



ENERGIA: DALLA VISIONE DI CIAMICIAN ALLE ENERGIE RINNOVABILI

VINCENZO BALZANI, PAOLA CERONI
 DIPARTIMENTO DI CHIMICA "G. CIAMICIAN"
 UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Ciamician è stato un pioniere della fotochimica e un profeta dell'energia solare, mentre i chimici del suo tempo erano presi dallo studio delle reazioni termiche e dalla ricerca disperata di fonti energetiche fossili, soprattutto nel dopoguerra, per far ripartire l'industria. Ci si accorge di questo anche sfogliando i primi volumi del Giornale di Chimica Industriale, fondato nel 1919. Questo articolo presenta l'evoluzione del panorama energetico negli ultimi cento anni, con particolare attenzione alla situazione italiana, e le prospettive future.

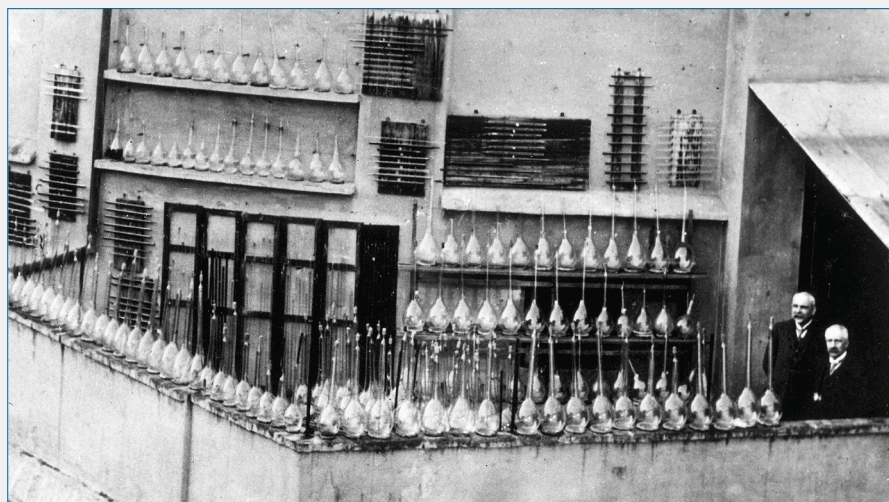


Fig. 1 - Il laboratorio di fotochimica di Giacomo Ciamician a Bologna

Introduzione

Lavorando nel campo della fotochimica da molti anni nel Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician", la nostra icona è la fotografia del 1912 che ritrae Ciamician mentre passa in rassegna decine di flaconi e ampolle esposte alla luce del sole sulla terrazza dell'Istituto (Fig. 1) [1]. All'inizio del secolo scorso i chimici erano ancora troppo impegnati a studiare le reazioni "normali", cioè quelle che avvengono scaldando una miscela di

reazione, per occuparsi dell'azione della luce sulle molecole. Ciamician invece, fu colpito dall'efficienza e dalla varietà delle reazioni che avvengono nelle piante: "Mentre la chimica in laboratorio si serve di temperature elevate, di acidi e basi forti e dei metalli più elettropositivi, le piante, invece dalle piccole tracce di acido carbonico che offre loro l'aria, dalle piccole quantità di sali che sottraggono al terreno, dall'acqua e per mezzo della luce riescono a preparare con apparente facilità tante sostanze che noi così a stento riusciamo a riprodurre" [2]. Si rese

conto, quindi, che nella chimica la luce può agire come reagente ("Il ya un autre agent qui est de la plus grande importance, c'est la lumière") [3] e decise di iniziare studi sistematici che hanno portato alla nascita della Fotochimica.

