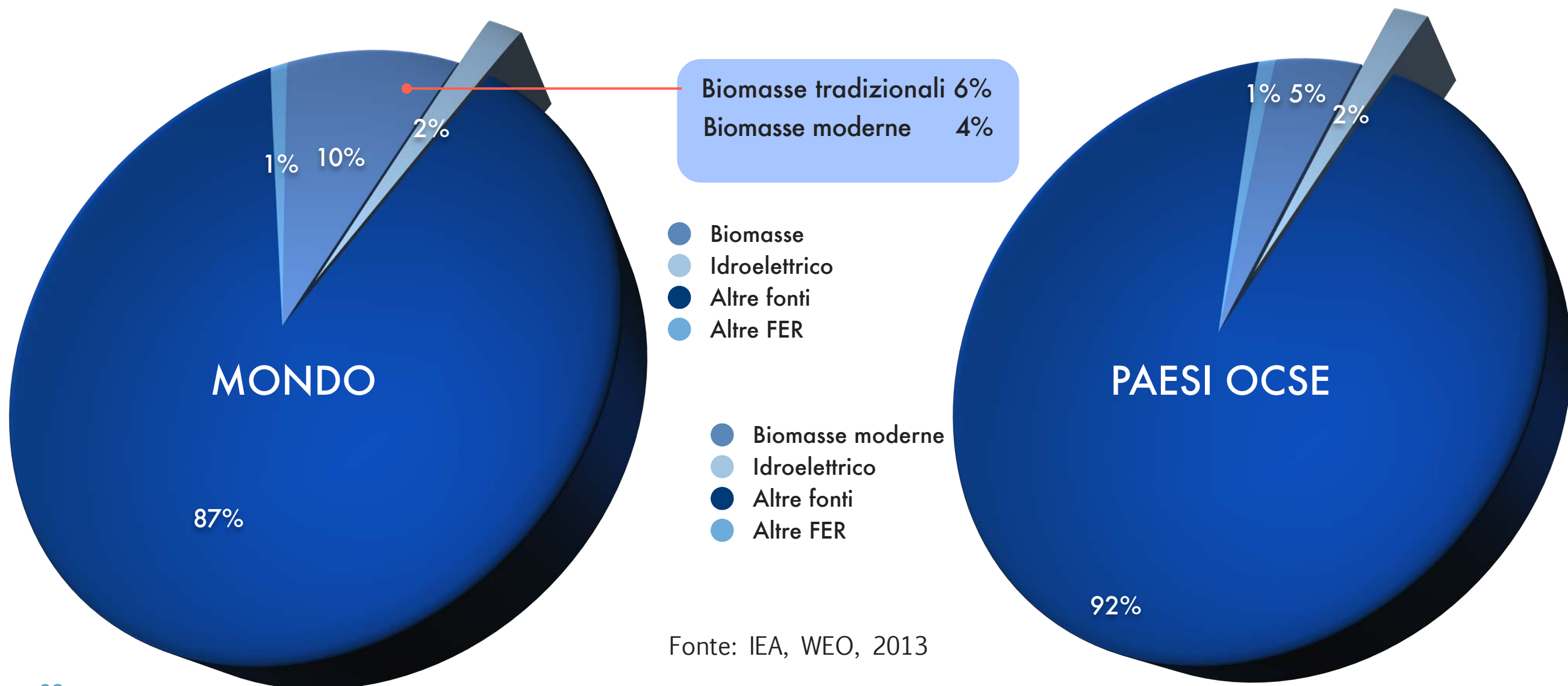


barbabietola. L'uso di alcol come biocarburante era, ad esempio, una delle misure contemplate nel piano autarchico dell'Italia per far fronte alle sanzioni della Società delle Nazioni nel 1936. Il primo vero utilizzo su larga scala di questa tecnologia avvenne soltanto dopo la prima crisi energetica del 1973 con l'adozione da parte del Brasile del programma "Pro Alcool", basato sulla canna da zucchero, che partì nel 1975. La tecnica, affinata nel tempo con l'esperienza, permette oggi al Brasile di usare un parco macchine *flexifuel*, capace cioè di usare sia alcol che benzina o una miscela dei due, con notevoli benefici di costo ed indipendenza energetica. Negli Stati Uniti si sta da anni favorendo invece la produzione di alcol da mais, decisamente non competitiva, ma sovvenzionata per far fronte alle richieste della forte lobby agricola, troppo importante ai fini elettorali per essere ignorata. Sovente l'utilizzo del suolo agricolo a fini energetici è entrato in conflitto

con la necessità di produrre le derrate alimentari necessarie a sfamare una popolazione mondiale in continua crescita. Si è addirittura assistito ad assurdi scempi ambientali in paesi dove si è distrutto parte del patrimonio boschivo per avere accesso ai lauti introiti derivanti dalla coltivazione delle specie adatte alla produzione di biocarburanti.

Nel tempo la reazione a questi tipi di sfruttamento è cresciuta, oltre che per motivi di semplice etica, anche per la considerazione che, quando si fanno i conti sull'intero ciclo di vita di queste produzioni, si arriva a concludere che questa pratica non può essere considerata energeticamente valida e, soprattutto, sostenibile. Oltre all'uso del territorio, è notevole,

TAV. 8.1 - Contributo delle fonti rinnovabili sui consumi di energia primaria - 2011



infatti, il consumo energetico derivante dall'utilizzo dei fertilizzanti necessari alla coltura e quanto serve per trasportare i prodotti addirittura in altri continenti.

Se da una parte tutto ciò ha portato la UE a stabilire regole precise per considerare "rinnovabili" queste fonti, dall'altra ha spinto la comunità internazionale a sviluppare nuove specie, le cosiddette biomasse di seconda e terza generazione, per tentare di eliminare il conflitto fra usi agricoli ed energetici dei terreni.

Qualcosa di analogo si sta verificando anche per quello che riguarda la coltivazione delle alghe, questa volta di origine marina, paludosa o d'acqua dolce, nuova frontiera di sviluppo delle biomasse.

Fin dall'antichità le alghe sono state utilizzate per il loro alto potere nutritivo e vitaminico. Celti e Vichinghi, durante i lunghi viaggi per mare, masticavano *dulse*, un'alga ricca di vitamine B6 e B12. In Nuova Zelanda il *Karengo* è usato da secoli nel brodo e nelle insalate; in Giappone cibarsi di *Nori*¹ è antichissima abitudine alimentare. Per la maggior parte di noi in Occidente queste abitudini costituiscono ancora una curiosità, ma ci sono eccezioni. In Sicilia, ad esempio, si raccoglieva nel catanese l'alga *mauru*, che fino a qualche decennio fa era venduta per strada nei chioschi e consumata cruda, condita con limone.

La *Spirulina*, già nota agli Aztechi ed alle tribù del Chad, contiene fino al 60% di proteine. Per dare un'idea, nelle uova le

proteine sono il 13% e nel latte solo il 3%. Le alghe però, non hanno soltanto valore nutritivo. Dalle diverse specie si ottengono preziosi prodotti per la cura della salute, coloranti e pigmenti naturali usati nei succhi d'arancia, nelle gomme da masticare, nei sorbetti ed in vari prodotti alimentari, in sostituzione dei coloranti sintetici.

Da quando si è introdotto (in particolare in Europa) l'uso dei biocarburanti, l'attenzione alle alghe ha destato nuovo interesse. Esse, infatti, hanno un'altissima efficienza di conversione del carbonio a biomassa; la loro capacità di accrescimento è una ventina di volte quella delle specie vegetali terrestri ed esiste la possibilità di ottenere specie che presentano alte percentuali di lipidi, condizione ideale per la produzione di biocarburanti². Inoltre, al contrario delle specie terrestri, il loro ciclo di crescita non è annuale e di conseguenza, se qualcosa va storto nella coltivazione, per un qualsiasi motivo, non si perde il raccolto fino all'anno successivo, ma si può rimediare abbastanza rapidamente. La coltivazione non richiede terreni di particolare natura: si possono addirittura usare zone di scarso o nessun interesse agricolo e, in caso di alghe allevate in acque salate o salmastre, zone costiere, lagunari, o bracci di mare deserti vicini alla costa.

La prima coltivazione di alghe per biocombustibili partì negli Stati Uniti negli anni Cinquanta del secolo scorso sul tetto del famoso MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), ma la prima coltura non di laboratorio avvenne in uno stagno vi-

cino Roswell, nel New Mexico. Studi e ricerche più mirati iniziarono alla fine degli anni Ottanta, con esperimenti che non portarono a risultati di rilievo, almeno nei primi anni. I progressi della biologia, poco per volta, hanno convinto anche gli scettici a pensare che le alghe possiedono un potenziale energetico ragguardevole e da allora si è sviluppato un forse eccessivo senso di ottimismo sul loro utilizzo.

Poiché esistono innumerevoli tipi di alghe, la possibilità di ottenere da esse diversi prodotti energetici è piuttosto ampia.

Se ne possono produrre sia biocarburanti che biogas; possono essere usate secche come qualsiasi biomassa terrestre, o per catturare dell'anidride carbonica, come si propongono le iniziative note come CCS (*Carbon Capture and Sequestration*), oppure per completare il processo di depurazione delle acque di scarico di un complesso industriale o di una città. Nella prospettiva di contribuire allo sviluppo dei paesi poveri, possono fornire cibo (proteine e vitamine) ed allo stesso tempo energia di base.





Idee e possibili progetti sono attualmente in corso di sviluppo in varie parti del mondo. Fra di essi alcuni sono abbastanza bizzarri, quali ad esempio il *Green Desert Project*, teso al recupero del Sahara attraverso la coltivazione di alghe di vario genere, oppure OMEGA (*Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae*) per far crescere in ambiente marino alghe che vivono nelle acque di scarico delle città. Molti altri sono invece dedicati a dimostrare come sia possibile realizzare economicamente una o più delle fasi necessarie per arrivare alla produzione commerciale di biocarburanti.

NOTE

1 Alga del tipo *Porphyra*, nota anche in Europa con vari nomi, ad esempio “Laver” in Galles.

2 I lipidi, o grassi, sono i prodotti di partenza dai quali si ottengono i biocarburanti.



A CHE PUNTO SIAMO CON LE FER?



