

STRUMENTI

VERSO UNA NUOVA ENERGETICA

Il cambiamento climatico, causato dalla crescita della concentrazione atmosferica dei gas serra, ci ha portati in una nuova era, nella quale l'aumento delle ondate di calore, i periodi di siccità prolungata e le inondazioni sempre più frequenti stanno causando perdite di vite umane, biodiversità e infrastrutture. Il sistema energetico, in quanto responsabile dei tre quarti delle emissioni planetarie di gas serra, non può più avere come soli obiettivi l'aumento dell'efficienza e la riduzione dei costi a breve termine. Occorre quindi procedere verso una nuova energetica, nella quale un ruolo decisivo deve essere giocato dalla decarbonizzazione, intesa come riduzione delle emissioni di tutti i gas serra.

Nel testo, con un approccio di tipo storico, sono illustrate dapprima le fonti primarie esauribili che hanno contrassegnato l'epoca industriale, ponendo l'accento sugli stimoli che hanno accompagnato le transizioni fra le diverse fonti. Successivamente sono descritte le fonti rinnovabili tradizionali e moderne nella prospettiva del loro possibile contributo alla transizione verso un sistema energetico sostenibile. Infine, sono discusse le strategie e le tecnologie necessarie per decarbonizzare il sistema energetico attuale, giustificando il ruolo prioritario che dovrà avere la generazione di energia elettrica in eccesso rispetto alle esigenze di oggi e il ruolo non secondario che dovrà essere affidato all'idrogeno. A conclusione, nell'appendice basata sui recentissimi piani proposti dall'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA), sono presentate le misure, coerenti con gli obiettivi della decarbonizzazione, che si renderanno necessarie per ridurre le importazioni di gas naturale e petrolio dalla Russia.

Gianni Comini

Già professore ordinario di Fisica tecnica nelle università di Trieste e Udine dal 1975 al 2010, dal 2010 è direttore del Dipartimento di energia e ambiente del Centro Internazionale per le Scienze Meccaniche (CISM) di Udine.

Michele Libralato

Dopo un dottorato di ricerca in Scienze dell'Ingegneria Energetica e Ambientale, è attualmente Ricercatore di Fisica tecnica ambientale presso il Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura dell'Università di Udine.

libreriauniversitaria.it
edizioni



€ 33,90

Comini, Libralato

VERSO UNA NUOVA ENERGETICA

libreriauniversitaria.it

STRUMENTI



Gianni Comini, Michele Libralato

VERSO UNA NUOVA ENERGETICA

Dalle fonti esauribili alla decarbonizzazione

libreriauniversitaria.it
edizioni

Prefazione

*Nel linguaggio, nella tecnica e nella legislazione si fa comunemente riferimento a “consumi” di energia. In realtà, il primo principio della termodinamica stabilisce che la quantità totale di energia si conserva in tutte le trasformazioni, mentre il secondo principio stabilisce che, nelle stesse trasformazioni, si perde non la “quantità” ma la “qualità” dell’energia. Infatti, la **energetica tradizionale**, fondata sui principi della termodinamica, analizza i processi utilizzando due bilanci: uno basato sul primo principio per tener conto delle quantità di energia, e l’altro, basato sul secondo principio per tener conto delle quantità di “energia utilizzabile” (o più sinteticamente “exergie”) cioè delle diverse qualità delle energie in gioco.*

In questo modo i rendimenti di primo principio danno informazioni sulle sole “perdite” globali di energia intese come dispersioni di calore nell’ambiente, e non forniscono indicazioni sui componenti di impianto suscettibili di miglioramento. Per contro, i rendimenti di secondo principio identificano sia le perdite globali di energia utilizzabile sia le perdite che si hanno in ciascun componente di impianto. Poiché la qualità delle energie è misurata dalla loro convertibilità in lavoro meccanico, le perdite di energia utilizzabile si identificano con le riduzioni di capacità di produrre lavoro come, ad esempio:

- *il passaggio spontaneo del calore dai punti a temperatura più alta a quelli a temperatura più bassa, in quanto fa diminuire il rendimento dei possibili cicli termici fino ad arrivare al calore disponibile a temperatura ambiente (che non ha alcun valore dal momento che non può essere utilizzato per produrre lavoro);*
- *le resistenze di attrito che costringono a “spendere” il lavoro prodotto dai motori per mantenere in movimento a velocità costante i veicoli (e, così facendo, non “consumano” energia ma la “dissipano” convertendola in calore che, generalmente, viene disperso nell’ambiente).*