In occasione del Centenario de *La Chimica e l'Industria* ci è stato chiesto di esaminare gli articoli, inerenti la fotochimica, su il *Giornale di Chimica Industriale*, "padre" dell'odierna rivista, pubblicato appunto per la

prima volta cento anni fa. Con nostra grande sorpresa, non abbiamo trovato nulla di Ciamician, dei suoi allievi e di fotochimica. Nulla neppure nel volume del 1920 e in quello del 1921, se non il necrologio di Giacomo Ciamician, dove non sono neppure evidenziati gli studi fotochimici e le profezie del Maestro sul futuro uso dell'energia solare. Evidentemente la fotochimica negli anni successivi alla Prima Guerra Mondiale non interessava più a nessuno.

I motivi per questa assenza della fotochimica, dopo le brillanti intuizioni di Ciamician, pensiamo siano principalmente due:

- la guerra, con i suoi tragici problemi, aveva distolto gli scienziati dagli studi di base, costringendoli ad occuparsi d'altro. Ciamician stesso negli anni della guerra si impegnò, ad esempio, per costruire maschere anti-gas [4];
- non era stato ancora elaborato un inquadramento teorico dell'interazione luce-materia e non erano disponibili apparecchiature che permettessero di utilizzare la luce come "reagente" ben definito (energia, intensità) e neppure come mezzo per esplorare il decorso di una reazione.

Negli anni del dopo guerra il problema chimico più assillante era la ricerca disperata di fonti energetiche per far ripartire l'industria. Di questo, principalmente, si occupò in quegli anni il *Giornale di Chimica Industriale*. Abbiamo pensato allora di focalizzare il nostro contributo, più che sulla fotochimica, sul problema energetico e sulla sua evoluzione in questi ultimi cento anni, sempre nel solco della profezia di Giacomo Ciamician [1]: *"E se giungerà in un lontano avvenire il momento in cui il carbone fossile sarà esaurito, non per questo la civiltà avrà fine: ché la vita e la civiltà dureranno finché splende il sole! E se anche alla civiltà del carbone, nera e nervosa dell'epoca nostra, dovesse far seguito quella forse più tranquilla dell'energia solare, non ne verrebbe un gran male per il progresso e la felicità umana"*.

L'energia ieri

I combustibili fossili

Fin dall'antichità, la principale fonte di energia per l'uomo è stato il legname. Verso la fine del XVI secolo in Europa, l'aumento della popolazione e il sempre maggior uso del legno per costruire abitazioni e manufatti aveva causato una progressiva deforestazione; si era allora cominciato ad usare il carbone, una fonte di energia meno comoda, ma con maggiore densità energetica. Dato che

il carbone permetteva di raggiungere alte temperature, aumentò la disponibilità di metalli lavorati e con essi incominciò l'era delle macchine. La più importante innovazione fu la caldaia a vapore (James Watt, 1769) da cui ebbe inizio la rivoluzione industriale. L'uso del carbone sorpassò quello del legno verso il 1870 e nel 1900 il carbone rappresentava il 95% dell'energia commercializzata. Nel 1912 Ciamician [1] scriveva: *"La civiltà moderna è figlia del carbon fossile: questo offre all'umanità l'energia solare accumulata nel tempo d'una lunga serie di secoli; l'uomo moderno se ne serve con crescente avidità e spensierata prodigalità"*. Ciamician già allora poneva un problema di cui, ancor oggi, molti economisti sembrano non essere consapevoli: *"La terra ne possiede ancora enormi giacimenti, ma essi non sono inesauribili. Il problema dell'avvenire comincia preoccupare"*. Ciamician, che era uno scienziato molto avanti rispetto al suo tempo, si pose anche una domanda: *"L'energia solare fossile è la sola che possa giovare alla vita e alla civiltà moderna?"*. Domanda retorica, perché aveva già capito che la risposta non poteva che essere: "No". No, perché Ciamician guardava lontano, aveva una visione: *"... se giungerà in un lontano avvenire il momento in cui il carbone fossile sarà esaurito, non per questo la civiltà avrà fine: ché la vita e la civiltà dureranno finché splende il sole! E se anche alla civiltà del carbone, nera e nervosa dell'epoca nostra, dovesse far seguito quella forse più tranquilla dell'energia solare, non ne verrebbe un gran male per il progresso e la felicità umana"* [1].

