



## CENTO ANNI DI COMBUSTIBILI FOSSILI. E POI?

MARIO MARCHIONNA  
MARIO.MARCHIONNA@SAIPEM.COM

*I combustibili fossili hanno fornito negli ultimi 100 anni più dell'80% del consumo di energia. Il successo che il petrolio ha avuto non è dovuto solo alla grande disponibilità e relativamente basso costo ma anche alla facilità con cui vettori energetici liquidi possono essere trasportati, immagazzinati e distribuiti per l'uso finale. Proiettandosi verso il 2050, le rinnovabili saranno la fonte energetica con la maggior crescita ma il petrolio e il gas rimarranno componenti cruciali.*

24

GIORNALE DI CHIMICA INDUSTRIALE

1919 - N. 1

### Il problema del combustibile industriale

In una rassegna, pubblicata nel 1915, in una Rivista tecnica italiana (1), io cercai di riassumere le ripercussioni che il conflitto europeo andava portando alle industrie per le difficoltà di approvvigionamento dei combustibili. Nell'iniziare in questa nuova Rivista una serie di articoli che valgano a compendiare quanto nel campo scientifico, ed in quello tecnico, si va compiendo per una migliore conoscenza ed un più proficuo sfruttamento dei combustibili industriali, credo opportuno riallacciarmi alle considerazioni allora svolte e considerare anzitutto, in tutta la sua gravità e vastità, il problema del combustibile per le industrie, specialmente italiane, come si è venuto mano mano presentando in seguito allo svilupparsi del conflitto mondiale ed alla soluzione di questo.

Fino dalle prime fasi del dramma sanguinoso si delineava il fatto che, per lo svolgimento della attività industriale della nostra nazione, il problema più grave doveva essere quello del rifornimento del combustibile.

Ricordo come la produzione mondiale fosse calcolata nel 1903 in 800 milioni di tonni, ed in un miliardo circa nel 1908.

Nel 1913, la produzione mondiale annua dei carboni fossili, si valutava in un miliardo e 250 milioni di tonnellate circa, così suddiviso fra i maggiori centri di estrazione:

Stati Uniti .....	562,6 milioni Tonn.	= 45,0	%	della produzione globale
Gran Bretagna .....	287,4	= 23,0	%	"
Germania .....	191,5	= 15,3	%	"
		83,3	%	
Francia .....	40,1	= 3,2	%	"
Belgio .....	22,8	= 1,8	%	"
Russia .....	28,8	= 2,3	%	"
Possedimenti inglesi .....	56,—	= 2,3	%	"
Altri paesi .....	66,8	= 5,4	½	"

L'Austria-Ungheria entrava nella produzione per circa 15 milioni di tonni.

Tutti i paesi surricordati vennero presto o tardi travolti sul turbine della guerra, qualcuno vide svolgersi la guerra stessa sopra o nelle immediate vicinanze dei territori carboniferi, mentre contemporaneamente si rendeva sempre più difficile il traffico marittimo, diradava la mano d'opera impiegata nel lavoro di estrazione ed andava pure diminuendo la quantità di fossile estratto per unità di tempo e di operario utilizzato nelle miniere.

Per quanto gli avvenimenti svoltisi siano assai recenti, pure credo opportuno riandare anzitutto lo svolgersi dell'approvvigionamento dei combustibili fossili nell'ultimo biennio di guerra, non tanto per ripetere ancora una volta ciò che la memoria ricorda, quanto perché gli errori commessi (in parte per la inevitabile inesperienza) possano servire alla ricerca di quella «*diritta via*» che i bisogni imprescindibili di tutte le nostre industrie e della vita stessa della nostra nazione, richiedono per il futuro.

(1) Annali di Chimica Applicata V. 4, n. 2 (1915).

25

GIORNALE DI CHIMICA INDUSTRIALE

1919 - N. 2

### Il problema del combustibile industriale

(Continuazione - vedi pag. 24-25, numero precedente)

Fra i problemi che sono stati prospettati in Italia durante la guerra, per il rifornimento dei combustibili necessari alle nostre industrie, è da ricordare quello della possibilità di trovare nel nostro paese del «*carbonifero produttivo*» capace di fornire del li-tantrace (1).

Mentre potenti Società stanno eseguendo metodiche ricerche, in regioni dell'Appennino, allo scopo di trovarvi giacimenti petroliferi, alcuni ingegneri di miniere vanno prospettando la opportunità che, previ opportuni studi, si eseguiscono nei punti che si riterranno più adatti dei sondaggi profondi fino verso i 1500 o i 2000 metri allo scopo riconoscere se esistano nel nostro paese bacini carboniferi sfruttabili.