Grazie all’utilizzo combinato dei bilanci di primo e secondo principio, le analisi energetiche tradizionali sono in grado di identificare i componenti sui quali conviene concentrarsi per risparmiare energia nei processi e negli impianti di interesse tecnologico. Negli ultimi anni, però, il quadro semplice e rigoroso dell’energetica tradizionale è stato sconvolto dall’accelerazione del cambiamento climatico e dai suoi impatti sempre più forti sulla vita di tutti i giorni.

La comunità scientifica è unanime nell’attribuire la responsabilità maggiore del cambiamento climatico all’aumento della concentrazione atmosferica dei gas serra e, in coerenza, esorta a ridurre le emissioni antropiche di “tutti” i gas serra. (Nel linguaggio tecnico, questa riduzione

viene chiamata “decarbonizzazione”, dall’inglese “decarbonize” che, però, significa “riduzione delle emissioni del carbonio contenuto nell’anidride carbonica”. In questo caso, però, l’indicazione di “una parte per il tutto” è giustificata dal fatto che l’anidride carbonica [CO₂] rappresenta circa i tre quarti delle emissioni complessive di gas serra).

Il sistema energetico, attraverso i processi di estrazione, trasporto e combustione di carbone, petrolio e gas naturale è, a sua volta, responsabile dei tre quarti delle emissioni di gas serra e, di conseguenza, si va facendo sempre più strada la consapevolezza che le analisi energetiche non possano più limitarsi alla “torre d’avorio” della termodinamica. L’energetica tradizionale rimane un ottimo punto di partenza per identificare possibili risparmi di energia, ma non può essere la sola guida alle profonde trasformazioni tecniche, economiche e sociali che la decarbonizzazione richiede. Il titolo del volume è indicativo di questa convinzione: occorre procedere verso una **nuova energetica**, e tale assunto ha influenzato sia la scelta dei contenuti sia la trattazione dei capitoli.

Il Primo Capitolo si occupa delle transizioni tra fonti primarie esauribili facendo riferimento, essenzialmente, all’epoca industriale e ponendo l’accento sugli stimoli che hanno accompagnato le transizioni stesse. In questa prospettiva si esaminano in sequenza le transizioni dalla legna al carbone, dal carbone al petrolio e dal petrolio al gas naturale. Si analizzano poi le ragioni della mancata affermazione dell’energia nucleare che, nel decennio tra il 1960 ed il 1970, molti ipotizzavano come imminente. Da questa prospettiva storica emerge che le transizioni tra fonti primarie hanno sempre comportato trasformazioni molto costose all’interno dei sistemi energetici e, come tutti i grandi cambiamenti, hanno sempre incontrato difficoltà tecniche e resistenze economiche e sociali. Di conseguenza, le transizioni si sono sviluppate nell’arco di decenni, e non di anni, ed il loro sviluppo ha richiesto tempi più o meno proporzionali alla diffusione delle fonti che via via venivano sostituite. Pertanto, è legittimo interrogarsi sui tempi necessari per transitare da un sistema energetico come l’attuale, basato su fonti primarie esauribili e fortemente inquinanti, ad un sistema energetico nuovo basato su fonti primarie rinnovabili e rispettose dell’ambiente. Infatti, oltre a garantire la riduzione sostanziale delle emissioni di gas serra il nuovo sistema dovrà anche essere accettato e percepito come sostenibile dalla stragrande maggioranza delle persone. (Un esempio per tutti: un sistema basato sull’energia nucleare garantirebbe la riduzione delle emissioni planetarie di anidride carbonica, ma il mancato sviluppo dell’energia nucleare dimostra che tale sistema non è percepito come sostenibile dalla stragrande maggioranza della popolazione mondiale).