Ciamician profetizzava il futuro, ma nel dopoguerra, per la ricostruzione di un tessuto produttivo, bisognava fare i conti con una dura realtà: l'Italia era un Paese senza miniere di carbone. Questo era di gran lunga l'argomento più importante per il neonato *Giornale di Chimica Industriale*. In un lungo articolo sul primo numero del *Giornale* [5] ed in uno successivo sul secondo numero [6], D. Meneghini esamina in dettaglio il problema delle risorse di combustibili. L'Italia dipendeva totalmente dall'estero per il combustibile industriale. Nel 1918 aveva importato 5,84 miliardi di tonnellate di carbon fossile e coke, principalmente (75%) dalla Gran Bretagna. All'inizio del 1919, con grande preoccupazione del nostro Governo, la produzione inglese iniziò a diminuire. Meneghini fa varie ipotesi sulle cause di questa diminuzione. Non sembra rendersi conto, però, del difetto intrinseco delle risorse non rinnovabili, che invece Ciamician aveva ben capito: la produzione inizia sempre nei punti più ricchi del giacimento e per continuare a produrre bisogna sca-

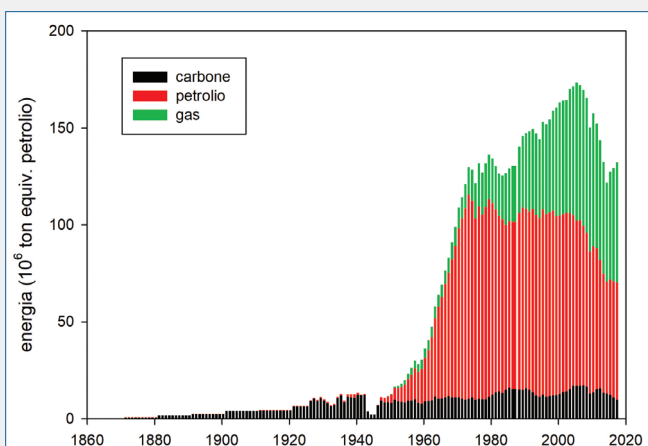


Fig. 2 - Consumo di energia prodotta da combustibili fossili in Italia dal 1861 al 2017 [12]

vare con più fatica sempre più in basso. È esattamente quanto accade oggi: il petrolio “facile” è finito; per trovarne altro bisogna andare in ambienti “estremi” (es.: Artico) oppure adottare tecniche più complesse (ad es.: fracking) [7].

Come alternativa al carbone, il governo si stava muovendo da anni, con scarsi risultati, per incrementare l'uso dei “combustibili nazionali”: lignite, torba e legna [8]. Meneghini osserva [6]: “... siamo molto lontani da quei 15-20 milioni di tonnellate annue che sono state ripetutamente preconizzate da uomini di governo per sostituire “almeno in grandissima parte” il carbone “straniero”... Inoltre, con una simile produzione annua le riserve si sarebbero esaurite in breve volger di tempo”. Una situazione simile a quella che abbiamo oggi per lo

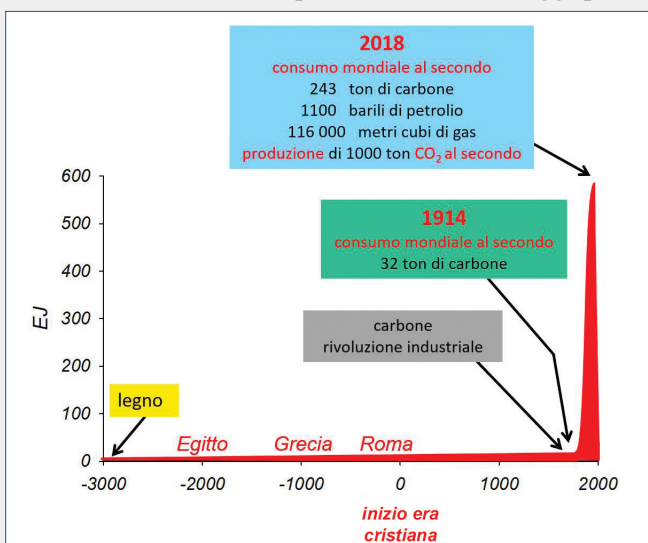


Fig. 3 - Rappresentazione schematica del consumo di energia nella storia dell'uomo