In Italia il terreno carbonifero emerge si può dire solo nelle Alpi occidentali ed in un piccolissimo tratto della Sardegna; nelle prime zone esso è caratterizzato da numerose lenti distorte ed irregolarissime di antraciti di cattiva qualità e da qualche lente di buon materiale grafítico (2) nella seconda e precisamente a Serrì, esiste pure un piccolo bacino antracitifero.

Nel Piemonte si è prospettata l'ipotesi che il carbonifero si possa sviluppare sotto la pianura fra il Chisone, il Po e la Rocca di Cavour, ma si crede che raggiungendo, con sondaggi più o meno profondi la parte della zona grafítica sprofondata, si potrà incontrare tutt'al più qualche lente di grafite non più ricca né meno contorta di quelle che si coltivano con discreto successo nella regione montuosa che sta a ponente ed a settentrione. Così credesi debba avvenire lungo il piede delle Alpi Marittime (fra Boves e Mondovì).

Per gli altri giacimenti carboniferi, nessun banco di carbone sfruttabile è noto nel Carbonifero delle Alpi Carniche, dove in qualche punto alcune lenti di antracite grafítica dettero luogo a ricerche tosto abbandonate. Nessun banco di carbone coltivabile si incontrò neppure nel carbonifero delle Alpi Giulie né in quello delle Alpi Dinariche, mentre in Bosnia ed Erzegovina, in qualche punto è stato scoperto un sottilissimo strato di carbone avente la proprietà del «*boghead*» in mezzo a schisti bituminosi con piante fossili: il tutto però di puro interesse scientifico.

Qualche ricchezza in carbone, quantunque non si posseggano dati precisi pare esista in vari punti del Carbonifero del Montenegro centrale presso Nikchische, nel distretto di Berana, presso la frontiera albanese e nell'alta valle del Lim.

Mediante perforazioni furono pure trovati banchi di combustibili di una discreta potenza in alcuni punti del Carbonifero della Serbia.

Alcuni geologi ritengono possibile e forse anche probabile che l'Appennino e le Alpi dinariche, che avrebbero avuto una storia geologica tanto diversa dopo il periodo carbonifero, l'abbiamo invece avuta analoga anteriormente al Permiano e che quindi possa esistere una continuità sotterranea fra i piccoli affioramenti di carbonifero dell'Elba e di Jano con quelli delle Alpi Venete e Dinariche, della Bosnia Erzegovina e del Montenegro.

Le prospettive sulla produttività dell'ipotetico continuo bacino carbonifero delle Dinariche, il quale dovrebbe estendersi sotto l'affossamento adriatico-padano, non sarebbero però molto incoraggianti.

(1) *La Miniera Italiana* 2, 70 e 81 (1918).  
(2) Val Chisone (Pinerolo).

Le prime pagine degli articoli pubblicati nel 1919 da Meneghini su *La Chimica e l'Industria*

## Premessa

Come il Meneghini riportava cento anni fa, “il problema del combustibile industriale è da affrontare in tutta la sua gravità e vastità” [1, 2]: la Prima Guerra Mondiale appena terminata certamente rendeva ancora più esasperato tale problema, ma questo è un aspetto centrale che ha un impatto rilevante sulla sostenibilità economica e ambientale della vita di tutti i giorni.

Nel presente articolo, si cercherà di affrontare il “problema” alla radice cercando di cogliere il filo che collega le diverse fonti energetiche rispetto agli impieghi finali dei “combustibili” e ai relativi impatti sull’ambiente per capire quanto sia complessa la risoluzione di tutti gli aspetti correlati.

## I vettori energetici

I moderni sistemi economici dipendono in misura sempre crescente dalla disponibilità di energia, non solo per ogni necessità di funzionamento ma soprattutto per le proprie esigenze di sviluppo. Le diverse forme di energia non sono tra di loro equivalenti poiché si differenziano per la disponibilità, l’economicità, la fruibilità, l’efficienza rispetto all’uso finale e l’impatto sull’ambiente, sia in termini di inquinamento locale che di impatto globale sul clima; questi sono gli aspetti più importanti perché lo scopo di impiegare una forma energetica piuttosto che un’altra è proprio quello di soddisfare nella maniera migliore possibile tutte le necessità... e non è certo facile trovare un compromesso che soddisfi tutti i criteri.