9.1 Rinnovabili tra passato e futuro

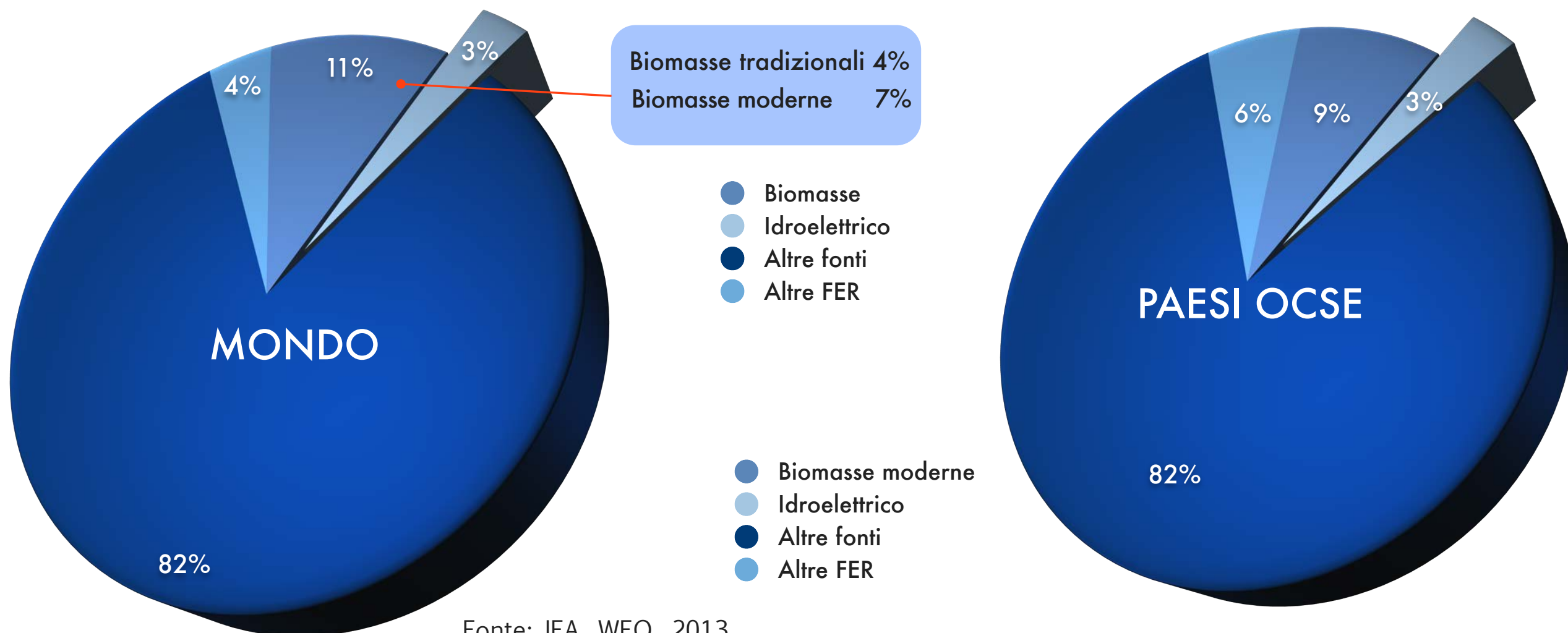
Finora abbiamo ripercorso nella storia il lungo cammino fatto dalle FER per recuperare il ruolo che inizialmente ebbero (ed alcune di esse mantengono) nello sviluppo dell'umanità. Tutto fa pensare che, dopo qualche millennio, sia recentemente iniziato un ritorno alle origini, reso possibile dal progresso delle conoscenze scientifiche e dal timore di andare incontro ad un progressivo riscaldamento del pianeta. È quindi più che opportuno, con mente sgombra da pregiudizi, domandarsi a che punto siamo e qual è il futuro che per esse ci possiamo aspettare.

Guardando allo sviluppo di ogni FER nel corso dei secoli, non mancano motivi di riflessione. Innanzitutto non si tratta di energie “nuove”. Le biomasse hanno accompagnato l'umanità fin dalla sua infanzia ed ancora oggi soddisfano le necessità fondamentali di qualche miliardo di persone. Idroelettrico e geotermico trovano applicazioni industriali da un secolo e più. Fra quelle che hanno iniziato ad affermarsi più recentemente non mancano esempi (o tentativi di utilizzo) fin dai tempi più remoti: dall'eolico, al solare. La più giovane delle FER, il fotovoltaico, quella che fra tutte più stenta a diventare competitiva, ha la stessa età del petrolio di Drake.

Come abbiamo visto, nel 2011, secondo i dati della IEA, le FER coprivano il 13% circa dei fabbisogni energetici mondiali, ma escludendo le biomasse e l'energia idroelettrica, fotovoltaico, solare termico ed a concentrazione, eolico e marino, rappresentavano l'1% circa del totale. Nel suo WEO del 2013, la IEA prevede un consistente aumento nel contributo delle energie rinnovabili ai bilanci energetici mondiali come risultato delle politiche di promozione ed incentivazione nei paesi OCSE.

Poiché non si stanno certamente lesinando sforzi, risorse ed investimenti, potrebbe sembrare sorprendente constatare che, tra venti anni circa, le FER "nobili" si attesteranno soltanto intorno al 4 - 6% del totale. Sfortunatamente l'eccessiva enfasi riposta sui pregi delle fonti rinnovabili ha fatto passare in secondo piano i difetti che ne hanno da sempre frenato lo sviluppo: aleatorietà, intermittenza, bassa densità energetica, spazi occupati dalle loro installazioni, scarsa compatibilità

TAV. 9.1 - Contributo delle fonti rinnovabili sui consumi di energia primaria - 2035



Fonte: IEA, WEO, 2013

con le reti distributive esistenti. Sono tutti aspetti che tendono ad aumentare i costi e rallentarne lo sviluppo.

La storia dell'umanità mostra che i cambiamenti energetici avvengono quando diventa più conveniente far ricorso ad una nuova fonte piuttosto che continuare ad utilizzare quella prevalente fino a quel momento. Quando questo accade, la sostituzione avviene con gradualità e la "vecchia" fonte, lungi dall'essere abbandonata, continua ad essere usata, in modo anche non marginale, per decenni. L'era del legno non è finita perché è finito il legno ma solo perché il carbone era meglio. Negli ultimi venti anni abbiamo assistito, soprattutto nella UE, al tentativo di ribaltare entrambe le esperienze, imponendo con Direttive, regolamenti ed incentivi, l'affermarsi di fonti non ancora economicamente competitive ed il più velocemente possibile. Come sempre accade quando si ha troppa fretta e si stringono i tempi, si sono commessi parecchi errori. Il primo fu di ignorare, da parte europea, che i percepiti cambiamenti climatici non erano che uno dei tanti problemi che l'umanità si trovava a dover affrontare. In molte parti del mondo fame, malattie, discriminazioni, mancanza di risorse idriche ed igieniche di base, coinvolgono almeno un terzo della popolazione del pianeta.

Se il *global warming* è un problema globale, altrettanto globale dovrebbe essere l'impegno a porre fine a situazioni del genere. Del resto si tratta di problemi noti sin dai tempi della Conferenza di Stoccolma del 1972 e del rapporto Brundtland del 1987.

L'altro serio errore fu trascurare che, per raggiungere l'obiettivo di abbattere le emissioni di GHG, lo strumento più efficace, ed a minor costo, è costituito dal risparmio e dall'efficienza energetica. Lo scarso supporto normativo all'efficienza energetica ha limitato i finanziamenti necessari a queste attività, considerate dalle banche assai meno garantite e più rischiose.

L'accelerazione data allo sviluppo delle FER ha anche avuto come risultato quello di rendere inutilizzati sistemi di generazione elettrica tradizionali efficienti e praticamente nuovi e di imporre, in tempi relativamente brevi, l'ammodernamento del sistema storico di distribuzione elettrica, basato su una produzione centralizzata e non distribuita.

Nonostante queste evidenti carenze ed i non pochi effetti negativi che l'orientamento europeo ha provocato (delocalizzazioni industriali, smantellamento della raffinazione, rifiuto della maggior parte dei paesi del mondo ad accordarsi su obiettivi di riduzione dei gas serra a date specifiche) la UE ha gettato il cuore oltre l'ostacolo mettendo a punto un programma per "liberarsi" di tutte le "vecchie" fonti fossili entro il 2050, "decarbonizzando" l'economia.

È una grossa scommessa, soprattutto se si pensa che questa *Roadmap* presuppone un totale sganciamento dello sviluppo economico dai consumi energetici, cosa mai avvenuta finora nella storia dell'umanità. Indipendentemente da quanto si pensi sul realismo e sull'opportunità di questo obiettivo¹, c'è un solo modo per tentare di arrivarci o per lo meno di avvicinar-



cisi (ammesso che valga la pena continuare a dare priorità a questo obiettivo rispetto a tanti altri di eguale o forse maggiore importanza): un sostanziale progresso di scienza e tecnologia. Cosa ci possiamo aspettare? Di questo ci occuperemo nelle prossime pagine, esplorando prospettive e problemi dei programmi di ricerca attualmente in corso, di alcuni dei quali il grande pubblico è abbastanza inconsapevole.

9.2 FER ed estensioni delle attuali tecnologie

Le difficoltà incontrate dalle FER per diventare competitive con altre forme di energia sono sostanzialmente:

- bassa efficienza di conversione delle energie naturali in altre forme energetiche;
 - necessità di sistemi di accumulo per ovviare alla loro aleatoria disponibilità e difficile programmabilità;
 - competizione (per le biomasse in particolare) nell'uso di prodotti e spazi usufruibili per finalità diverse.
- In ognuna di queste aree scienziati e ricercatori stanno battendo tutte le strade possibili per arrivare almeno a mitigare, se non a risolvere, tutte le problematiche che rallentano lo sviluppo delle FER. In questo contesto, ad esempio, la IEA svolge una notevole attività di coordinamento e stimolo attraverso l'*Implementing Agreement*, programma che coinvolge esperti di quarantasei paesi ed organismi internazionali nello studio per il miglioramento di tutti i

settori dell'energia con particolare riguardo, negli ultimi anni a quello delle FER. Tenendo conto del livello di investimenti richiesti in futuro e dei non brevi tempi di realizzazione, le soluzioni alle quali si guarda non devono forzare soluzioni sub ottimali, ma suggerire lo sviluppo di tecnologie valide non solo oggi, ma anche in futuro. È quasi inevitabile quindi che, per rispettare le scadenze temporali della UE, si tenti di estendere il più possibile tecnologie non ancora mature, ma vicine o quasi alla commercializzazione, piuttosto che esplorare strade mai battute finora e delle quali conosciamo relativamente poco.