sfruttamento delle nostre scarse risorse di gas e petrolio [9]; ma anche allora, come oggi [10], gli scienziati non erano ascoltati dai politici. Meneghini [6] insisteva anche perché si valutasse la reale convenienza energetica dei “combustibili nazionali”. Tutti problemi che abbiamo oggi per la produzione di biocombustibili, sia locali che prodotti con biomassa proveniente dalla Malesia. Lo spartiacque tra l'era del carbone e l'era del petrolio si può fissare nel 1911, quando l'Inghilterra decise di convertire la propria flotta dall'alimentazione a carbone a quella a petrolio. Il consumo mondiale di carbone, che in quegli anni era di circa 1,8 miliardi di tonnellate, è però sempre aumentato fino a raggiungere i 4,0 miliardi di tonnellate nel 1982 e un massimo di 8,3 miliardi di tonnellate nel 2013, per poi diminuire leggermente [11]. La Fig. 2 mostra l'andamento dei consumi di combustibili fossili in Italia. Si è passati da 0,3 tep (tonnellate equivalenti di petrolio) del 1861, a 173 milioni di tep nel 2005, per poi calare leggermente negli ultimi anni. Si noti il calo netto nel consumo di energia nel periodo della seconda guerra mondiale e l'impressionante evoluzione delle fonti energetiche dal carbone al petrolio al gas. A livello mondiale, nel 2017 il consumo di petrolio è stato di 4622 milioni di tonnellate, a cui si aggiungono 3156 di gas e 3732 di carbone, espresse in tep [11]. Quanto è accaduto per il consumo di energia dalla preistoria ad oggi è schematizzato nella Fig. 3.

Il sogno dell'energia nucleare

Nelle centrali nucleari per usi civili, sviluppate a partire del 1954, il calore della reazione nucleare genera vapore ad alta pressione che viene utilizzato per azionare le turbine di un generatore elettrico. Il nucleare civile crebbe all'inizio molto rapidamente su scala mondiale, raggiungendo i 300 GW di potenza installata nel 1990, per poi frenare. Oltre che da problemi economici, lo sviluppo del nucleare è stato ostacolato anche da vari incidenti, particolarmente quelli gravissimi del 26 aprile 1986 nella centrale di Chernobyl in Ucraina e dell'11 marzo 2011 a Fukushima in Giappone [13]. L'impossibilità di escludere catastrofici incidenti, il rischio di investire grandi capitali per tempi molto lunghi, le enormi difficoltà di stoccaggio e smaltimento delle scorie radioattive e il problematico e costoso smantellamento delle centrali a fine ciclo hanno di fatto bloccato lo sviluppo del nucleare da fissione. L'energia nucleare consumata è scesa da 622 milioni di tep nel 2007 a meno di i 600 milioni di tep nel 2017 [7].

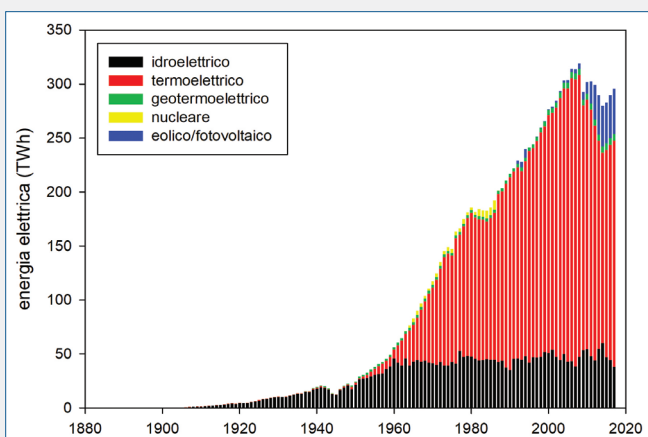


Fig. 4 - Consumo di energia elettrica in Italia dal 1883 al 2017 [12]

