

Salvare il pianeta: energie rinnovabili, economia circolare, sobrietà.

Parte II

(La Chimica e l'Industria, novembre 2018)

Vincenzo Balzani

Università di Bologna

7 Prospettive

7.1 Progressi, ma bisogna fare di più

7.2 Scenari e obiettivi

7.2.1 *International Energy Agency (IEA)*

7.2.2 *Centri di ricerca*

7.2.3 *International Renewable Energy Agency (Irena)*

7.2.4 *Il caso della Svizzera*

7.3 Confronto fra gli scenari

8. La transizione

8.1 Necessaria e inevitabile

8.2 La scienza

8.2.1 *Il ruolo della scienza*

8.2.2 *Fotovoltaico, eolico, batterie*

8.2.3 *Il ruolo della elettricità nei trasporti*

8.2.4 *I biocombustibili: una scelta sbagliata*

8.2.5 *Efficienza e sufficienza*

8.3 L'etica

8.4 L'economia e la finanza

8.4.1 *L'economia*

8.4.2 *La finanza*

8.5 La politica

9. Conclusioni

7. Prospettive

7.1 Progressi, ma bisogna fare di più

Negli ultimi anni diversi fattori hanno contribuito ad evidenziare la necessità della transizione energetica: il sempre più evidente cambiamento climatico, con tutti i danni che comporta; i dati sull'inquinamento e le sue conseguenze sulla salute; l'insorgere di controversie internazionali che fanno temere temporanee limitazioni nell'approvvigionamento di combustibili fossili; la possibilità di raggiungere l'autonomia energetica con le rinnovabili; le incertezze sui prezzi dei combustibili; i miglioramenti tecnologici e la diminuzione generalizzata dei costi delle rinnovabili; la crescente domanda di energia dei paesi in via di sviluppo.

Dal punto di vista tecnico, va segnalato che nel 2016 e nel 2017 la capacità elettrica creata dall'energia solare ha superato quella creata da qualsiasi altro settore e nel 2017 la capacità solare

è aumentata più delle capacità da nucleare e da combustibili fossili, prese assieme. Il progresso nella generazione di energia elettrica con fotovoltaico ed eolico ha incrementato lo sviluppo delle batterie, i cui prezzi sono scesi molto velocemente; si sta così diffondendo la combinazione solare-batterie per avere flessibilità e rapidità di risposta. Il prezzo per l'elettricità generata da energie rinnovabili in molti paesi è minore del prezzo dell'elettricità generata dai combustibili fossili. Più di dieci milioni di persone lavorano nelle energie rinnovabili, 3,4 milioni delle quali nel solare.

E' opinione diffusa, però, che l'obiettivo dell'Accordo di Parigi non sia raggiungibile se la transizione energetica non viene accelerata in modo deciso [17,48]. La ripresa economica, infatti, ha comportato nel 2017 un aumento nella domanda di energia del 2,1%, con un aumento di 1,4% nelle emissioni di CO₂. Anche un esame dettagliato dei progressi fatti mostra che in vari settori non si può essere soddisfatti dei risultati finora raggiunti. La transizione è particolarmente lenta per quanto riguarda l'uso dell'energia per la cottura dei cibi, il riscaldamento e raffreddamento degli edifici e la mobilità, sia delle persone che delle merci. Non bisogna dimenticare, poi, che *"Non ci sono due crisi separate, una ambientale e un'altra sociale, bensì una sola e complessa crisi socio-ambientale che va affrontata in modo integrale: prendendosi cura del pianeta, ma anche combattendo la povertà e restituendo la dignità agli esclusi"* [11]. Parole che riecheggiano nell'Accordo di Parigi [10], dove si sottolinea anche che per ridurre le emissioni i paesi in via di sviluppo hanno urgente bisogno dell'aiuto tecnologico e finanziario delle nazioni più sviluppate, quelle maggiormente responsabili delle difficoltà in cui ci troviamo.

Ecco allora la necessità di definire obiettivi precisi nei vari settori e mappe capaci di individuare le strade per raggiungerli: il 2050 non è molto lontano.

7.2 Scenari e obiettivi

Prevedere e ancor più guidare la transizione energetica è un'impresa molto difficile perché la realtà è in continua evoluzione. Aumenta il numero di abitanti del pianeta; aumentano le esigenze energetiche di miliardi di persone; in molte nazioni la situazione politica è confusa e/o in evoluzione; le decisioni politiche sono influenzate da fattori economici e pressioni sociali, spesso in contraddizione; il prezzo del petrolio, con cui le energie rinnovabili devono competere, ha variazioni imprevedibili; è sempre più evidente che le risorse del pianeta sono limitate, per cui bisogna limitarne l'uso e passare dall'economia lineare all'economia circolare.