Così si lavora sull'energia solare ed il suo abbinamento a processi di dissalazione dell'acqua di mare, sul migliorare i sistemi solari termici ed ottimizzare il funzionamento degli impianti di solare a concentrazione, anche se alcuni cominciano a considerare questa tecnologia poco promettente di per sé, a meno di accoppiarla a qualche iniziativa di accumulo energetico. In geotermia, la cooperazione internazionale ha definito un insieme di *best practices* per la perforazione dei pozzi, fase che rappresenta la metà dell'investimento per un progetto di recupero da profondità di un certo impegno. Molto si sta studiando su come arrivare a produrre idrogeno con microrganismi e come risolvere i problemi meccanici e di sicurezza che coinvolgono tutti i sistemi per il suo accumulo. Anche le tecnologie per lo sfruttamento delle energie marine progrediscono con nuove applicazioni su scala sperimentale, così co-

me il lavoro sulle celle a combustibile in vista dell'introduzione dei veicoli elettrici.

Tutti riconoscono tuttavia che, nonostante i progressi prevedibili in tutte queste aree, non si intravede oggi, con l'estensione delle tecnologie già sperimentate, la possibilità di uno *step change*, una rivoluzione energetica come quella che in passato hanno rappresentato i trapianti di organi, l'esplosione della tecnologia digitale o in futuro qualcosa sulla quale si continua a sognare invano, come la fusione nucleare. Un formidabile balzo in avanti potrebbe invece arrivarci dalle applicazioni della nanotecnologia, affermatasi abbastanza recentemente e dotate di uno straordinario potenziale di innovazione.

9.3 La nanotecnologia

La nanotecnologia è un ramo della scienza applicata che si occupa della progettazione e realizzazione di materiali, dispositivi, sistemi utili e funzionali costituiti da (o addizionati con) particelle le cui dimensioni sono comprese, almeno in una delle tre direzioni, tra 1 e 100 nanometri (10⁻⁹ metri, un milionesimo di millimetro). Per avere un'idea di cosa significa un nanometro, il diametro di un capello umano misura diecimila nanometri (nm), la dimensione di un virus si aggira sui 100 nm e la distanza tra due atomi di carbonio in un idrocarburo è compresa tra 0,12 e 0,15 nm.

Si è scoperto che quando un materiale, un composto o un elemento chimico sono ridotti dalle dimensioni macroscopiche, alle quali siamo abituati a riconoscerli, alle dimensioni di circa 100 nm, il loro comportamento cambia per il mutare dell'importanza delle forze in gioco: scompare, infatti, l'effetto gravitazionale ed iniziano a prevalere le forze che tengono insieme la materia allo stato elementare. Si passa in sostanza dalle leggi della fisica classica a quella dei quanti di energia. Con il mutare della importanza gerarchica delle forze, cambiano sorprendentemente le proprietà fisiche, chimiche, meccaniche, elettriche, ottiche dei materiali.

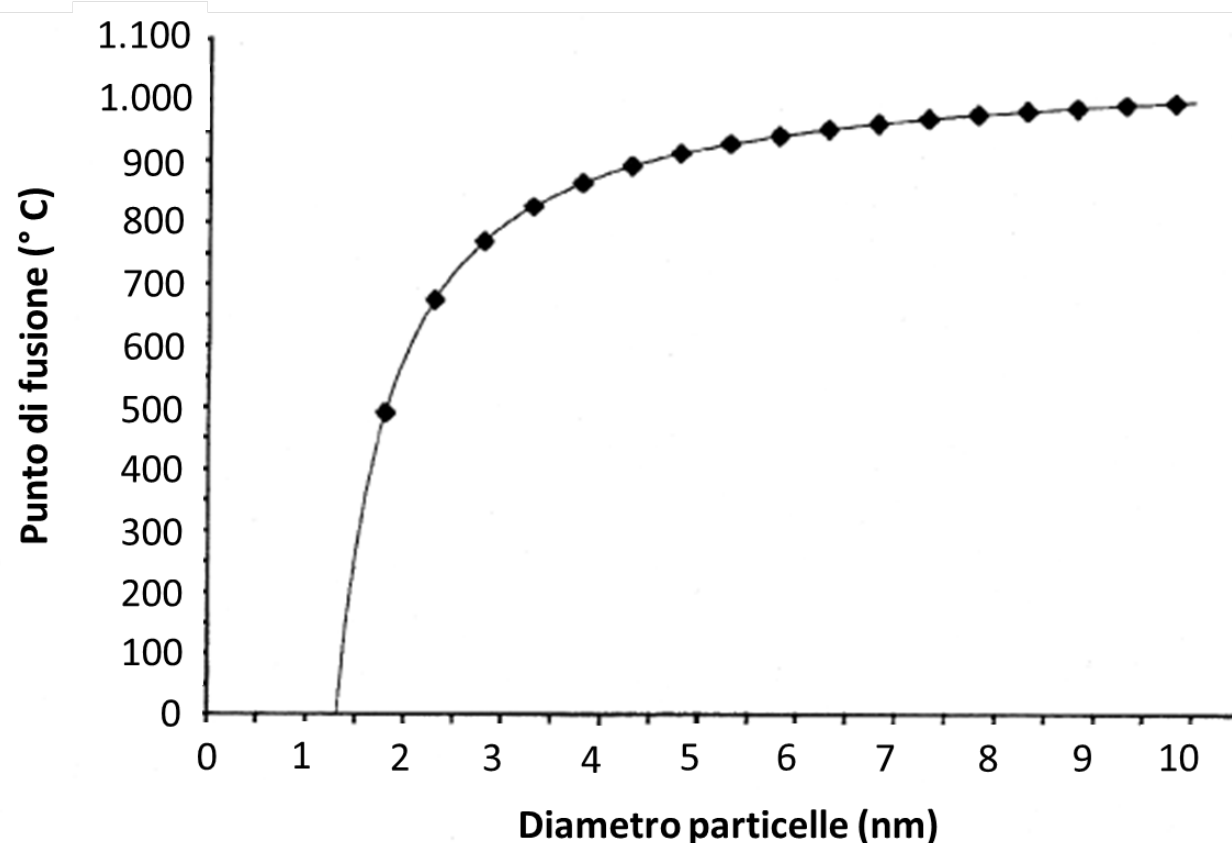
Un esempio concreto rende meglio l'idea di cosa capita, andando dalle dimensioni macro a quelle nano. Analizziamo il grafico relativo alla temperatura di fusione dell'oro in funzione del diametro delle particelle che si studiano.

Nel nostro mondo macroscopico la sua temperatura di fusione è di 1.064 °C. Quando si porta il metallo a dimensioni di 10 nm, questa temperatura si abbassa a circa 1.000 °C, ma a 4 nm scende a circa 850 °C ed a 2 nm crolla sotto 500°C. Così, ridotte a livello nanometrico, sostanze opache come il rame diventano trasparenti; metalli stabili come l'alluminio si trasformano in combustibili, sostanze insolubili in acqua diventano solubili.

Ci sono due caratteristiche che rendono questi fenomeni particolarmente interessanti e sfruttabili in molti campi. La prima è il notevole aumento del rapporto tra superficie e volume

del materiale miniaturizzato, caratteristica fondamentale richiesta, ad esempio, dai catalizzatori delle reazioni chimiche. L'oro, in dimensioni nano, si trasforma da materiale inerte a formidabile mezzo di promozione delle reazioni chimiche. Il platino, già oggi usato spesso a questi scopi, acquista efficacia superiore di qualche ordine di grandezza.

TAV. 9.2 - Temperatura di fusione dell'oro in funzione del diametro delle particelle



Fonte: Felix Siril, School of basic science Mandi Indian Institute of Technology

La seconda caratteristica è che ogni cambiamento realizzato in questa scala, permane quando si riporta il materiale a livello macroscopico.

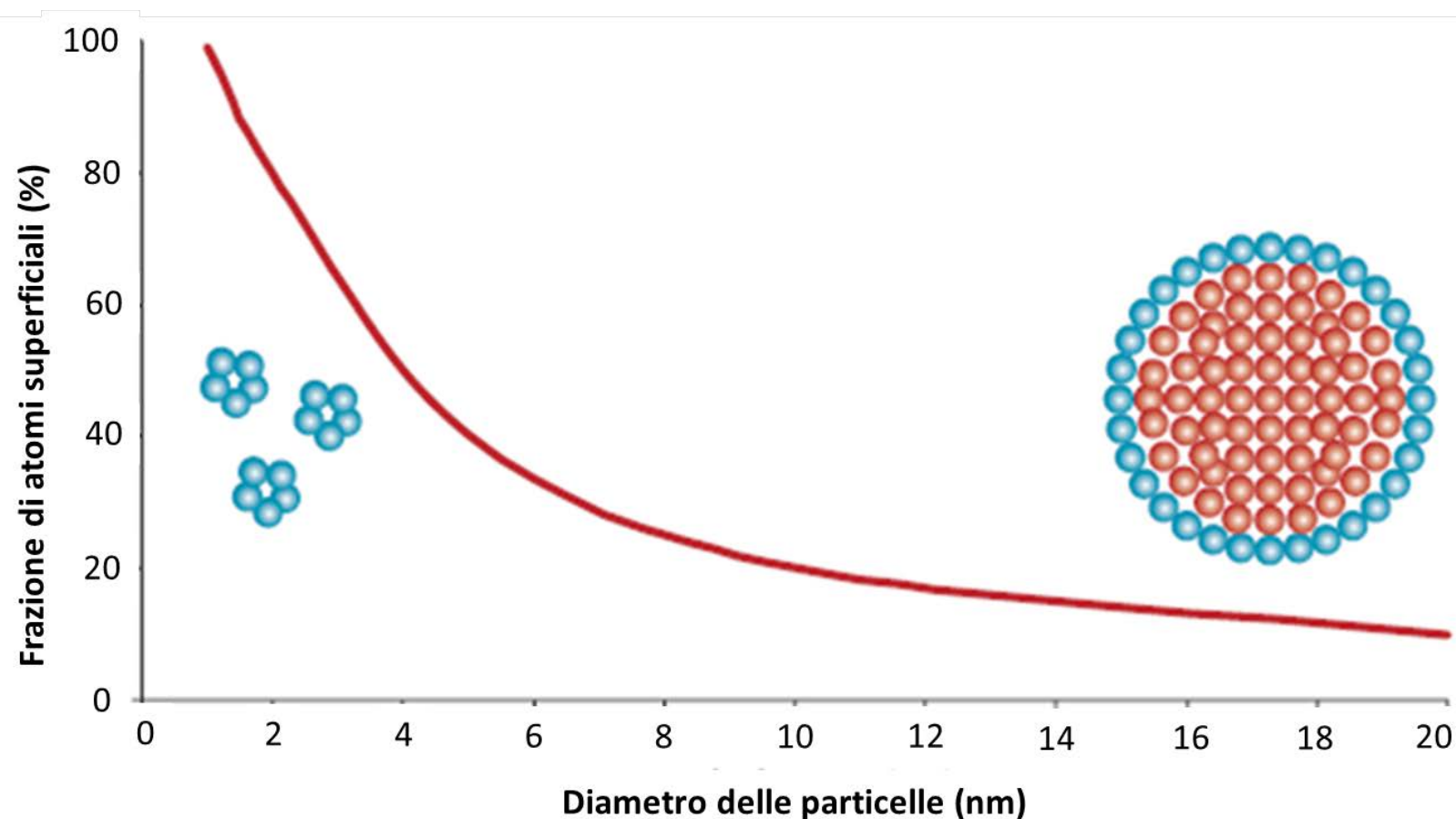
Questo comportamento spiega in modo eloquente cosa intendeva Ralph Merkle quando paragonava la chimica classica al tentativo di costruire qualcosa con i mattoncini del Lego indossando dei guanti da boxe. L'unica possibilità di posizionare un certo atomo in un determinato posto è quello di processarne un gran numero, in modo che ci sia una certa pro-