L'emissione di una quantità di energia notevolmente più elevata di quella sviluppata nelle reazioni di fissione avviene nella *fusione nucleare*, che consiste nella combinazione di due nuclei molto leggeri per formare un nucleo più pesante. La fusione di nuclei di idrogeno per dare elio è il processo che alimenta il Sole ed è responsabile della enorme quantità di energia che il Sole emette. Allo stato attuale è possibile effettuare i processi di fusione esclusivamente in maniera esplosiva (bomba H). I numerosi tentativi volti a controllare il processo di fusione ed estrarne energia incontrano problemi tecnici apparentemente insuperabili [14].

Se anche fosse tecnicamente ed economicamente possibile, un'espansione del nucleare a livello mondiale non è auspicabile. A causa del suo alto contenuto tecnologico porterebbe a nuove forme di colonizzazione dei Paesi tecnologicamente più avanzati nei confronti di quelli meno sviluppati.

L'energia oggi

Oggi il panorama energetico mondiale è dominato dai combustibili fossili che forniscono complessivamente circa l'85% dell'energia (petrolio 34,0%, carbone 27,7%, gas 23,4%). A livello italiano, predominano gas (38%), petrolio (36%) ed energie rinnovabili (19%); per il 2025 è prevista l'uscita totale dal carbone.

È interessante esaminare l'evoluzione della produzione di energia elettrica in Italia (Fig. 4). Alla fine dell'Ottocento la fonte di gran lunga preponderante era quella idroelettrica; l'Italia è sempre stata all'avanguardia nella costruzione di dighe, anche in altri Paesi. L'energia idroelettrica è nata in Italia a partire dai primi anni del Novecento e ci fornisce tuttora 38 TWh di energia elettrica, corrispondente al 13% del totale dell'energia elettrica (Fig. 4) [13]. Dal 1950 si ha

un deciso incremento nella produzione termoelettrica, che cresce a ritmi vertiginosi fino al 2008, per subire poi una battuta di arresto, a cui si accompagna un forte incremento dell'energia eolica e fotovoltaica. L'energia nucleare rappresenta invece una breve esperienza dal 1963 al 1987. Fino a cinquant'anni fa si pensava che i combustibili fossili costituissero la soluzione ideale per far fronte al sempre crescente fabbisogno energetico del pianeta. Col passare degli anni ci si è resi conto dei loro difetti e della necessità di abbandonarli progressivamente per almeno tre ragioni:

- 1) sono una fonte energetica non rinnovabile che incomincia a scarseggiare e che è causa di guerre;
- 2) il loro uso produce inquinamento con conseguenti gravi problemi alla salute dell'uomo (circa 80 mila morti premature all'anno in Italia);
- 3) l'anidride carbonica generata dalla loro combustione è la causa prima del cambiamento climatico.

Sotto la spinta degli scienziati, particolarmente preoccupati per il cambiamento climatico che porterebbe ad una degradazione irreversibile del pianeta, in una conferenza indetta dall'ONU nel dicembre 2015 a Parigi i delegati di 195 nazioni hanno unanimemente riconosciuto che il cambiamento climatico è il pericolo più grave per l'umanità e che quindi bisogna fermarlo [15]. Questo richiede il progressivo azzeramento delle emissioni di CO₂ e l'eliminazione dei combustibili fossili entro il 2050, come mostrato dalla linea blu nel grafico di Fig. 5, in forte contrasto con gli scenari prospettati dalle compagnie petrolifere, come ad esempio quello di Shell, schematizzato nella stessa Fig. 5 [16].