Gli scenari, inevitabilmente basati su estrapolazioni, devono quindi essere frequentemente aggiornati e, in ogni caso, vanno sempre considerati con cautela. Ciò nonostante, è importante cercare di prevedere cosa ci può riservare il futuro e ancor più capire l'impatto che avranno nei prossimi decenni le scelte che siamo chiamati a fare oggi. La domanda urgente a cui è necessario rispondere, se vogliamo custodire il pianeta, è: possiamo limitare le emissioni di CO₂ in modo da mantenere l'aumento di temperatura al 2050 sotto i 2°C o, meglio, sotto 1,5 °C? Su tempi lunghi, poi, la domanda che aspetta risposta diventa: è fattibile e sostenibile un mondo che funzioni solo con le energie rinnovabili?

7.2.1 International Energy Agency (IEA)

La International Energy Agency (IEA) è stata fondata nel 1974 dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) in seguito allo shock petrolifero dell'anno

precedente. Lo scopo dell'agenzia, della quale fanno parte una trentina di stati, è sempre stato quello di facilitare il coordinamento delle politiche energetiche per assicurare la stabilità degli approvvigionamenti di petrolio. Da non molti anni IEA ha incominciato ad occuparsi dello sviluppo sostenibile.

Recentemente IEA ha pubblicato i risultati di analisi e previsioni che mettono a confronto due scenari per il periodo 2016-2040 (World Energy Outlook 2017, [49]): il *New Policies Scenario* (NPS), basato sulla situazione attuale e su quanto è possibile prevedere in seguito agli impegni presi dalle varie nazioni dopo la Conferenza di Parigi, e il *Sustainable Development Scenario* (SDS), basato su cosa bisognerebbe fare per raggiungere gli obiettivi che l'ONU si propone riguardo a clima, inquinamento e accesso all'energia per tutti. Lo scenario NPS, cioè quanto ci si attende che accadrà (scenari di questo tipo sono talvolta chiamati BAU, *Business As Usual*), è definito dalla IEA come il più realistico e quindi è quello che più condizionerà le decisioni di politici e investitori nei prossimi anni. Come era già accaduto in precedenti documenti, anche nel World Energy Outlook 2017 IEA mostra di essere fortemente influenzata dalla lobby dei combustibili fossili, cosa che non meraviglia perché due degli autori dell'Outlook sono esperti stipendiati da industrie petrolifere [50].

Secondo IEA, i prossimi anni saranno caratterizzati dalla crescita delle energie rinnovabili, ma ci sarà ancora molto bisogno dei combustibili fossili, in particolare di gas, con specifico riferimento al gas estratto con la tecnica del *fracking* negli USA e esportato come LNG (*Liquid Natural Gas*). Le altre caratteristiche del periodo 2016-2040 saranno un sempre maggior uso di elettricità e l'aumento della efficienza energetica.

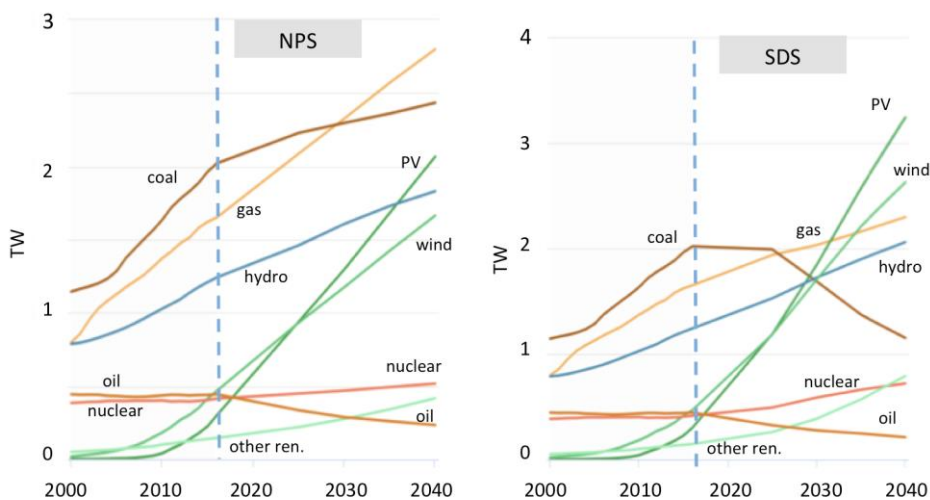


Figura 7. Potenza installata delle varie fonti energetiche nei due scenari New Policy (NPS) e Sustainable Development (SDS) [49].