Il Secondo Capitolo esamina le fonti energetiche rinnovabili nella prospettiva del loro possibile contributo al raggiungimento di un sistema energetico decarbonizzato e percepito come sostenibile. In tale contesto, gli autori hanno cercato di informare sui costi e gli impatti ambientali di ciascuna fonte, al fine di agevolare la formulazione da parte di chi legge di giudizi autonomi sulla sostenibilità. Dal punto di vista quantitativo è emerso che

- l’energia geotermica e le biomasse coltivate sono destinate a restare marginali sia pure per motivi diversi in quanto i sistemi geotermici sfruttabili sono presenti in zone limitate, mentre le biomasse coltivate sono una fonte energetica a densità molto bassa e la loro ulteriore espansione impegnerebbe aree molto vaste non più disponibili nei Paesi Industrializzati o collocate in territori fragili nei Paesi in via di sviluppo;

- *l'energia idraulica risentirà del cambiamento climatico più delle altre fonti rinnovabili a causa della riduzione delle portate dei fiumi e, soprattutto, della concorrenza tra impianti idroelettrici, acquedotti e impianti di irrigazione, attesi gli scenari di aumento delle temperature medie e della frequenza dei periodi di siccità prolungata;*
- *nel decennio tra il 2010 e il 2020, i costi livellati (ovvero onnicomprensivi) delle fonti rinnovabili tradizionali (biomasse, geotermica e idraulica) sono aumentati o, al più, sono rimasti costanti, mentre i costi livellati delle energie rinnovabili moderne (energia solare a concentrazione, energia solare fotovoltaica, energia eolica “onshore” ed “offshore”) sono diminuiti in maniera esponenziale.*

Inoltre, dal punto di vista delle emissioni di gas serra è innegabile che

- *l'energia geotermica liberi nell'atmosfera buona parte dei gas serra disciolti nei fluidi geotermici;*
- *la coltivazione di biomasse e la preparazione di biocombustibili e biocarburanti richiedano ingenti quantità di energia proveniente da fonti fossili e, di conseguenza, comportino emissioni non trascurabili di gas serra.*
- *i serbatoi e le dighe a servizio degli impianti idroelettrici raccolgono, sotto forma di sedimenti, i materiali inorganici erosi dalle piogge ma anche i materiali organici riversati dagli ecosistemi e soggetti a processi di decomposizione anaerobica (e quindi fonte di anidride carbonica e metano);*
- *le energie rinnovabili moderne non siano associate ad alcuna emissione di gas serra e la loro “impronta carbonio” sia, sostanzialmente, limitata alle fasi di realizzazione (peraltro necessariamente presenti anche negli impianti di sfruttamento delle energie rinnovabili tradizionali).*

Infine, per quanto riguarda gli impatti di tipo ambientale e paesaggistico, si può solo dire che nessuna fonte è perfetta, ma si può anche aggiungere che nemmeno l'assenza di fonti energetiche è sostenibile.

*Il **Terzo Capitolo** illustra le strategie sinora proposte per arrivare ad una completa decarbonizzazione del sistema energetico (e nella descrizione si userà di preferenza il futuro come auspicio). Dando per scontata la necessità di risparmiare energia attraverso continui miglioramenti dell'efficienza, le strategie prevedono un ruolo prioritario per la generazione di energia elettrica e un ruolo non secondario per l'idrogeno. Naturalmente la generazione di energia elettrica dovrà essere a “zero emissioni” e, in coerenza, gli investimenti dovranno concentrarsi sulle energie rinnovabili moderne. A breve termine dovrà essere abbandonata l'alimentazione delle centrali termoelettriche con carbone ed olio combustibile (peraltro già ora troppo costosa nei Paesi che non producono petrolio) e, a medio termine, vi dovrà essere una riduzione drastica anche dei consumi di gas naturale. L'ottica “ufficiale” consente invece (ed è controverso) che le centrali nucleari a fissione possano venir ancora installate nei Paesi che accettano questa tecnologia. (Ovviamente, non sarebbe controversa la produzione di energia elettrica con le centrali a fusione nucleare, qualora i recenti progressi scientifici nel settore portassero alla loro realizzazione in tempi ragionevoli). Ancora:*