Fra le diverse fonti energetiche disponibili (fonti fossili come il petrolio, il gas naturale, il carbone, l’energia nucleare fissile, fonti rinnovabili come l’energia solare, eolica, idrica...) nessuna è capace di soddisfare, tal quale, le necessità energetiche della società, strettamente correlate ai principali mercati corrispondenti: usi industriali, usi civili quali il mercato della fornitura di calore (o di frigoriferi), quello della mobilità e dei trasporti, quello dell’agricoltura e quello dei servizi accessori (meccanici, elettronici...). Per soddisfare tale necessità, è in genere necessario introdurre delle forme di energia che possano garantire un miglior collegamento tra le fonti stesse ed il particolare utilizzo desiderato: è proprio in quest’ambito che i

“vettori energetici” esplicano il loro ruolo peculiare. Per definizione, il *vettore energetico* è una sostanza trasportabile che possa rilasciare energia quando richiesta. Di fatto, è una forma di energia secondaria che permette di sfruttare meglio l’energia primaria in relazione alle necessità dell’utente finale (Fig. 1) [3].

In alcuni casi la fonte primaria è sufficientemente versatile: ad esempio, il gas naturale (metano)<sup>a</sup> è capace di riscaldare le case, di fornire energia per le industrie, di alimentare autoveicoli..., ma non è sempre la forma di energia più idonea per ogni fine (ad esempio non viene impiegato nell’aviazione ed ha solo una minima percentuale di impiego nell’autotrazione).

Una volta introdotto il concetto di vettore, si individueranno ora le diverse fasi che sono coinvolte dalla generazione dello stesso all’uso finale. In Fig. 2 vengono descritte le operazioni fondamentali:

- generazione del vettore a partire dalla fonte primaria;
- trasporto del vettore;
- stoccaggio/immagazzinamento del vettore (quando richiesto);
- distribuzione del vettore;
- impiego finale (con conseguente impatto sull’am-

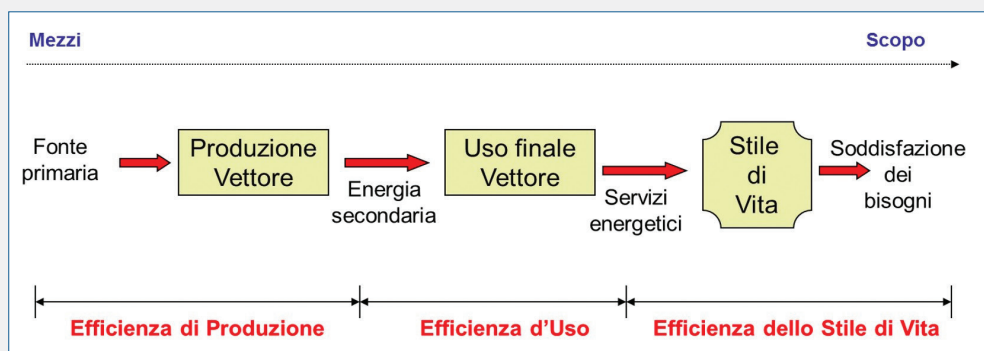


Fig. 1 - Dalle fonti primarie ai servizi energetici

<sup>a</sup>In realtà, si deve osservare che per ottenere il comune metano è necessario uno stadio di trattamento del gas naturale per impoverirlo sia di anidride carbonica, di azoto, di idrogeno solforato, sia degli idrocarburi superiori, i cosiddetti liquidi da gas naturale. Sarebbe quindi più corretto considerare il gas naturale come fonte energetica mentre il metano, commercialmente impiegato, dovrebbe essere considerato un vettore energetico (anche se tale distinzione è forse troppo fine).

biente, sia in termini locali sotto forma di emissioni, sia in termini globali di efficienza della conservazione dell'energia contenuta nella fonte primaria su tutto il ciclo di trasformazione e di impatto sul clima).

Non necessariamente, le operazioni sono nello stesso ordine riportato; ad esempio lo stoccaggio potrebbe anche precedere il trasporto oppure potrebbe essere realizzato in corrispondenza dell'uso finale (ad esempio, serbatoi di gas, idrogeno... per l'autotrazione) o entrambi i casi.