La Figura 7 mostra l'andamento della potenza installata nei due scenari proposti. Nello scenario NPS, il carbone continuerà ad essere usato in quantità crescenti per produrre energia elettrica, anche se sarà superato dal gas che, secondo IEA, è la fonte di energia più attendibile e più sicura. Ci sarà anche un forte sviluppo di fotovoltaico ed eolico, del tutto insufficiente però per sostituire i

combustibili fossili. Nello scenario SDS il carbone verrà lentamente abbandonato, ma il consumo di gas continuerà ad aumentare, sia pure più lentamente di fotovoltaico ed eolico. La produzione di energia elettrica passerà da circa 25.000 TWh a 39.000 TWh nello scenario NPS, dove sarà generata per più del 50% dai combustibili fossili, e a 35.000 TWh nello SDS (22% combustibili fossili). Il contributo del nucleare (10% nel 2016) rimarrà costante secondo NPS, mentre aumenterà al 15% nello scenario SDS.

Nello scenario NPS, la richiesta di energia primaria salirà da circa 14.000 Mtep a circa 17.000 Mtep nel 2040, mentre rimarrà sostanzialmente invariata nello scenario SDS grazie all'aumento di efficienza. Il contributo dei combustibili fossili, 11.000 Mtep nel 2016 (78%), nel 2040 salirà a 13.000 Mtep (76%) nello scenario NPS, mentre scenderà a 8.500 Mtep nello scenario SDS, rimanendo ugualmente la fonte di energia più importante (61%). Il contributo di fotovoltaico ed eolico, 225 Mtep nel 2016 (1,6%), salirà nel 2040 a 1.100 Mtep nello scenario NPS (6,4%) e a circa 2.000 Mtep nello scenario SDS (14%).

Dal 2016 al 2040, la quantità di CO₂ emessa aumenterà da 32 Gt a 35,7 Gt all'anno nello scenario NPS, mentre diminuirà a 18,3 Gt nel SDS, grazie all'aumento nell'efficienza, al contributo delle energie rinnovabili e al *Carbon Capture and Storage* (CCS), una tecnologia che dovrebbe rendere possibile usare i combustibili fossili anche nelle centrali elettriche e nelle grandi industrie senza provocare emissioni di CO₂. A giudizio di molti esperti, però, la tecnologia CCS non ha alcuna probabilità concreta di svilupparsi [7].

Nel settore dei trasporti, entrambi gli scenari prevedono un aumento nella produzione di veicoli elettrici. Nel 2040, secondo lo scenario NPS saranno circa 277 milioni, mentre secondo lo scenario SDS saranno 874 milioni. Alla stessa data, però, ci saranno in circolazione due miliardi di veicoli, la maggioranza dei quali utilizzeranno ancora combustibili fossili. Questa previsione è in netto contrasto con quella di altri esperti che preconizzano una rapida *clean disruption* nel settore dei trasporti [46].

Nonostante tutte le nazioni aderenti a IEA abbiano firmato l'accordo di Parigi, lo scenario NPS prevede, senza troppo rammaricarsene, che l'accordo non sarà rispettato perché il limite delle emissioni per mantenere l'aumento di temperatura minore di 2 °C o di 1,5 °C sarà superato, rispettivamente, nel 2034 e 2022. Ma anche lo scenario SDS di IEA non è soddisfacente perché porterà a un picco di emissioni verso il 2020, poi a una diminuzione in media del 2,4% ogni anno fino scendere nel 2040 a emissioni inferiori del 43% rispetto ai valori attuali, troppo poco per raggiungere l'obiettivo dell'accordo di Parigi. Anche le raccomandazioni contenute in NPS sulla necessità di fare forti investimenti per la ricerca di nuovo petrolio e gas non sono compatibili con gli obiettivi di Parigi. Infine, contrariamente al principio delle "Responsabilità Comuni ma Differenziate" approvato a Parigi, secondo IEA la maggior parte delle riduzioni delle emissioni dovrà riguardare i paesi in via di sviluppo e non quelli responsabili per la grande quantità di CO₂ già immessa in atmosfera.