babilità statistica di ottenere l'obiettivo voluto, con il risultato di dover poi separare per filtrazione, o altro metodo, i prodotti indesiderati formati nel frattempo. La nanotecnologia è teoricamente in grado, con la sua selettività, di evitare questi sprechi di materiale, tempo e denaro.

Molta ricerca di base si concentra attualmente sull'utilizzo dei nanotubi di carbonio (CNT). Sono aggregazioni di atomi di carbonio, simili a quelle del diamante o della grafite², con dimensioni comprese tra 0,7 e 10 nm. Si formano in partico-

In una particella del diametro di 20 nm soltanto il 10% degli atomi totali (rappresentato in blu) si trova sulla superficie e partecipa alla catalisi, mentre il resto (rappresentato in rosso) resta inerte. Quanto più il diametro diminuisce tanto maggiore è la percentuale di atomi superficiali rispetto a quelli inerti.

TAV. 9.3 - Reattività della superficie delle particelle in funzione del diametro



Fonte: Luther W., Application of nanotechnologies to energy sector

lari condizioni quando gli atomi di carbonio si dispongono in strutture ordinate che, dalla forma sferica iniziale, tendono successivamente ad arrotolarsi su se stessi fino a prendere la forma di un lungo cilindro cavo. Hanno una resistenza alla trazione cento volte superiore a quella di una barra di acciaio, a parità di dimensioni pesano un sesto di essa, possono essere piegati ad angolo retto senza rompersi o danneggiarsi.

La reale sfida della nanotecnologia è arrivare a sfruttare queste proprietà e, usandole in modo selettivo, migliorare prodotti esistenti o crearne di completamente nuovi. I procedimenti per generare queste particelle sono piuttosto complessi e per ora molto costosi. Ad esempio i CNT sono preparati partendo dalla vaporizzazione della grafite che viene successivamente fatta depositare su superfici appositamente preparate. Una larga percentuale dei nanotubi così ottenuta rivela sovente imperfezioni che li rendono inutilizzabili. È quindi necessario un processo di depurazione e filtrazione durante il quale si può danneggiare la morfologia di quelli che pure erano stati selezionati come adatti. Si giunge così a livelli di scarti di produzione anche del 90%³.

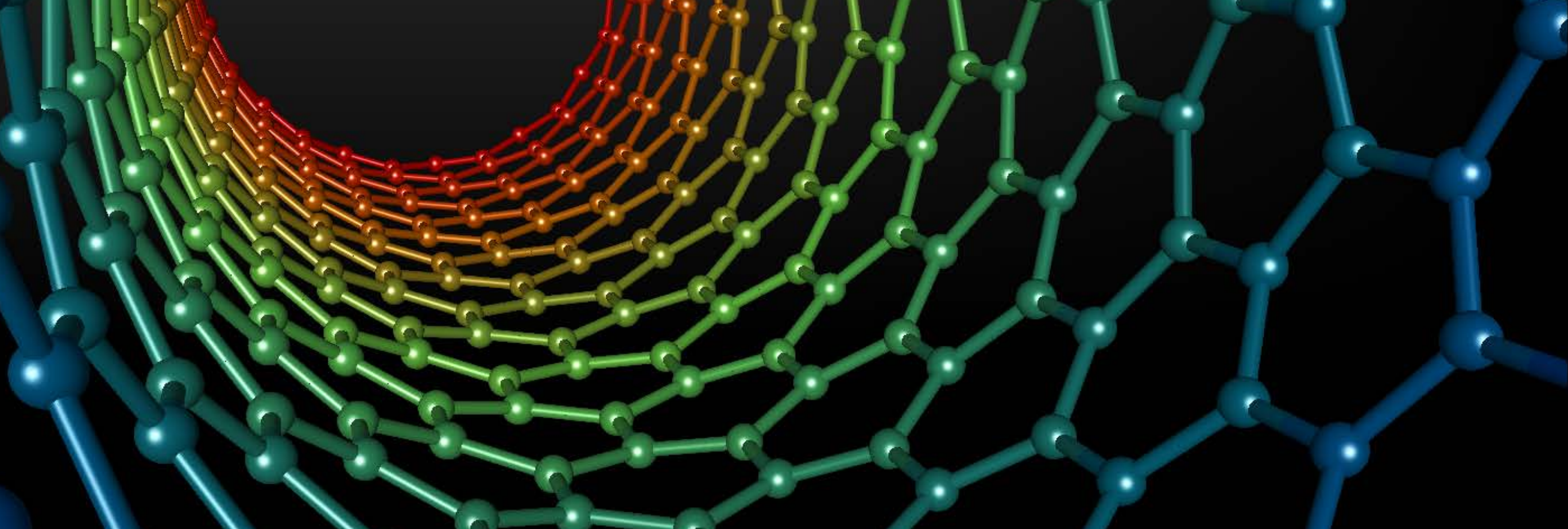
Da questa breve e semplificata descrizione si intuisce facilmente il tipo di applicazioni nel quale il loro utilizzo può diventare decisamente importante: membrane per la separazione di sostanze, catalizzatori ad altissima selettività, protezione di superfici e materiali dall'usura, sensibilissimi strumenti di misurazione, sensori di varia natura. Già oggi il mercato

offre qualche prodotto definibile come di prima generazione: palline da tennis che non si logorano, bende infuse di nano particelle di argento che accelerano la guarigione dei tagli cutanei, calzini e scarpe di durata illimitata. Altre applicazioni si trovano nella diagnostica medica con la somministrazione mirata di farmaci a cellule specifiche, in siderurgia, nell'industria tessile ed aerospaziale. Costi? Proibitivi, almeno per ora. Ovviamente la ricerca non sta trascurando il campo energetico ed in particolare le FER. Per farsene un'idea è sufficiente scorrere le pagine che seguono. Ci si può fare un'idea su alcune prospettive, o sogni, di medio o lungo termine.

9.4 Nanotecnologie e FER

L'efficienza di conversione di una cella fotovoltaica tradizionale è frutto di un compromesso tra lo spessore della cella necessario per assorbire abbastanza luce (al minimo un micrometro) e la raccolta dei portatori di carica elettrica, che diventa tanto più efficace quanto più sottile è la cella. L'attenzione dei ricercatori si sta spostando dal silicio a varie combinazioni di rame, indio, gallio, selenio, zolfo, con l'aiuto di strati di vari ossidi (nanoprodotti) che riducono le perdite di energia dovuta alla riflessione e favoriscono la trasmissione della luce all'interno dello strato.

Si lavora anche alla sostituzione dei riflettori di fondo delle celle (oggi a base di argento) con nanostrutture capaci di mi-



gliorare la resa ottica (*thin layer solar cells*). Per accelerare la separazione delle cariche si stanno sperimentando soluzioni che accoppiano ad ossidi di titanio nanoparticelle di colorante a base di rutenio (*dye solar cells*), una variante particolarmente interessante che consentirebbe una facile e gradevole integrazione della soluzione nelle vetrate degli edifici o sulle loro facciate. Interessanti sono poi i tentativi di utilizzare semiconduttori di tipo organico. Si tratta di celle tra i 200 e 300 nm costituite da polimeri e CNT, che svolgono le

due attività della cella: donazione e ricezione degli elettroni.

Nell'industria spaziale si usano costosi dispositivi costituiti da nanostrati di celle disposte una sull'altra (*stack cells*) con diverse bande di assorbimento della luce per aumentare al massimo possibile la resa di conversione. Il costo di questi dispositivi è per ora proibitivo per i normali utilizzi terrestri, ma si è arrivati ad ottenere rese di conversione del 60%. Se pensiamo a dove eravamo ai tempi dei primi voli nello spazio, e dove siamo oggi nella tecnologia fo-



tovoltaica, non è irragionevole pensare che in futuro questi livelli non saranno irraggiungibili. Per il solare termico, un nanostrato di silice con funzioni antiriflesso può avere effetti di miglioramento notevoli per la cattura dell'energia incidente. La geotermia, come del resto la produzione di idrocarburi in generale, facendo uso di testate di perforazione rivestite di nanomateriali che ne esaltano la resistenza, può giovare di una notevole riduzione nei costi di produzione e raggiungere profondità di esplorazione assai superiori a quelle attuali.