La connessione delle fonti energetiche al mercato comporta quindi scelte tecnologiche e strategiche, sia sul fronte dei processi per ottenere i vettori stessi, sia su quello della logistica che sugli usi finali. Al proposito, si possono fare alcune brevi riflessioni:

- i vettori si distinguono per la forma fisica: gassosa per metano e idrogeno, gas liquefatto per GPL<sup>b</sup>, liquida per tutti i derivati del petrolio, per gli alcoli e per il biodiesel, solida per carbone e legna, meno facilmente definibile per l'energia elettrica;
- tra le fonti fossili, il petrolio non ha praticamente alcun uso diretto e viene convertito in raffineria nei diversi vettori liquidi che alimentano una buona parte degli usi finali. Tali derivati vengono trasportati per nave, condotte o autobotti, sono facilmente immagazzinati in serbatoi e vengono distribuiti per l'uso finale in maniera molto semplice. I vettori petroliferi sono disegnati, e conseguentemente prodotti, per usi ben definiti: ad esempio, l'autotrazione è dominata da benzina e gasolio diesel, l'aviotrazione dal *jet fuel* e così via.

Queste brevi considerazioni, collegate alla catena di produzione, trasporto ed impiego del vettore energetico fanno immediatamente capire come la fortuna che il petrolio ha avuto come fonte energetica negli ultimi cento anni non è da attribuirsi solo alla sua elevata disponibilità e relativa economicità ma anche, e forse soprattutto, alla facilità con cui i derivati idrocarburici liquidi possono essere trasportati, immagazzinati e distribuiti all'uso finale.

Da un punto di vista puramente teorico, un vettore



Fig. 2 - Ciclo di vita del vettore energetico

energetico ideale potrebbe essere rappresentato da un liquido relativamente altobollente (sopra gli 80 °C) e bassofondente (sotto i -40 °C) [4]; tali vettori rimarrebbero liquidi in ogni condizione climatica e a diverse altitudini. Di fatto, la benzina e in buona parte il gasolio diesel sono eccellenti conferme di questa teoria; le loro proprietà fisiche sono quasi ideali per applicazioni nel campo della mobilità perché ottimizzano tutte le fasi a valle della produzione del vettore energetico: dal trasporto, allo stoccaggio fino all'uso finale.

Inoltre, lo stato liquido permette di ottimizzare la densità energetica per unità di volume offrendo dei vantaggi enormi sullo stoccaggio e sulla distribuzione del vettore. A puro titolo di esempio, la maggiore densità energetica dei vettori petroliferi (~45 MJ/kg) rispetto alle attuali batterie (0,5-0,7 MJ/kg) comporta che per portare la stessa quantità stoccata di energia occorre dedicare un peso di 100 volte superiore a quello derivante da petrolio.

Queste osservazioni non devono affatto considerarsi come conclusive, altrimenti non si spiegherebbe il grande successo che incontrano il gas naturale e ancor di più l'energia elettrica, il rappresentante prospetticamente più rilevante dei vettori energetici. Ancora più importanti gli aspetti di tipo ambientale, soprattutto negli ultimi dieci anni risulta chiaro che l'effetto clima-alterante che le fonti fossili, e i relativi vettori, provocano dovrà essere efficacemente contrastato [5].

Nel prosieguo vengono brevemente trattati alcuni vettori, convenzionali come l'energia elettrica e i bio-carburanti, meno affermati ma di interesse potenziale nel medio-lungo termine come l'idrogeno.

<sup>b</sup>I vettori liquefatti (GPL) possono essere particolarmente utili per un impiego in paesi in via di sviluppo dove non esiste un'adeguata rete di distribuzione.

## Vettori energetici convenzionali e potenziali

### Energia elettrica

L'energia elettrica (e.e.) non è una fonte primaria ma è una "forma" energetica estremamente flessibile ed efficace nel soddisfare le necessità dell'utente finale. La sua domanda continuerà a crescere nei prossimi anni, sia nei paesi industrializzati sia nei paesi in via di sviluppo, a tassi elevati. È il vettore energetico più desiderato dal pubblico perché è sinonimo di progresso e di basse emissioni (almeno nell'uso finale) ed è verosimile che nel lungo termine progressivamente sostituirà i vettori da fonti fossile, anche nel campo del trasporto. Può essere ottenuta, sia su grande scala che su piccola scala, da fonti fossili (specialmente carbone e gas naturale), da fonti fissili (energia nucleare) e da fonti rinnovabili (idroelettrico, eolico, solare fotovoltaico); presenta quindi il grande pregio di poter essere prodotta dalla massima varietà di fonti. Per quanto riguarda il suo trasporto, lo sviluppo tecnologico del mercato elettrico dipende anche dall'implementazione di avanzate tecnologie di trasmissione elettrica, già oggi indispensabili per soddisfare la crescita della domanda dei mercati liberalizzati. Simili considerazioni si possono applicare alla rete di distribuzione dell'energia elettrica. Al contrario del trasporto, che è consolidato ed efficiente, lo stoccaggio dell'energia elettrica rappresenta il punto più debole di questo vettore energetico. Su grande scala, l'energia elettrica, una volta raggiunta l'utenza di destinazione, deve essere immediatamente consumata. Questo non significa affatto che non esistano sistemi di stoccaggio: vi sono diverse tecnologie che coprono un'ampia gamma di applicazioni, da quelle in grado di sopperire entro frazioni di secondo alle variazioni/interruzioni di elettricità a quelle che consentono di gestire la fornitura elettrica in funzione della domanda di mercato.