Scartato lo sviluppo del nucleare per le ragioni già discusse, oggi c'è unanime riconoscimento riguardo la necessità di sviluppare le energie rinnovabili fornite, direttamente o indirettamente, dal Sole (idroelettrica, fo-

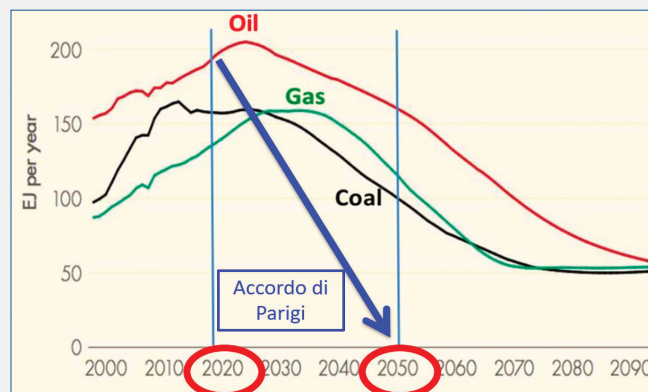


Fig. 5 - Scenario prospettato da Shell per diminuire i consumi di petrolio, gas e carbone [16]. La linea blu indica invece che in base all'Accordo di Parigi dovremmo smettere di usare tutti i combustibili fossili entro il 2050

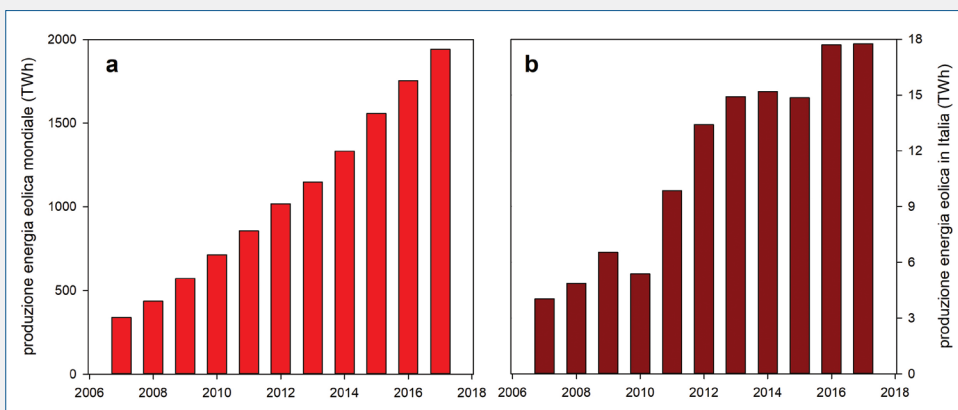


Fig. 6 - Sviluppo della produzione di energia elettrica dall'eolico a livello (a) mondiale [11] e (b) italiano [12] dal 2007 al 2017

generato una quantità di energia paragonabile a quella ottenibile da circa 400 reattori nucleari da 1.000 MW. A livello italiano (Fig. 7b) lo sviluppo è stato incredibilmente elevato dal 2010 al 2012, mentre negli ultimi anni la crescita è fortemente rallentata per la forte riduzione sugli incentivi. In Italia nel 2017 l'energia fotovoltaica rappresenta circa 8% del totale di energia elettrica consumata.

tovoltaica, eolica, biomasse) [7, 13]. Ciamician, dunque, aveva visto giusto! [1]. Naturalmente le compagnie petrolifere si oppongono alla transizione energetica. Sono costrette a riconoscere che la transizione energetica dai combustibili fossili alle energie rinnovabili, già avviata, è ineluttabile, ma cercano di rallentarla. Sostengono che le energie rinnovabili sono immature, costose e inaffidabili perché intermittenti e che quindi il loro sviluppo dovrà essere accompagnato dall'uso, come "energia ponte", del più "innocente" dei combustibili fossili, il gas (metano), che però non è affatto innocente né riguardo l'inquinamento né per il cambiamento climatico [7, 13]. Gli impianti eolici possono essere installati sul suolo o in mare. L'energia eolica mondiale a fine 2017 ha raggiunto 1.450 TWh, pari ad una potenza di 539 GW (+9,6% rispetto al 2016, Fig. 6a), paragonabile a quella di 539 reattori nucleari da 1.000 MW. Ogni volta che la capacità eolica globale raddoppia, il costo dell'elettricità che produce diminuisce del 15%. In Italia la produzione di energia eolica (Fig. 6b) è più che quadruplicata dal 2007, raggiungendo i 18 TWh nel 2017, pari al 6% del totale di energia elettrica consumata. Per quanto riguarda il fotovoltaico, il suo grande vantaggio consiste nel poter generare energia elettrica in qualsiasi luogo illuminato dal Sole, consentendo l'accesso all'elettricità anche nei posti più isolati. Nel 2017 il fotovoltaico ha raggiunto 1.940 TWh, pari ad una potenza di 402 GW (+24% rispetto al 2016, Fig. 7a) e ha