In campo eolico ci si aspetta un sostanziale miglioramento con l'applicazione di nanotubi di carbonio nella fabbricazione delle pale rotanti per renderle più leggere ed allo stesso tempo più resistenti. Poiché il rapporto di conversione in energia elettrica è proporzionale al quadrato del diametro dell'area spazzata dalle pale, si tende ad aumentare sempre più le loro dimensioni: ad Hunterston, in Scozia, si stanno attualmente sperimentando, ad esempio, rotori con un diametro di 150 metri. Si tratta di dimensioni che rendono le installazioni sempre più vulnerabili alle sollecitazioni meccaniche ed agli eventi atmosferici. Una opportuna dosatura di CNT, che tra l'altro sono dotati di un'eccellente conducibilità elettrica, può inoltre assicurare una assai migliore protezione ai danni causati agli aerogeneratori dai fulmini, responsabili di più del 10% dei guasti nei quali incorrono.

Sono ormai da considerarsi abbastanza di routine le protezioni di ingranaggi e cuscinetti con vernici a base di nanomateriali, come gli ossidi di Cerio, che aumentano la resistenza all'abrasione ed assicurano il moto relativo delle varie parti senza necessità di lubrificazione.

Le stesse caratteristiche di leggerezza e resistenza alle sollecitazioni meccaniche sono ovviamente applicabili a molti altri settori, come ad esempio ai dispositivi sulla costa o in mare per la cattura delle energie marine e la loro conversione in energia elettrica in condizioni climatiche a volte estreme.

In questo settore delle FER si nutre inoltre un certo ottimismo per il recente utilizzo in laboratorio di membrane di grafene (una specie di CNT) per la separazione di acqua dolce da acqua salata, sia per la potenziale conversione in energia elettrica sia per la dissalazione dell'acqua di mare.

9.5 Accumuli e reti distributive

L'intermittenza e l'aleatorietà della disponibilità delle FER dà origine a due diversi problemi: l'immagazzinamento dell'energia prodotta, quando non serve, e l'integrazione della produzione elettrica nella rete di distribuzione. Il problema dello stoccaggio non ha, per ora almeno, una soluzione accettabile per qualsiasi tipo di energia diverso da quella chimica. Non lo sono ancora le batterie tradizionali, per ragioni di peso, ingombro e costo e non lo è, almeno per un po', il sogno di farlo con l'idrogeno. Il secondo problema è altrettanto serio.

La distribuzione elettrica tradizionale ha un suo ciclo. Esiste una necessità minima, solitamente di notte (quella che i tecnici chiamano *baseload*, o carico di base) che il gestore della rete di trasmissione tradizionale soddisfa con centrali che assicurano in continuo la produzione o con l'importazione di energia da altri paesi. Fanno parte di questo "nocciolo duro" le centrali nucleari (per chi le ha o, come noi, importa la loro produzione) e quelle a carbone, che non si possono spegnere e riaccendere in tempi brevi. Dopo la notte le necessità elettriche crescono e si arriva ad un picco di domanda poco prima della pausa per il pranzo. Per soddisfarlo, si mette in funzione altra capacità di generazione facilmente avviabile e molto flessibile: sono le centrali a gas o idroelettriche, la cui potenza può passare da zero al cento per cento in poco tempo.

È evidente che in questo meccanismo, abbastanza delicato, se la produzione da impianti rinnovabili viene immessa in rete o viene a mancare d'improvviso (perché si è alzato un forte vento e non ci sono nuvole in cielo o, al contrario, il tempo è girato al peggio e la giornata è grigia e senza vento), la gestione del sistema diventa problematica, soprattutto se da queste fonti ci si aspetta un contributo di un certo peso. La loro bassa densità energetica suggerisce inoltre, per ragioni di spazio, di limitarne la potenza e diffonderne la presenza sul territorio. La rete distributiva deve quindi trasformarsi da uno stato di generazione centralizzata ad uno di generazione distribuita, una rete che va creata ex novo.

Accumulare energia elettrica

Per l'immagazzinamento dell'energia elettrica la tecnologia delle batterie a ioni di litio è attualmente la più avanzata, non lontano dal fornire soluzioni a livelli di costo ragionevoli. Il lavoro nanologico in atto per un loro miglioramento sostanziale si concentra sulla fabbricazione degli elettrodi per ottenere densità di carica più elevata, la sostituzione degli elettroliti organici con polimeri e la separazione dei poli con film ceramici nanostrutturati per garantire una miglior sicurezza di funzionamento.

Molto promettenti sono anche le ricerche sui nuovi condensatori, dispositivi costituiti da due elettrodi separati da un isolatore che immagazzinano cariche di segno opposto. Rispetto alle batterie si caricano e scaricano assai più velocemente e potranno in futuro diventare ad esse complementari nei veicoli elettrici per fornire gli spunti di potenza che le batterie non possono fornire. In queste applicazioni l'uso dei CNT o aerogel (sostanze nanoporose solide) sono ideali: grande rapporto superficie/volume e possibilità di variare diametro dei pori e loro distribuzione come meglio conviene.

Produrre ed immagazzinare idrogeno

Produrre idrogeno per usarlo come combustibile richiede più energia di quanto l'idrogeno non sia in grado di restituire (dal doppio al triplo). Prima di usarlo per immagazzinare energia occorre quindi ridurre il più possibile questo rapporto. Una strada è migliorare l'efficienza dei processi elettrolitici

con l'uso di catalizzatori nanostrutturati di metalli preziosi, come il platino; un'altra è decomporre l'acqua con un procedimento semplicemente fotoelettrico. In questo caso, l'assorbimento della luce da parte di elettrodi di materiali semiconduttori opportunamente strutturati (nanoossidi di titanio, manganese, stagno, ferro) sembra dare in laboratorio eccellenti risultati.

Una volta prodotto, tuttavia, l'immagazzinamento dell'idrogeno è reso difficile dalla sua notevole reattività e dalla sua bassa densità energetica per unità di massa, che costringe ad elevare la pressione dei recipienti di accumulo ben oltre i limiti di resistenza dei materiali che usiamo normalmente.

Sembrano interessanti, a questo proposito, i risultati di laboratorio ottenuti con una nanostruttura di magnesio che cattura per via chimica l'idrogeno e lo rilascia successivamente con un modesto aumento della temperatura del sistema⁴.

In entrambi i casi siamo lontani da qualsiasi applicazione anche soltanto su scala di impianti pilota.

Reti di trasmissione

La trasmissione di energia elettrica con cavi di rame comporta perdite che possono arrivare anche al 5/7%. Un particolare tipo di CNT (nanotubi detti "a poltrona") mostra una resistenza elettrica straordinariamente più bassa del rame (circa un decimo) ed una notevole resistenza meccanica alla trazione. Ci stanno lavorando in molti e potrebbe davvero rappresentare una rivoluzione nella trasmissione elettrica. Un altro

contributo potrebbe arrivare dal formidabile potere isolante tipico di polietilene o resina epossidica addizionata di qualche percentuale di ossido di alluminio fabbricato per via nonometrica. Quanto alle reti intelligenti (le cosiddette *smart grids*) il campo di applicazione delle nanotecnologie non è ancora ben chiaro, oltre alle possibilità offerte da sensori capaci di monitorare e controllare rapidi cambiamenti e fluttuazioni di disponibilità e domanda. Più a lungo termine si sogna di andare oltre ed arrivare ad una trasmissione di energia elettrica *wireless*, usando microonde o risonanza magnetica. Diventerebbe così possibile generare elettricità solare nello spazio esterno al pianeta con rendimenti altissimi e trasferirla sulla Terra senza perdite di trasmissione.

9.6 Nanotecnologie e mondo dell'energia

Le applicazioni di nanotecnologie non si limitano soltanto ai settori attinenti alle FER, ma spaziano in tutti i settori energetici. Particolarmente interessanti sono quelle relative al miglioramento dell'efficienza energetica.

Sono stati progettati degli aerogel a base di aria e silice, estremamente leggeri ($3\text{Kg}/\text{m}^3$), stabili, non infiammabili e non tossici. Il loro potere isolante è da otto a dieci volte quello della lana di vetro. Una fiammella a gas non riesce ad appassire un fiore appoggiato su un suo supporto. Un altro prodotto di grande interesse è un tipo di schiuma a base di polimeri con dimensione dei pori così ridotte da avvicinarsi al

cammino libero di una molecola di gas, cioè la distanza media che essa percorre prima di urtare un'altra molecola. In questo caso l'isolamento ottenuto è simile a quello fornito da una intercapedine tra due pareti nella quale sia stato praticato il vuoto e l'idea è quella di ottenerne un prodotto con il quale verniciare le pareti esterne di un edificio.

Le finestre smart sono un possibile e formidabile strumento di miglioramento del bilancio energetico di un appartamento o di un intero palazzo. Al comando di un semplice interruttore possono cambiare il colore del vetro e farlo passare da trasparente ad opaco o viceversa. È sufficiente inserire nel vetro uno strato di nanoparticelle che funge da elettrodo e collegarle ad un elettrodo esterno.

Notevoli progressi si stanno facendo per migliorare la tecnologia dei LED usati per l'illuminazione. I diodi potrebbero essere fatti con materiali organici nanofabbricati e vari strati di nanoparticelle fluorescenti inserite nei semiconduttori ridurrebbero drasticamente i consumi energetici. Notevole il potenziale di miglioramento per le celle a combustibile. In questo caso nanoparticelle potrebbero essere usate come catalizzatori al posto del platino e come membrane all'interno della cella per assicurare una notevole mobilità agli ioni idrogeno. Sarebbe così possibile estendere nelle celle l'uso non solo di gas naturale, ma di metanolo o biogas, con risparmi molto elevati. Non mancano esempi in altri settori. Additivi a base di ossido di Cerio di dimensioni nanometriche possono migliorare la resa dei motori a combustione interna; ceramiche antiadesive



possono eliminare incrostazioni e depositi su scambiatori di calore operanti in condizioni critiche; palette di turbine trattate con nanoindurenti sarebbero in grado di operare oltre i 1.600 °C, aumentando le rese dei cicli termici a gas; i motori elettrici potrebbero diventare assai più leggeri e meno costosi e così via. Questa veloce panoramica sul potenziale delle nanotecnologie ha consentito di evidenziare come il loro contributo si estenda dalle FER a tutti gli stadi della filiera energetica: dalla produzione alla trasformazione, distribuzione, accumulo ed uso finale. Come spesso accade, nel loro futuro non ci sono soltanto rose, ma anche molte spine, Una in particolare riguarda i rischi, per ora non provati, né tanto meno quantificati, ai quali sono potenzialmente sottoposti i ricercatori che sperimentano su scale così ridotte e gli utilizzatori finali dei prodotti fabbricati con questi materiali. È un problema da affrontare con attenzione, ma sen-

za pregiudizi ideologici, evitando l'adozione di quel principio di precauzione, tanto caro a certi ambienti sostanzialmente conservatori (contrariamente alle loro rivendicazioni) che avrebbe l'effetto di bloccare, ancora una volta, innovazione e sviluppo nel nostro Paese.