- *per un utilizzo massiccio di fonti rinnovabili che, come il fotovoltaico e l'eolico, non sono programmabili, occorrerà adattare il sistema di distribuzione dell'energia elettrica passando dalle reti attuali a gestione centralizzata alle "reti intelligenti" gestite su base locale e dotate di adeguati sistemi di accumulo per far fronte ai periodi con condizioni atmosferiche sfavorevoli;*
- *la produzione di energia elettrica dovrà essere espansa ben oltre gli usi tradizionali in modo da impiegare l'energia in eccesso anche per far fronte anche alle richieste di energia termica a bassa temperatura (ad esempio riscaldando gli edifici con pompe di calore) e ad alta temperatura (ad esempio utilizzando in metallurgia apparecchiature come i forni ad arco), e alle richieste di energia per i trasporti (incentivando la diffusione dei veicoli elettrici);*
- *l'energia elettrica in eccesso potrà essere impiegata anche per la produzione di idrogeno verde attraverso l'elettrolisi dell'acqua;*
- *l'idrogeno potrà essere utilizzato come tale nei trasporti e nei processi chimici che lo richiedono, ed essere impiegato come materia prima (in combinazione con l'anidride carbonica catturata dall'atmosfera) per la produzione di metano e idrocarburi liquidi a zero emissioni, ovvero "verdi";*
- *il metano a matrice rinnovabile potrà sostituire progressivamente il gas naturale, mentre gli idrocarburi verdi liquidi potranno essere impiegati, insieme o in alternativa all'energia elettrica, per i trasporti terrestri, aerei e navali ed aerei.*

*Nella **Appendice al Terzo Capitolo**, si parte dalla constatazione che tutte le strategie di decarbonizzazione risalgono a prima che la guerra in Ucraina costringesse i Paesi Industrializzati a formulare piani di rinuncia alle importazioni di gas e petrolio dalla Russia. Nella situazione che si è venuta a creare, l'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) ha proposto dei piani di riduzione dei consumi che, per la prima volta (e, probabilmente, era tempo), chiamano in causa anche i comportamenti dei singoli consumatori. Infatti, tra le proposte, vi sono la riduzione di 2°C delle temperature nei locali riscaldati, una serie di limitazioni all'uso delle auto, l'utilizzo di treni ad alta velocità e notturni al posto degli aerei e la sostituzione dei viaggi di lavoro con riunioni da remoto. Si tratta di cambiamenti di comportamento certamente non graditi ai consumatori, ma per decarbonizzare il sistema energetico sono necessari anche atteggiamenti proattivi che non neghino le responsabilità individuali e accettino, se possibile facendosi promotori, le soluzioni collettive necessarie per il cambiamento. In fondo, abitare in edifici autosufficienti dal punto di vista energetico, o guidare auto elettriche con batterie ricaricate utilizzando energia fotovoltaica autoprodotta potrebbe, in un futuro vicino, non essere un comportamento virtuoso ma la norma.*

Udine, maggio 2022

Gianni Comini e Michele Libralato

Indice

1	Transizioni tra fonti primarie esauribili	1
1.1	Gli stimoli alle transizioni	1
1.1.1	Transizioni tra fonti esauribili in epoca industriale	2
1.2	Le biomasse tradizionali	6
1.2.1	La carbonella	7
1.3	Il carbone	8
1.3.1	Il coke	9
1.3.2	Dalla legna al carbone	12
1.3.3	Il motore di Watt	13
1.3.4	La turbina a vapore di Parsons	16
1.4	Il petrolio	18
1.4.1	Industria petrolifera e prezzo del greggio	22
1.4.2	Dal carbone al petrolio	28
1.4.3	Il petrolio e i motori a combustione interna alternativi	30
1.4.4	La propulsione aerea con motori alternativi	34
1.4.5	La propulsione aerea con motori a turbina	36
1.4.6	La propulsione navale	41
1.5	Cenni di geologia degli idrocarburi	43
1.5.1	Le nuove tecnologie di estrazione	46
1.6	Avvento del gas naturale	49
1.6.1	Il gas naturale e la decarbonizzazione	51
1.7	L'opzione nucleare	52
1.7.1	Fisica della reazione a catena	54
1.7.2	Reattori a neutroni lenti	55
1.7.3	Reattori a neutroni veloci autofertilizzanti	57
1.7.4	Quattro generazioni di reattori nucleari	58
1.7.5	Storia della "sicurezza" dei reattori nucleari	61
1.7.6	Il nucleare nel Mondo	63
1.8	Conclusioni	66
1.9	Appendice - Lo scenario delle crisi petrolifere	69
1.10	Bibliografia	75
2	Fonti rinnovabili per la transizione energetica	79