I sistemi di accumulo/stoccaggio sono utili per essere abbinati a fonti rinnovabili (come il fotovoltaico e l'eolico) al fine di mitigarne le caratteristiche di intermittenza nonché di assicurare il recupero dell'energia elettrica prodotta durante periodi caratterizzati da bassa domanda. Non sono però ancora sufficientemente economici, soprattutto su grande scala; ogni piccolo miglioramento in questo campo potrebbe consentire un allargamento dell'impiego ben oltre quello che ci si può ora immaginare. L'unica energia di tipo rinnovabile che ha risolto commercialmente questo problema è quella idroelettrica poiché il sistema di ripompaggio

dell'acqua in bacini idroelettrici è largamente diffuso ed impiegato anche per generare elevate potenze.

Gli usi dell'e.e. sono molteplici ed anche su scale molto diverse; permette inoltre il trasferimento, l'immagazzinamento e l'elaborazione dell'informazione, capacità che la rende del tutto unica tra i vettori. L'impatto locale sull'ambiente è in genere molto positivo non dando luogo, a differenza di altri vettori, ad alcuna emissione locale inquinante. L'impatto sul clima dipende dalla fonte di partenza, alto nel caso del carbone, basso nel caso delle rinnovabili (sarebbe nullo, ma essendo intermittenti sono spesso accoppiate a generazione di energia da gas naturale che funge da back-up).

La prospettiva di elettrificare quasi interamente i consumi, impiegando le rinnovabili come fonti, è un obiettivo certamente virtuoso e da perseguire; per avere successo dovrà però superare due sfide:

- l'elettrificazione dei consumi finali;
  - la continuità della produzione di energia eolica e solare.
- Attualmente, a livello di consumo finale, la combustione di derivati fossili regna ancora sovrana; dalle molecole si genera oggi [6]:
- il 99% del fabbisogno di trasporto terrestre, marino e aereo;
  - la quasi totalità dei consumi delle attività di costruzione e di *feedstock* industriale (es. il petrolio nella petrolchimica);
  - il 60-65% degli usi domestici e di quelli industriali (la rimanente quota è elettrificata, ma gran parte dell'elettricità stessa è a sua volta prodotta bruciando combustibili fossili).

### Biocarburanti liquidi

I biocarburanti sono idrocarburi liquidi (almeno in questa sede ci si limiterà a questi) che vengono ottenuti dalla lavorazione di materie prime vegetali. Vi è interesse verso questi carburanti perché da una parte possono permettere, derivando da fonti rinnovabili, di avere una minor produzione netta di anidride carbonica per energia spesa (anche se questo non è sempre il caso) e dall'altra permettono una sostituzione, almeno parziale, dei derivati del petrolio.

I principali biocarburanti sono l'etanolo (o il suo derivato Etil-Ter-Butil Etere, ETBE, omologo del derivato metilico MTBE), impiegato come additivo per benzina ed il biodiesel impiegato come additivo per gasolio. La natura liquida di questi prodotti fa sì che possano essere facilmente trasportati e immagazzinati (anche se

l'etanolo necessita di una rete di distribuzione indipendente a causa delle sue proprietà idrofile); se impiegati come additivi in percentuali non troppo elevate ( $\leq 5-15\%$  vol.), non si hanno in genere particolari problemi nell'impiego negli usuali motori a combustione interna. L'etanolo è stato ed è attualmente utilizzato come carburante per autotrazione per motori a scoppio specialmente in Brasile (veicoli alimentati a benzina con etanolo o anche solo etanolo), mentre in USA viene impiegato come componente antidetonante in percentuali fino al 10-15% (27 MTPY nel 2016) [7].

Il biodiesel è prodotto a partire da oli vegetali (di colza e di palma), dagli oli di scarto e dal grasso animale, tutti appartenenti alla famiglia dei lipidi e contenenti una struttura molecolare di un trigliceride, in genere un triestere del glicerolo con acidi grassi a lunga catena alchilica. Dopo una fase di lavorazione della biomassa, l'olio viene trans-esterificato con metanolo per produrre glicerina e il trimetil-estere derivante dalla materia oleosa, che costituisce il biodiesel. Le sue caratteristiche sono tali che presenta proprietà simili a quelle del gasolio anche se ne possiede solo il 90% del potere calorifico, è però più facilmente biodegradabile.