NOTE

1 Ci sono priorità più impegnative. Oltre a quelle già citate: le migrazioni sempre più consistenti, la competitività delle economie europee, la coesione e condivisione di politiche comuni; la cooperazione internazionale; un adeguamento invece che una lotta cieca alle emissioni ed innumerevoli altre.

2 In chimica le si definiscono come forme allotropiche.

3 I processi di preparazione dei nanomateriali sono essenzialmente due: partire da componenti molecolari ed assemblarli tramite reazione chimiche (*bottom up*) o partire da materiali macroscopici e miniaturizzarli progressivamente con delicati interventi (*top down*).

4 Il sistema è stato sviluppato dagli scienziati del *Lawrence Berkeley National Laboratory*. La matrice plastica protegge il magnesio dall'ossidazione ed è al tempo stesso idrofobo. L'idrogeno che arriva sul dispositivo è catturato dal nanomagnesio con la formazione di un composto stabile di MgH_2 e resta così assorbito fino a quando non si aumenta la temperatura del sistema. A questo punto l'idrogeno si libera dal magnesio e torna disponibile per gli utilizzi desiderati.



QUALCHE RIFLESSIONE

10.1 A lezione dalla storia

Seguire l'evoluzione nel tempo delle FER è un po' come ripercorrere lo sviluppo della civiltà umana. Le “nuove” fonti hanno, infatti, aiutato l'umanità nel suo cammino evolutivo, dandogli energia per spostarsi, combustibile per riscaldarsi, capanne e poi case nelle quali abitare. L'avvento del carbone prima e del petrolio poi, le ha temporaneamente emarginate, per motivi di convenienza economica e praticità d'uso. Tuttavia, non si è mai abbandonato, nel tempo, il tentativo di riutilizzarle non appena si fosse presentata l'opportunità.

L'idea di aggrapparsi a queste fonti amiche, è regolarmente ricomparsa in quasi tutte le situazioni di emergenza energetica. Dalla disperata necessità italiana di energia per lo sviluppo sono tornate alla ribalta e mai più scomparse, l'energia idrica e quella geotermica. Si tornò a parlare delle altre FER quando la Società delle Nazioni imponendoci le sue sanzioni, ci costrinse ad un periodo di autarchia. Il mondo intero poi le riesumò in occasione delle due crisi energetiche degli anni Settanta del secolo scorso. Dal canto loro scienziati e ricercatori avevano continuato ad occuparsene nei loro laboratori senza mai abbandonare la speranza di poterle nuovamente usare in modo più efficiente ed economico. Basta ricordare la *World Power Conference* di Londra del 1924 nella quale si discussero le energie alternative alle fonti fossili ed idriche o, successivamente la Conferenza ONU di Roma del 1961, nella quale scienziati di tutto il mondo affrontarono gli stessi temi scambiandosi idee ed esperienze maturate fino a quel momento.

Tuttavia, l'entusiasmo per le FER si esaurì e gli studiosi tornarono ai loro laboratori non appena il petrolio tornò ad essere disponibile in quantità sufficiente ai bisogni

ed a prezzi economicamente sostenibili. Nessuno dei paesi consumatori aveva, infatti, interesse a sostituire fonti energetiche disponibili facilmente ed a prezzo ragionevole con costose alternative. D'altro canto, nessun paese produttore desiderava, con una avventurosa politica di prezzi, costringere a sostituire con altre fonti l'unica preziosa risorsa che aveva da vendere.

Per riportare alla ribalta l'uso delle FER ci voleva quindi una scoperta tecnologica rivoluzionaria o una nuova situazione di emergenza.

L'occasione arrivò quando, dalle previsioni di una nuova era glaciale (della quale nessuno sembrava preoccuparsi) si passò a quelle di un rapido riscaldamento globale del pianeta e lo si attribuì alle emissioni di CO₂ di origine antropica. Inutile sottolineare che ancor oggi non si sa se l'aumento di temperatura della Terra è causato dall'aumento dell'anidride carbonica in atmosfera oppure è vero il contrario e qualche dubbio esiste anche sulla responsabilità esclusiva dell'uomo per il fenomeno.

Partendo da questi presupposti, la soluzione del problema era ovviamente costituita dall'abbandono delle fonti fossili e da un ritorno alle FER da sviluppare e integrare nel mercato, il più rapidamente possibile. Questa impostazione, che risale a un quarto di secolo fa, è stata giustificata con la necessità di una maggior sicurezza negli approvvigionamenti rispetto alle fonti fossili (considerate in via di esaurimento), l'assenza di condizionamento da un prezzo internazionale, maggior occu-

pazione e sviluppo come risultato di un "doppio dividendo": avvio a soluzione dei problemi ambientali ed acquisizione di un vantaggio tecnologico e quindi competitivo.

Non è andata così. Le emissioni globali sono cresciute, le riserve fossili sono aumentate, i loro prezzi si sono stabilizzati giusto sotto quello delle FER, ma largamente sopra i loro costi di produzione. La rivoluzione tecnologica non c'è stata nelle FER ma nelle energie fossili con la produzione di *shale gas* e *tight oil* e del doppio dividendo non si è vista traccia. In compenso poco o nulla è stato fatto per affrontare gli altri problemi del pianeta altrettanto e forse più seri.

La fretta (quasi la furia) di promuovere le FER ha fatto trascurare a lungo l'importanza dell'efficienza energetica per raggiungere gli stessi obiettivi, ma ad assai minor costo e, in Europa, si è gettato il cuore oltre l'ostacolo con la stesura della *Roadmap*.

Tutte queste considerazioni non significano affatto che dobbiamo smettere di perseguire la sostituzione delle fonti fossili con quelle rinnovabili, al contrario. Si è affermato che la sfida più impegnativa di questo secolo è come far fronte alla crescente domanda di energia dovuta all'aumento della popolazione mondiale ed al progressivo affrancarsi dei paesi in via di sviluppo dalle disastrose condizioni nelle quali si trovano a vivere oggi. In realtà, mentre tutte le altre risorse naturali (minerali, acqua, ossigeno) non aumenteranno oltre quello di cui già disponiamo sul pianeta, i rifornimenti di energia dal suo esterno non ci mancheranno, almeno fino a quando



non si spegnerà il sole. Finora siamo stati capaci di usare solo una piccola parte della potenza che ci arriva, con costi molto alti e rendimenti di trasformazione esigui.

Non c'è dubbio tuttavia che questa è la fonte energetica del futuro e che le tecnologie oggi in fase di sperimentazione, prima o poi, daranno un contributo decisivo al suo sviluppo ed a quello delle altre FER che dell'energia solare sfruttano le manifestazioni secondarie: vento, maree, onde, correnti, biomasse.

Fissare precise scadenze per rigide riduzioni delle emissioni non ha stimolato lo sviluppo di nuove tecnologie efficienti ma ha piuttosto esteso quelle conosciute andando ad intaccare la futura competitività del comparto. Servirebbe, al contrario, finanziare generosamente la ricerca tecnologica per cercare almeno di trovare quella che gli americani chiamano la *silver bullet* evitando, con esborsi poco saggi, di pregiudicare sopravvivenza e sviluppo del nostro sistema economico. Le risorse disponibili sono, infatti, abbastanza limitate e non possiamo ignorare che esistono nel mondo altre priorità oltre ad abbattere le emissioni di CO₂.

APPENDICE

Questa appendice è dedicata a chi è abbastanza digiuno dei principi fisici sui quali si basa lo sfruttamento delle energie rinnovabili. Le pagine che seguono non sono un documento di riferimento tecnico, ma soltanto una guida, il più possibile semplice e comprensibile, alle nozioni fondamentali necessarie per comprenderne il funzionamento e farsi un'idea delle difficoltà e degli ostacoli che ciascuna fonte sta incontrando per affermarsi.



La fonte eolica

Fra tutti i tipi di fonti rinnovabili il vento è probabilmente quello che oggi offre le migliori prospettive per la generazione di energia elettrica sia per la tecnologia largamente consolidata, sia per i costi di produzione ormai competitivi, in alcune zone del mondo, con quelli delle fonti fossili tradizionali. Conoscere come tira il vento, con quanta forza ed in quale direzione prevalente non è impresa agevole. Eppure soltanto da indagini complesse si possono ricavare i parametri indispensabili per la progettazione accurata di un impianto.

La distribuzione statistica di velocità del vento (la cosiddetta distribuzione di Weibull) mostra in generale che velocità notevoli sono abbastanza rare. È un inconveniente serio, dato che l'energia cinetica del vento è proporzionale al cubo della velocità alla quale soffia, oltre ovviamente alla densità dell'aria. Minor energia cinetica significa minor potenziale di generazione di energia meccanica e di conseguenza elettrica. In uno stesso punto la velocità del vento aumenta con l'altezza dal suolo ed il fenomeno è tanto più evidente quanto più la superficie del terreno è accidentata.

Si tratta quindi di scegliere non soltanto la zona adatta, ma anche l'appropriata altezza dal suolo alla quale posizionare il meccanismo che cattura l'energia cinetica del vento per trasformarla in energia meccanica.

La configurazione più comune di questo meccanismo è oggi costituita da un rotore con tre pale, ad asse orizzontale, disposto controvento e montato su una torre. Queste pale en-

trano in funzione tutte le volte che la velocità del vento è superiore ad un minimo (per ragioni di efficienza) e sono fermate quando il vento supera una certa velocità massima (onde evitare danneggiamenti meccanici). Appositi meccanismi controllano e variano l'inclinazione delle pale per esporle sempre al vento nelle condizioni più favorevoli alla cattura dell'energia cinetica. La velocità minima è intorno ai 3 metri al secondo, quella massima intorno ai 25 metri al secondo. Quella di funzionamento normale si aggira fra i 5,5 ed i 6 metri al secondo (circa 20 Km/h).