L'85% del fotovoltaico installato nel mondo usa pannelli rigidi nei quali il materiale fotoattivo è una sottilissima lamina di silicio; hanno efficienza di circa il 18-20% (per confronto, la fotosintesi naturale ha efficienza <0,5%) e durata di almeno 25-30 anni. La ricerca scientifica continua in questo settore per migliorare l'efficienza, ridurre i costi e produrre moduli flessibili integrabili in elementi architettonici.

Gli impianti eolici e fotovoltaici producono energia fino a 30 volte quella investita per costruirli, non hanno bisogno di acqua per il raffreddamento, richiedono una manutenzione minima e in fase di dismissione possono essere riciclati quasi integralmente. Gli impianti eolici comportano un uso ridotto del territorio perché l'agricoltura continua normalmente nei terreni su cui vengono installati. Gli impianti fotovoltaici possono essere collocati sui tetti di abitazioni, industrie, parcheggi e altre strutture già esistenti.

Eolico e fotovoltaico sono energie intermittenti; per ottimizzare le loro prestazioni è quindi necessario utilizzare

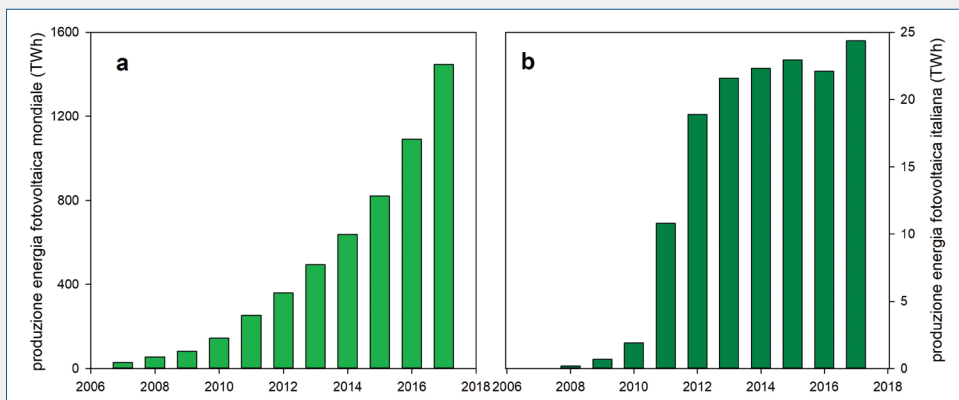


Fig. 7 - Sviluppo della produzione di energia elettrica fotovoltaica a livello (a) mondiale [11] e (b) italiano [12] dal 2007 al 2017

sistemi di accumulo come batterie, pompaggio idroelettrico e anche produzione di idrogeno elettrolitico, che può essere riconvertito in energia elettrica mediante celle a combustibile.

L'energia domani

La transizione energetica dai combustibili fossili alle energie rinnovabili comporta grandi cambiamenti nel modo di produrre, trasportare ed utilizzare energia.

I combustibili fossili generano energia termica che si può usare direttamente, oppure convertire, ma con bassa efficienza, in energia elettrica o meccanica. Le energie rinnovabili generano energia elettrica, che può essere usata come tale oppure può essere convertita con alta efficienza in calore e in energia meccanica. Quindi, l'economia basata sulle fonti rinnovabili ha un'efficienza energetica molto maggiore dell'economia basata sui combustibili fossili.