Nel passato le biomasse, di ogni natura, sono sempre state impiegate per produrre energia termica od elettrica; di recente sono stati proposti diversi approcci per trasformarle in liquidi di interesse per il mercato dei carburanti (oltre ai già citati etanolo e biodiesel). Esistono sostanzialmente due approcci, uno diretto ed uno indiretto per trasformare le biomasse in liquidi:

- in quello *diretto*, le biomasse, spesso dopo trattamento, sono alimentate ad un tipico impianto di raffineria, dedicato o in co-processing con cariche di natura petrolifera;
- in quello *indiretto*, le biomasse sono gasificate per produrre gas di sintesi, il quale può essere poi convertito a liquidi da Fischer-Tropsch, a metanolo (o dime-til-etere) e a idrogeno.

L'approccio diretto è più semplice e ha il grande pregio di fornire un prodotto sostanzialmente indistinguibile dal prodotto petrolifero; nel caso dell'idrogenazione di oli grassi, il prodotto può essere di altissima qualità con numeri di cetano fino a 90 e questo ha spinto a realizzare bio-raffinerie dedicate come nel caso di Neste in Finlandia e a Singapore, di Eni in Italia e di Total in Francia. L'approccio indiretto è invece più complesso perché richiede processi intensivi e ad alto costo di investimento come la gasifica-

zione e la successiva conversione del gas di sintesi. La produzione mondiale di biodiesel ammonta a più di 400 migliaia di barili/giorno nel 2017 [8].

Non si deve però trascurare che un massivo sviluppo dei biocarburanti implica uno sfruttamento intensivo, soprattutto per il biodiesel, di terreni di coltivazione sottraendo gli stessi al tipico uso agricolo pro alimentazione: in questo caso il vettore *biofuel* compete con il vettore cibo. Proprio per evitare questo rilevante problema sono in via di sviluppo biocarburanti di seconda (o di terza) generazione [9], dove la biomassa impiegata (spesso scarti di lavorazione) non compete con l'impiego per la alimentazione; il relativo costo di trasformazione è però ancora elevato.

### Idrogeno

Dall'inizio di questo secolo, l'idrogeno è stato posto al centro dell'attenzione dell'opinione pubblica come possibile stella polare di un nuovo futuro energetico. Le ragioni di tale attesa sono sicuramente ascrivibili al fatto che il ricorso alle fonti fossili è individuato come una delle principali cause di inquinamento dell'ambiente, su scala sia globale che locale (...e con l'assunzione che questo non sia rimediabile o mitigabile), mentre l'idrogeno ("*se usato produce solo acqua*") può essere percepito come la soluzione definitiva per affrancarci dalle fonti fossili e dall'economia "al carbonio". Inoltre, l'idrogeno, il cui stoccaggio è, almeno in linea di principio, più semplice di quello dell'energia elettrica, potrebbe rappresentare una soluzione per il problema dell'intermittenza con cui l'energia elettrica è generata dalle fonti rinnovabili: si produce idrogeno da queste fonti e poi lo si può trasformare in energia elettrica quando lo si desidera.

Da una parte, l'idrogeno è assai abbondante in natura ma non è mai presente allo stato libero bensì in forma combinata e in molecole molto stabili come acqua, metano, idrocarburi superiori...: non è una fonte, è il classico vettore energetico che si deve produrre spendendo energia proveniente da fonti primarie, per estrarlo da queste molecole. Tra i vantaggi principali sono da ricordare la combustione assai pulita (al massimo solo qualche emissione di  $\text{NO}_x$ ) ed il fatto di essere l'unico (insieme a metanolo ed etanolo) carburante diretto per le celle a combustibile, dispositivo energetico estremamente efficiente che permette di ottenere emissioni nulle e rendimenti energetici tali da compensare parzialmente l'energia spesa nello stadio di generazione

del vettore; l'altra grande prerogativa dell'idrogeno è la sua elevata versatilità di utilizzo sia per la produzione centralizzata o distribuita di energia elettrica che nel campo della mobilità (sia per autovetture a combustione interna che a *fuel cell*), che potenzialmente per usi civili e/o industriali.

Oltre ai costi ancora molto elevati, quando prodotto da fonti rinnovabili, l'altro punto debole è rappresentato dallo stoccaggio che presenta qualche problema in meno rispetto all'energia elettrica (vettore spesso in competizione diretta con l'idrogeno) ma necessita ancora di molto sviluppo per renderlo più fruibile su larga scala.