7.2.2 Centri di ricerca

Negli ultimi anni sono stati riportati studi dettagliati da parte di molti gruppi di ricerca secondo i quali si possono sostituire completamente, entro il 2050, i combustibili fossili con le energie rinnovabili. Alcuni di questi piani sono stati criticati (si veda, ad esempio, [51]), ma fattibilità della

transizione energetica che prevede solo l'uso di energia elettrica generata dalle rinnovabili nel 2050, senza energia nucleare, è stata recentemente ribadita da una rassegna esaustiva della ricca letteratura scientifica sull'argomento [52].

Lo studio più dettagliato [53] è quello di M.Z. Jacobson della Stanford University che, con 26 co-autori, presenta roadmaps di transizione per 139 paesi del mondo molto più spinte di quelle previste dagli accordi di Parigi. Gli autori sottolineano che le roadmaps da loro illustrate non sono previsioni di quello che potrebbe accadere da oggi al 2050, ma proposte che, se attuate, risolveranno concretamente i problemi del cambiamento climatico, dell'inquinamento e della sicurezza energetica.

Il piano di Jacobson e collaboratori è denominato WWS (*wind, water, sunlight*) in quanto è basato unicamente sull'utilizzo di vento, acqua e sole come sorgenti primarie nel 2050. Sono esclusi il gas e il nucleare (proposti da altri autori come «energie-ponte»), e anche i biocombustibili, le biomasse e le tecnologie per la catturare ed immagazzinare la CO₂. Il piano WWS prevede che i consumi energetici di *tutti* i settori dell'attività umana siano soddisfatti esclusivamente con elettricità fornita dalle energie rinnovabili e distribuita tramite reti, con l'impiego di accumulatori e idrogeno elettrolitico (celle a combustibile) per i trasporti, anche aerei e marittimi.

Secondo il piano WWS, la potenza che sarebbe necessaria nel 2050 se usassimo l'attuale sistema energetico, basato prevalentemente sui combustibili fossili (20.604 TW), sarà ridotta del 42%, per tre motivi (si veda anche Sezione 4): 1) la conversione dell'energia elettrica in lavoro è più efficiente del 23% rispetto all'uso di combustibili fossili; 2) WWS non ha le perdite di efficienza (valutate al 12,6%) legate all'estrazione, al trasporto e alla raffinazione delle fonti fossili; 3) in un sistema tutto elettrico si può contare su un aumento dell'efficienza energetica (6,9%). Il piano, illustrato nella Figura 8, prevede l'80% della conversione entro il 2030 e il 100% nel 2050.