I combustibili fossili si trovano allo stato grezzo sotto la crosta terrestre, solo in alcune regioni del mondo; quindi devono essere estratti, raffinati e trasportati nei luoghi d'uso. Tutte queste operazioni sono pericolose e spesso oggetto di incidenti, come quello della Deepwater Horizon costato alla BP 61,6 miliardi di dollari [17]. Le fonti rinnovabili (luce, vento, acqua) piovono dal cielo: l'elettricità che producono si deve solo raccogliere e può essere trasmessa e distribuita tramite fili, senza problemi.

La transizione energetica interessa tutti i livelli organizzativi della società e ha profondi effetti economici e politici. Si tratta infatti di passare dall'uso di fonti energetiche concentrate, presenti in pochi Paesi, pericolose, inquinanti, causa di controversie economiche e commerciali, esposte ad attentati e particolarmente adatte ad alimentare le guerre, a fonti energetiche diluite, diffuse su tutta la Terra, non pericolose, non inquinanti, che non possono essere usate per la guerra e neppure essere oggetto di attentati. È una grande sfida che può portarci a vivere in un mondo più giusto, più equo e più pacifico [18]. Fermerà il cambiamento climatico, eviterà la morte prematura di molte persone, aumenterà il numero di posti di lavoro e porterà benefici economici. Porterà vantaggi anche dal punto di vista sociale perché le nazioni più povere, quelle più colpite dai cambiamenti climatici, sono le più ricche di energie rinnovabili.

BIBLIOGRAFIA

[1] G. Ciamician, *Science*, 1912, **36**, 385.

[2] G. Ciamician, *Scientia*, 1907, **1**, 44.

[3] G. Ciamician, *Bull. Chem. Soc. France*, IV Séries, Tome III, 1908, 1.

[4] M. Taddia, *Sapere*, agosto 2007, 44.

[5] D. Meneghini, *Giornale di Chimica Industriale*, 1919, **1**, 24.

[6] D. Meneghini, *Giornale di Chimica Industriale*, 1919, **2**, 56.

[7] N. Armaroli, V. Balzani, *Energy for a sustainable world: from the oil age to a sun-powered future*, Wiley-VCH, 2011, Weinheim, Germany.

[8] S. Pagliani, *Giornale di Chimica Industriale*, 1919, **5**, 220.

[9] V. Balzani, M. Venturi, N. Armaroli, *La Chimica e l'Industria*, 2014, **5**, 15.

[10] <http://www.energiaperlitalia.it/>

[11] BP Statistical Review of world energy, 67th edition, June 2018.

[12] Dati dal gruppo Terna: <https://www.terna.it/it-it/sistemaelettrico/statisticheeprevisioni/datistorici.aspx>

[13] V. Balzani, G. Bergamini, L. Setti, *La Chimica e l'Industria*, 2012, **2**, 80.

[14] N. Armaroli, V. Balzani, *Energia per l'astronave terra*, Zanichelli, III Edizione, 2017.

[15] V. Balzani, *La Chimica e l'Industria*, 2016, **2**, 4.

[16] Shell Energy Transition Report, 2018: https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/shell-energy-transition-report/_jcr_content/par/toptasks.

[17] https://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon_oil_spill

[18] Francesco, *Laudato si'*, Lettera enciclica sulla cura della casa comune, Paoline Libri, 2015.

Energy: from Ciamician's Vision to Renewable Energies

Ciamician is a pioneer of photochemistry and a prophet of solar energy, while, at that time, most of chemists were focused on the study of thermal reactions and on a desperate search for fossil fuels, above all after the first world war to boost the industrial economy. This is evident also by looking at the *Giornale di Chimica Industriale*, founded in 1919. The present article presents the evolution of the energetic landscape over the last century, with particular attention to the Italian situation, as well as the future perspectives.