### “Il problema del combustibile”: evoluzione storica e prospettive future

Ci siamo concentrati su alcune opzioni alternative all'impiego di combustibili fossili ma se si osserva la situazione di consumo corrente non si può non osservare un quadro assai consolidato: prendendo gli Stati Uniti come mercato di riferimento, puntuale ma estremamente significativo, i combustibili fossili hanno fornito più dell'80% degli interi consumi energetici per almeno 100 anni. Riferendoci a uno studio EIA [10], a partire dal 1928, quando il consumo di gas naturale superò quello delle biomasse, i tre combustibili fossili - petrolio, carbone e gas naturale - sono stati i principali combustibili consumati negli USA. Nel 2016, tali fonti energetiche rappresentavano l'81% del totale consumo energetico (Fig. 3), il più basso valore negli ultimi 100 anni.

In tale anno infatti il contributo delle energie rinnovabili negli USA è salito al 10,5%, il più alto valore a partire dagli anni Trenta, quando il consumo di energia era molto più basso e la quantità di biomassa consumata (soprattutto legno) relativamente alta. La grande crescita delle rinnovabili nell'ultimo decennio è stata nella generazione di energia elettrica da eolico e solare. Il consumo di biocombustibili liquidi - metà del quale è dovuto all'etanolo miscelato alla benzina - è anch'esso significativamente aumentato contribuendo, almeno negli USA, al contributo crescente di rinnovabili nel consumo totale di energia.

In aggiunta a quanto descritto, il

declino nell'impiego di combustibili fossili è principalmente attribuibile al diminuito consumo di carbone, sceso del 9% nel 2016, dopo un'altra discesa del 14% nel 2015. Complessivamente il consumo di carbone è diminuito del 38% a partire dal 2005.

Il petrolio, che copre tutti i combustibili per la mobilità e altri usi residenziali, industriali e commerciali, rimane la principale fonte di energia negli USA, crescendo continuamente negli ultimi 5 anni.

Il consumo di gas naturale è cresciuto continuamente e significativamente negli ultimi 10 anni; nel 2006 il consumo di carbone era maggiore di quello del gas (in termini di energia equivalente) ma soprattutto la crescita dell'impiego del gas nella generazione elettrica (in sostituzione del carbone) ha fatto sì che nel 2016 il consumo di gas fosse circa doppio rispetto a quello del carbone, contribuendo anche a una significativa e molto importante riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> [11]. Questo dato conferma come il gas naturale possa essere un'efficace fonte di transizione per accompagnare, soprattutto nel breve-medio termine, una decarbonizzazione sempre più spinta (a questo si somma anche il fatto che il gas è la forma più comune di back-up alle fonti rinnovabili intermittenti).

In Europa la percentuale di rinnovabili è forse un po' superiore (per la generazione elettrica, ma non per i biocombustibili) però non esistono differenze radicali; l'esempio americano può essere estrapolato a una figura mondiale (con l'eccezione di un meno pronunciato *switch* da carbone a gas naturale, che è tipico della situazione americana).

Sebbene in prospettiva le rinnovabili diventeranno (e in parte già lo sono) la fonte energetica con il più alto

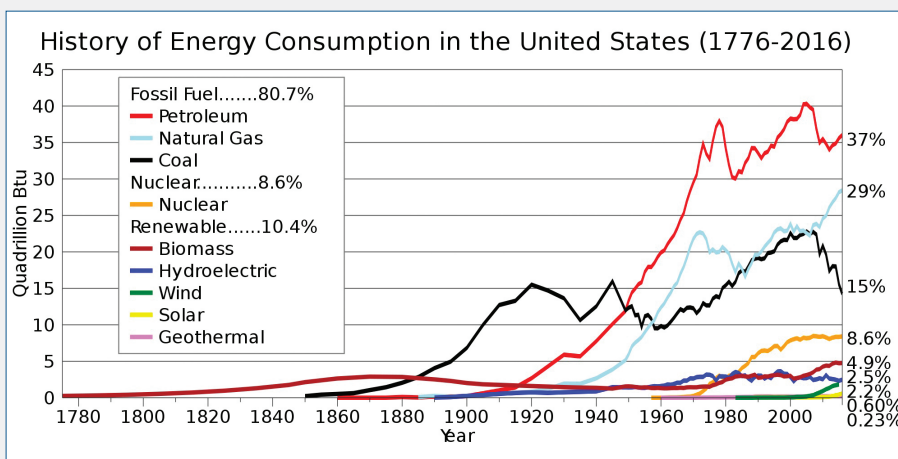


Fig. 3 - Consumo di energia negli Stati Uniti dal 1776 al 2016 (fonte EIA, 2017)



tasso di crescita per la generazione elettrica [12], è verosimile che i combustibili fossili giocheranno ancora un ruolo importante almeno fino al 2040-2050. Questo è dovuto al sempre crescente bisogno di energia su scala mondiale, alla loro superiore intensità energetica e anche ai numeri estremamente elevati e resilienti che sottolineano l'esposizione del pianeta alle fonti fossili (>80% del consumo energetico).