INDICE

2.1	Transizione alle energie rinnovabili	79
2.2	Energia geotermica	81
2.2.1	Manifestazioni dell'energia geotermica	84
2.2.2	Sfruttamento dell'energia geotermica	86
2.2.3	Sistemi geotermici a vapore dominante	87
2.2.4	Sistemi geotermici ad acqua ad alta temperatura	88
2.2.5	Sistemi geotermici ad acqua a media temperatura	89
2.2.6	Impatto ambientale dell'energia geotermica	89
2.3	Biomasse moderne	91
2.3.1	Fotosintesi e produzione di energia chimica	92
2.3.2	Potere calorifico, resa energetica e rapporto energetico	93
2.3.3	Biomasse e bilancio dell'anidride carbonica	96
2.3.4	Bioenergie ed emissioni inquinanti	98
2.3.5	Biocarburanti di seconda generazione	100
2.3.6	Biogas	100
2.4	Energia idraulica	104
2.4.1	Funzionamento delle ruote idrauliche	106
2.4.2	Impianti con turbine idrauliche	107
2.4.3	Tipologie di impianti idroelettrici	108
2.4.4	Impatti ambientali dei grandi impianti idroelettrici	113
2.4.5	La pericolosità delle grandi dighe	116
2.4.6	Cambiamento climatico ed energia idraulica	119
2.4.7	Il nuovo idroelettrico	121
2.4.8	Energia marina	124
2.5	Energia eolica	127
2.5.1	I primi aerogeneratori	131
2.5.2	La riscoperta degli aerogeneratori	134
2.5.3	Le principali categorie di aerogeneratori	135
2.5.4	Stima del rendimento degli aeromotori*	141
2.5.5	Componenti degli aerogeneratori	145
2.5.6	Sviluppi tecnologici	148
2.5.7	Parchi eolici	153
2.6	Energia solare	158
2.6.1	Energia solare a bassa temperatura	160
2.6.2	Impianti per la produzione di acqua sanitaria	163
2.6.3	Energia solare a media temperatura	164
2.6.4	Energia solare ad alta temperatura	167
2.7	Energia fotovoltaica	169
2.7.1	Materiali per le celle fotovoltaiche	171
2.7.2	Celle, moduli, stringhe e schiere	173
2.7.3	Moduli e impianti fotovoltaici	174
2.7.4	Costi di generazione dell'energia elettrica	178
2.7.5	Economie di scala nella generazione dell'energia elettrica*	181

2.8	Conclusioni	182
2.9	Bibliografia	185
3	Tecnologie per la decarbonizzazione	189
3.1	La decarbonizzazione	189
3.1.1	Strategie di decarbonizzazione	192
3.1.2	La fusione nucleare in un'ottica di decarbonizzazione	196
3.2	L'energia elettrica come vettore energetico	201
3.2.1	Fonti primarie nella generazione di energia elettrica	201
3.2.2	Fattori di emissione nella generazione di energia elettrica	203
3.3	Nascita dell'industria elettrica	204
3.3.1	Le prime reti elettriche	207
3.3.2	Richiami di elettrotecnica (approssimata)*	209
3.4	Reti tradizionali e reti intelligenti	213
3.4.1	Accumuli a lungo termine	216
3.4.2	Batterie ricaricabili per accumuli a breve termine	217
3.4.3	Qualche dettaglio tecnico sulle batterie ricaricabili*	220
3.4.4	Batterie a flusso per accumuli a medio termine	227
3.4.5	Veicoli elettrici a batteria	229
3.4.6	Pompe di calore	232
3.5	L'idrogeno nel nuovo sistema energetico	237
3.5.1	Produzione di idrogeno blu	240
3.5.2	Idrogeno verde dall'elettrolisi dell'acqua	243
3.5.3	Stoccaggio dell'idrogeno	250
3.5.4	Celle a combustibile ad idrogeno	251
3.6	Conclusioni	252
3.7	Appendice - Cambiamento climatico, pandemia e guerra	257
3.8	Bibliografia	261
	Indice analitico	265