Le dimensioni che le torri eoliche hanno raggiunto sono ormai imponenti. Esistono rotor di 150 metri di diametro. Il vento che è transitato attraverso un rotore lascia dietro di sé una scia di grande turbolenza che potrebbe avere effetti negativi su altre unità poste nelle vicinanze. Per questo motivo le varie torri sono posizionate ad una distanza tra di loro fra 5 e 9 diametri di rotore nella direzione prevalente del vento e fra 3 e 5 rotor nella direzione perpendicolare.

L'energia elettrica è generata a 600 volt ed è quindi necessario costruire una stazione di trasformazione per elevarla al livello richiesto per il collegamento alla rete di distribuzione nazionale. In Italia si stima che esistano le condizioni utili a generare energia elettrica per circa 2.000 ore l'anno, alle quali vanno sottratte le ore di indisponibilità delle turbine per motivi non dipendenti dalle condizioni atmosferiche, quali guasti o manutenzioni programmate (secondo il "Rapporto statistico 2012. Impianti a fonti rinnovabili, settore elettrico" del



GSE, le ore di funzionamento degli impianti eolici in Italia nel 2012 sono state 1.855).

Gli inconvenienti che vengono citati più frequentemente contro l'utilizzo della fonte eolica sono quelli relativi alla rumorosità, al deturpamento del paesaggio ed alla negativa influenza di un parco eolico sulle risorse faunistiche (aviarie e non) dell'area nella quale è stato costruito il parco, anche se, nella maggior parte dei casi,

si sono sfruttati crinali montuosi lontani da ogni centro abitato e poco frequentati da ogni sorta di animali. Un modo per superare questi problemi è costituito dalla costruzione di parchi eolici in mezzo al mare. Il maggior costo di trasmissione dell'energia alla rete nazionale è in questo caso bilanciato dalla possibilità di usare grandi rotori e dalla minore variabilità del vento con l'altezza dal livello dell'acqua.

La fonte geotermica

La Terra è costituita da una parte superficiale di spessore variabile fra i 6 ed i 60 chilometri (la “crosta terrestre”), da un mantello spesso circa 3.000 chilometri e da un nucleo centrale incandescente, fatto di ferro e nickel. Mediamente, la temperatura del globo terrestre aumenta nel sottosuolo di circa 2 o 3 °C ogni 100 metri di profondità. Si calcola che il nucleo del pianeta sia ad una temperatura di circa 5.000 gradi centigradi e che il flusso di calore che raggiunge la superficie della Terra sia di circa 60 kW per chilometro quadrato. L'energia geotermica è una forma di energia che trae origine proprio dal calore che si sviluppa dalle zone più profonde del pianeta. Il calore sotto la superficie terrestre non è tuttavia distribuito in modo uniforme, ma tende ad addensarsi lungo alcune direttrici, dove si concentrano attività vulcaniche in grado di portare materiali ad alta temperatura vicino all'affioramento alla superficie. Queste aree si comportano come dei fornelli di riscaldamento per l'infiltrazione di acque meteoriche attraverso le formazioni rocciose sovrastanti.

Secondo le condizioni di temperatura e di pressione, queste infiltrazioni possono presentarsi in forma liquida o di vapore e risalire alla superficie sia naturalmente, sia artificialmente. Secondo le condizioni si presentano diverse opportunità:

- in presenza di vapore a temperatura superiore ai 200 gradi centigradi e pressione sui dieci bar si può pensare a generare dell'energia elettrica nel caso la portata superi le 100 tonnellate/ora;

- la stessa cosa si può fare in presenza di acqua ad alta temperatura e pressione;
- nel caso di liquido a bassa temperatura (100 gradi o sotto) l'uso non può che essere termico, in molti casi addirittura termale.

I tipi di impianto che si possono costruire sono molteplici. Si può prendere il fluido dal sottosuolo e separare la parte liquida dal vapore, reiniettando il liquido nel bacino geotermico e facendo espandere il vapore in una turbina per la produzione di energia elettrica. Il vapore condensato alla fine del ciclo può essere usato per riscaldamento. In questo caso il rendimento può arrivare fino al 20%. Si può anche usare un fluido geotermico a bassa temperatura per trasferirne il contenuto energetico ad un fluido diverso, dal quale ottenere energia. In Nuova Zelanda, Stati Uniti e Filippine esistono impianti che combinano le due cose.

Altrettanto numerose ed in notevole espansione sono le applicazioni per il semplice recupero del calore. In questo caso si utilizzano delle semplici pompe di calore che servono sia per il riscaldamento invernale che per il raffrescamento estivo delle abitazioni.





Le fonti da biomassa

La normativa nazionale, recependo quella europea, definisce la biomassa come: “la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, compresa la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde urbano nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani”. Si tratta di materiali di cui si può fare un uso energetico diverso, secondo il grado di umidità ed il rapporto fra il contenuto di carbonio e di azoto. Un basso tenore di umidità suggerisce in generale di avviare la biomassa alla combustione, mentre la fermentazione, sia aerobica che anaerobica, risulta una miglior scelta in caso di alta umidità e basso rapporto carbonio/azoto.

Le tecnologie disponibili per ottenere energia dalle biomasse vanno quindi dalla combustione pura e semplice alla combustione in combinazione con un'altra fonte energetica (cocombustione o coincenerimento), alla fermentazione alcolica, all'ottenimento di combustibili liquidi, alla gassificazione ed alla digestione anaerobica. La combustione utilizza il legno preparato in varie forme: sminuzzato (o cippato come è chiamato con un brutto anglicismo, dato che in inglese *to chip* significa “sminuzzare”) o agglome-



rato, qualora si parta dalla segatura. Nelle forme di utilizzo tradizionale (caminetti, cucine economiche di vecchio tipo), i rendimenti erano ridicolmente bassi (dal 5 al 15%). Le odierne soluzioni impiantistiche possono invece raggiungere rendimenti apprezzabili, soprattutto se le dimensioni dell'impianto sono di una certa importanza. Migliori rendimenti complessivi si ottengono con la cocombustione. In questo caso la biomassa è miscelata in quantità non rilevanti (fino al 10%) con un altro combustibile (di solito il carbone).

La gassificazione porta la biomassa ad una temperatura piuttosto alta (sugli 800 °C) in presenza di aria o di ossigeno. Si ottiene un gas composto sostanzialmente da ossido di carbonio, idrogeno, vapor d'acqua, ossidi di azoto ed altre impurità. Il gas, chiamato *syngas* o gas sintetico, depurato dalle sostanze indesiderate, può essere bruciato per produrre vapore da avviare alla generazione di elettricità.

Canna da zucchero, barbabietola, cereali e mais contengono zuccheri a volte sotto forma di amidi che possono essere trasformati in etanolo, un alcool utilizzabile, dopo opportuni trattamenti, come combustibile nei motori a combustione interna. Il procedimento per ottenere l'etanolo da ciascuna delle biomasse citate è sostanzialmente lo stesso, anche se differiscono sia i tipi di lieviti o batteri utilizzati, sia la temperatura alla quale si fa avvenire il processo. Secondo il tipo di biomassa utilizzato si possono ottenere oltre all'etanolo anche altri prodotti commercialmente appetibili: da prodotti adatti alla combustione, come le fibre solide della canna da zucchero

(la cosiddetta bagassa) a sottoprodotti per l'alimentazione animale od oli per consumo alimentare.

La digestione anaerobica è un modo elegante per definire un processo di putrefazione controllata per il trattamento di fanghi di depurazione o liquami di allevamenti animali. In assenza di ossigeno ed a temperatura fra i 35 ed i 60 °C nel giro di quattro o sei settimane si ottiene un gas molto ricco di metano. Questo biogas è lo stesso che si produce naturalmente nelle discariche di rifiuti urbani e che, opportunamente depurato, è usato come combustibile per la preparazione del vapore necessario a produrre elettricità.

Dal trattamento di particolari oli vegetali si ottiene il biodiesel con un processo chimico detto di esterificazione (una reazione fra un acido organico ed un alcool). Gli oli più usati sono quelli di colza e di girasole ottenuti dalla spremitura dei semi. Da un ettaro di terreno coltivato si può ottenere una tonnellata di olio che trattato e raffinato con alcool metilico in presenza di un catalizzatore dà un prodotto simile al gasolio diesel. I problemi connessi a tutti gli utilizzi delle biomasse sono dovuti alla loro bassa densità energetica, assai inferiore a quella dei combustibili fossili, caratteristica che rende di cruciale importanza la distanza fra il luogo di produzione della biomassa e quello dove viene utilizzata. Il modo più efficiente per superare questa difficoltà è l'uso energetico (termico o elettrico) su base locale completamente compatibile con un modello di generazione elettrica distribuita e di uso termico che rispetti le esigenze della filiera corta.

Energie dal mare

In linea di massima si può pensare allo sfruttamento delle maree come ad un'estensione delle applicazioni in campo idroelettrico, con la differenza che in questo caso il dislivello da sfruttare non è dovuto ad una situazione orografica, ma è creato dall'attrazione che la luna esercita sulla superficie terrestre. Al contrario di quanto può avvenire per la portata dei fiumi o nell'accumulo idrico nei grandi bacini, il fenomeno è largamente prevedibile e privo di sorprese.

Sfortunatamente non accade di frequente di poter disporre di variazioni di livello tali da consentire uno sfruttamento a livello industriale, come può avvenire ad esempio nel nord della Francia o sul Rio delle Amazzoni. In un caso il dislivello fra la situazione di bassa ed alta marea si aggira sui 10 o 15 metri, nell'altro caso, l'onda di marea è assai inferiore, ma la portata è tale che l'acqua risale la corrente del fiume addirittura per un centinaio di chilometri. Da un punto di vista tecnologico lo sfruttamento a fini energetici delle maree richiede semplicemente la costruzione di uno sbarramento nel quale vengono installate delle turbine idrauliche appropriate, in grado di lavorare in entrambe le direzioni del flusso. Si tratta però di opere imponenti per recuperi energetici non particolarmente elevati, la cui economicità va quindi valutata con attenzione caso per caso. Lo stesso concetto può essere applicato allo sfruttamento delle correnti marine di una certa intensità o al moto ondoso, dove si cattura l'energia cinetica della fonte e la si trasforma in energia elettrica.