Verosimilmente, il relativo mix però cambierà; prendiamo a puro titolo di esempio un recente studio di McKinsey per capirne le principali tendenze non tanto i singoli valori numerici [13]:

- il gas naturale, che ha una minore intensità di carbonio rispetto al carbone e al petrolio, continuerà a crescere rapidamente mentre la domanda globale di carbone raggiungerà un picco fra il 2020 e il 2025. La forte crescita dei consumi di gas è anche dovuta alla produzione continuamente crescente, in particolare quella derivante da *shale gas* [14];
- la crescita negli impieghi del petrolio, che sono dominati dal trasporto e dalla petrolchimica (differentemente dalle altre fonti che producono soprattutto energia elettrica), rallenterà a causa di una sempre maggior efficienza nei consumi [15] e di una maggior penetrazione dei veicoli elettrici, spinta anche da nuove regolazioni ambientali che potrebbero proibire l'uso di benzina e diesel nei centri urbani [16]. Nel caso del petrolio il picco potrebbe essere intorno al 2030, il suo declino sarà però molto lento perché la penetrazione dei veicoli elettrici si scontrerà con il tempo necessario per il rinnovo della flotta mondiale di veicoli leggeri, inoltre è presumibile che l'impatto sui veicoli pesanti sarà molto minore [17];
- la ricerca di McKinsey stima che, per la sola generazione elettrica, entro il 2050 il carbone scenderà a

una percentuale globale del 16% (ora è del 41%) e i combustibili fossili nel complesso al 38% (ora 66%), con un contestuale aumento delle rinnovabili.

In conclusione, le fonti rinnovabili, e l'energia elettrica come loro vettore, diventeranno sempre più rilevanti, i combustibili fossili rimarranno ancora a lungo ma al contempo dovranno essere ulteriormente ridotti i loro effetti indesiderati con l'implementazione di sistemi atti a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> come, ad esempio, la *Carbon Capture & Storage* (CCS) [5, 12]. Il petrolio sarà meno totalizzante per la mobilità e sarà sempre centrale per la petrolchimica [18], ma anche in questo campo saranno da superare altri problemi, ad esempio quelli relativi al riciclo delle plastiche... sottolineando una volta di più la complessità della materia (...“il problema del combustibile”).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Meneghini, *La Chimica e l'Industria*, 1919, **1**, 24.
- [2] D. Meneghini, *La Chimica e l'Industria*, 1919, **2**, 56.
- [3] M. Marchionna, in *Enciclopedia degli Idrocarburi*, ed. Treccani, 3<sup>a</sup> Ed., 2007, **4.1**, 301.
- [4] U. Bossel, B. Eliasson, G. Taylor, Lucerne Fuel Cell Forum, 2003, 30 June - 4 July, Luzern (CH).
- [5] **M. Marchionna, *La Chimica e l'Industria*, 2012, 94(6), 100.**
- [6] F. Gattei, *We*, 2018, **41**, 88.
- [7] M. Di Girolamo, M. Brianti, M. Marchionna, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 2017, DOI: **10.1002/14356007.a18\_037.pub3**.
- [8] World Biodiesel Production by Country, United States Energy Information Administration (EIA), 2017.
- [9] K. Araùjo, D. Mahajan, R. Kerr, M. da Silva, *Agriculture*, 2017, **7**, 32.
- [10] *Hydrocarbon Processing online*, 2017, July 3.
- [11] *Hydrocarbon Processing online*, 2017, April 10.
- [12] *BP Energy Outlook 2019*, **www.bp.com**.
- [13] S. Nyquist, in McKinsey & Company Report, November 2016.
- [14] M. Marchionna, EPJ Web of Conferences, 2018, **189**, 25.
- [15] *Hydrocarbon Processing online*, May 23, 2017.
- [16] *Hydrocarbon Processing online*, July 6, 2017.
- [17] *Hydrocarbon Processing online*, July 3, 2017.
- [18] A.H. Tullo, *Chem. Eng. News*, 2019, **97**(8), 26.