La fonte idroelettrica

È la forma di energia rinnovabile più sviluppata in tutto il mondo. Proviene dalla conversione dell'energia cinetica di una massa di acqua che, cadendo da una certa altezza, fa ruotare le pale di una turbina sul cui albero è collegato un generatore di corrente. L'energia che l'acqua trasmette è quindi dovuta al suo passaggio da una quota più alta ad una più bassa.

Il tipo di impianto al quale siamo abituati è costituito da un bacino di raccolta, di solito contenuto fra le due pareti di una valle montana, da una diga di sbarramento, da una condotta che convoglia l'acqua ad

una turbina, dall'apparato di generazione elettrica e da un sistema di deflusso dopo lo sfruttamento della caduta idraulica. La quantità di energia elettrica che si può ottenere è proporzionale al dislivello che l'acqua utilizza ed alla quantità di acqua che investe le pale della turbina.

L'Italia in questo campo, come nell'uso della fonte geotermica, è stata fra i pionieri nello sviluppo. Le prime applicazioni iniziarono intorno agli anni Venti del secolo scorso, più per necessità (mancanza di carbone e petrolio) che per virtù. All'inizio si trattava di una fonte piuttosto costosa rispetto alle altre, ma

con l'esperienza e la conseguente riduzione dei costi di investimento e di produzione, l'uso della tecnologia si è affermato ed espanso in tutto il mondo. Anche se si continuano a realizzare progetti grandiosi, come quello cinese delle Tre Gole, l'impatto ambientale degli impianti idroelettrici di questo genere è elevato ed il potenziale di installazione, almeno in Europa e nel mondo industrializzato, è piuttosto limitato, se non del tutto scomparso. Ma la grande centrale non è l'unico modo di sfruttare un salto idrico. Si vanno, infatti, sempre più diffondendo impianti fra 100 kW e 1 MW (il cosiddetto mini idro) o sotto i 100 kW (micro idro). Sono impianti che non richiedono sbarramenti, ma derivano dalle fonti (fiumi, torrenti, ruscelli) parte del flusso d'acqua disponibile. Per questo motivo sono anche chiamati impianti ad acqua fluente e sono destinati a soddisfare esigenze locali in modo efficiente per una varietà di applicazioni. La fonte idrica ha anch'essa una variabilità nel tempo, tipica di tutte le fonti che vengono definite rinnovabili. Periodi di siccità possono mettere a repentaglio la disponibilità di sufficienti masse d'acqua per la generazione elettrica; periodi di grandi precipitazioni possono invece non essere sfruttati appieno per la mancanza di spazi di stoccaggio sufficienti alla raccolta. È importante infine notare che l'energia idrica è l'unica fonte naturale che consente di immagazzinare in forma efficiente un certo quantitativo di energia. Nelle ore di minor richiesta elettrica si può infatti ri-pompate nella diga di contenimento parte dell'acqua che già ha lavorato nella turbina per farne uso in tempi successivi.





La fonte solare termica

Gli impianti che sfruttano l'energia del sole a scopo termico sono sostanzialmente di due tipi. Uno, largamente utilizzato, consente di produrre calore a bassa temperatura, utile per la preparazione di acqua calda e per il riscaldamento di edifici e piscine. L'altro riguarda applicazioni ad alta temperatura, nelle quali l'energia solare viene concentrata con diversi sistemi di specchi parabolici.

Gli impianti a bassa temperatura, sono costituiti da un collettore solare e da un serbatoio termico; il collettore, solitamente una superficie metallica capace di condurre bene il calore (rame, ma anche cromo ed alluminio) trasforma la radiazione in calore ed il serbatoio lo immagazzina per un impiego successivo. Si tratta di un circuito chiuso nel quale si usa acqua o un fluido capace di trasferire calore in modo efficace. Il sistema funziona sia per circolazione naturale del fluido, sia per circolazione forzata. Nel primo caso si sfrutta la differenza di densità fra l'acqua calda (più leggera) che sale al serbatoio posto in alto e l'acqua fredda (più pesante) che dal fondo del serbatoio va al collettore esposto ai raggi del sole. Nel secondo caso una pompa ausiliaria fa muovere il fluido nel circuito. Gli impianti ad alta temperatura sono idealmente progettati per la produzione di energia elettrica.

Per la cattura dell'energia solare si utilizzano specchi parabolici che concentrano i raggi nel fuoco dello specchio. Qui è situato il sistema di riscaldamento di un fluido che è portato ad una temperatura sufficiente a produrre vapore da far espandere in una turbina.

Nel corso della giornata, gli specchi seguono il percorso del sole per sfruttare al massimo il quantitativo di energia che si può catturare.



La fonte fotovoltaica

La tecnologia fotovoltaica consente di trasformare la luce del sole in energia elettrica sfruttando la capacità di alcuni materiali, opportunamente trattati, di convertire la luce in energia elettrica a corrente continua, senza dover fare ricorso ad alcuna parte meccanica in movimento. La base per fare avvenire tutto questo è la cosiddetta cella fotovoltaica.

La luce è costituita da radiazioni elettromagnetiche sostenute dalla presenza di una particella elementare chiamata fotone. La cella fotovoltaica è fatta, generalmente, da un sottilissimo strato di silicio. Quando i fotoni che compongono la luce colpiscono questo strato con sufficiente energia, danno origine nel materiale ad un elettrone e ad una carica positiva di segno opposto. Questo fenomeno non avviene per tutte le sostanze, ma soltanto per alcune che chiamiamo semiconduttori, come il silicio.

Per far muovere questi elettroni, e quindi generare una corrente elettrica, è necessario che lo strato sottile su cui agiscono i fotoni sia immerso in un campo elettrico permanente, cosa che viene ottenuta aggiungendo al silicio delle piccole impurità, che i tecnici chiamano droganti. Se, ad esempio, si aggiunge al silicio del fosforo, si ottiene uno strato con una densità di elettroni più alta del silicio normale. Se invece si aggiunge del boro, si ha un eccesso di cariche di segno positivo.

La cella fotovoltaica è quindi formata dai due strati drogati in modo opposto, collegati fra loro con un circuito elet-



trico esterno. Quando un fotone di luce colpisce la cella, gli extra elettroni creati si muovono verso la zona nella quale sono carenti, creando una corrente elettrica di tipo continuo, d'intensità tanto più grande quanto maggiore è la quantità di luce incidente. Difficilmente le celle oggi disponibili hanno rendimenti superiori al 10 o 15%, anche perché il rendimento diminuisce dello 0,5% per ogni grado di temperatura superiore a 25 °C, situazione assai frequente a latitudini come la nostra. Le celle fotovoltaiche elementari, così come sono, non possono dare un contributo significativo alla produzione di energia elettrica. Sono fragili, non isolate e forniscono valori di tensione e corrente molto lontani da quelli richiesti dai più comuni apparecchi utilizzatori. Vengono quindi racchiuse in moduli, fra due strati protettivi ed inseriti in una cornice di irrigidimento. I moduli in commercio sono fatti, di solito, di 36 celle collegate fra di loro in parallelo: la corrente totale è quindi quella del modulo che ne genera meno, mentre la tensione totale è la somma delle tensioni dei singoli moduli. Collegando insieme i moduli si ottiene una stringa e, mettendo in parallelo più stringhe, si ha un generatore fotovoltaico.

A questo punto stiamo ancora parlando di una corrente continua e di una tensione variabile con l'irraggiamento solare. Per arrivare a farne uso, è indispensabile un sistema di controllo e di condizionamento che porti tensione e corrente ai livelli richiesti dai potenziali utilizzatori. La quantità d'energia prodotta dipende poi da altri fattori, indipendenti da quelli tecnologici: la latitudine del sito, la disposizione, l'orientamento e l'inclinazione dei moduli rispetto all'orizzonte e così via.

BIBLIOGRAFIA

BP (2013), Statistical Review of World Energy.

Carlevaro, G. (1984) L'economia italiana tra le due guerre. IPSOA, Comune di Roma.

Enel (2010), Storia dell'Energia Verde.

GSE (2012), Rapporto statistico 2012. Impianti a fonti rinnovabili, settore elettrico.

IEA (2013), Energy Technology Initiatives.

IEA (2013), World Energy Outlook 2013.

Luther W. (2008), Application of nanotechnologies to energy sector, Volume 9 of the series Aktionslinie Hessen – Nanotech of the Hessian Ministry of Economy, Transport, Urban and Regional Development.

Piglia A., Cardinali L. (2011), 150 anni di energia in Italia. Gie Edizioni

Piglia A. (2008), Energie rinnovabili: un sogno nel cassetto? Fabiano Editore

Piglia A. (2012), I tesori di Nettuno. Ediplan

REN21 (2013); Renewables 2013. Global Status Report.

REN21 (2014), Renewables 2014. Global Status Report.

CREDITS

Copertina: Rembrandt, *Mulino a vento*, 1641 (Art Gallery of South Australia)

Immagine p. 11 - ©www.onesmallseed.net

Immagine p. 17 - ©www.rwe.com

Immagine p. 25 - ©www.radiomuseum.org

Immagine p. 37 - ©www.archeologiaindustriale.net

Immagine p. 39 - ©Enel

Immagine p. 44 - ©Andreas Tille

Immagine p. 47 - ©Hansueli

Immagine p. 48 - ©Enel Green Power

Immagine p. 61 - ©Enel Green Power

Immagine p. 64 - ©Enel Green Power

Immagini p. 66

- ©www.zeco.it

- ©www.cchpe.net

Immagine p. 81 - ©Alessandro Seregni

Immagine p. 83 - ©www.amaneda.over-blog.com

Immagine p. 84 - ©Iberdrola

Immagini p. 93 - ©Austin Thomason, Michigan Photography

Immagine p. 115 - ©Katherine Keller

Immagine p. 119 - ©Davies

Immagine p. 125 - ©Xklaim

Dove non altrimenti specificato, le immagini sono state prese da: a) Shutterstock e b) dal web, con la conseguente difficoltà o impossibilità di risalire alla fonte. Si prega di segnalare all'Editore ogni involontaria violazione del copyright. Sarà cura dello stesso indicare la fonte o rimuovere immediatamente il materiale secondo l'indicazione dell'Autore.