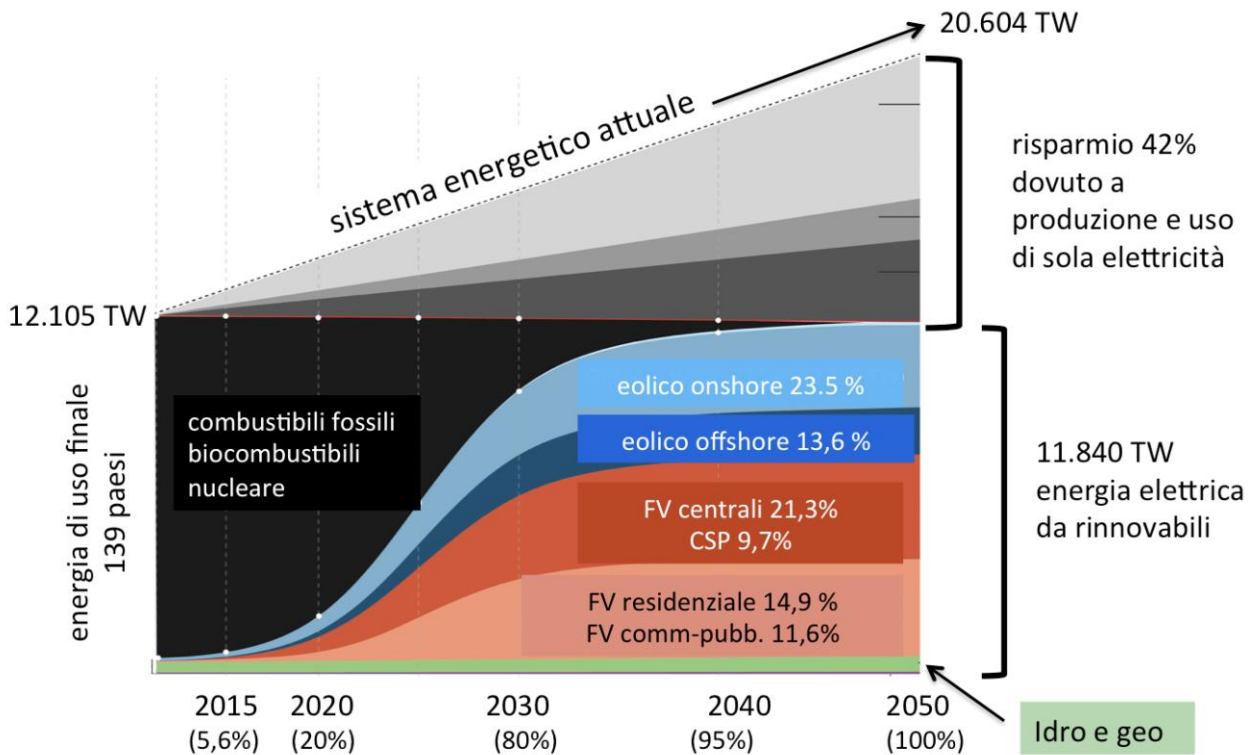


Figura 8. Schema della transizione energetica secondo Jacobson e altri [53]. Per una descrizione dettagliata, si veda il testo e il lavoro originale.

Gli 11.840 TW di potenza elettrica richiesta nel 2050 per le 139 nazioni prese in considerazione saranno forniti principalmente da impianti fotovoltaici di varie dimensioni (48%), eolico *onshore* e *offshore* (37%) e per il 9,7% da impianti solari a concentrazione (*Concentrating Solar Power, CSP*) [53]. Sarà necessario installare fra l'altro 1.840.000.000 impianti fotovoltaici da 5 kW che saranno collocati sui tetti delle abitazioni, sulle tettoie dei parcheggi e sulle autostrade e 1.580.000 impianti eolici *onshore* da 5 MW, distesi sullo 0,9% del territorio che rimarrà usabile per l'agricoltura. Le tecnologie necessarie per sostituire nell'uso finale i combustibili fossili con energia elettrica sono già in gran parte disponibili in commercio, mentre altre (ad esempio, navi e aerei elettrici) sono in via di sviluppo (Sezione 7.2.3) e si prevede che saranno di uso comune fra una ventina d'anni.

La realizzazione del piano WWS diminuirà le emissioni di CO₂, evitando che si superino 1,5 °C di riscaldamento globale nel 2050. Darà a ogni nazione la possibilità di produrre l'energia che consuma e faciliterà l'accesso all'energia per tutti; eviterà anche la morte prematura di circa 3,5 milioni persone causata dall'inquinamento e permetterà un risparmio medio di 5.800 dollari per persona all'anno sulle spese dovute da inquinamento e cambiamento climatico. Creerà circa 25 milioni di posti di lavoro permanenti nelle costruzioni e 27 milioni di posti permanenti per la manutenzione del sistema, per un totale di circa 52 milioni, a fronte di circa 28 milioni di posti persi nelle attività dei combustibili fossili e dell'energia nucleare.

Il piano WWS è estremamente dettagliato [53]. Esamina, paese per paese, i dati disponibili sui consumi energetici attuali e stima la domanda di potenza che ci sarà nel 2050 in ciascun paese

prima e dopo l'elettrificazione di tutti i settori energetici. Poi analizza per ciascun paese la disponibilità di risorse rinnovabili per generare elettricità e propone una Roadmap basata sul mix energetico rinnovabile più adatto per ciascun paese, tenendo conto della disponibilità di suolo, tetti, vento, acqua e situazioni particolari. Un simile, dettagliatissimo piano è stato recentemente formulato anche per 53 città del Nord America [54].

Per l'Italia, l'analisi dettagliata dello studio si può riassumere con i seguenti dati riferiti al 2050 [53]:

- la potenza di 240,8 GW per uso finale prevista sulla base del sistema energetico attuale si ridurrà a 134,9 GW in seguito all'elettrificazione;
- la potenza sarà generata dalle varie fonti rinnovabili in base a queste percentuali:
fotovoltaico nelle sue varie applicazioni 56,7%; eolico *onshore* e *offshore* 26,3%; CSP 11,3%; idroelettrico 4,9%; geotermico 0.6%
- il fotovoltaico residenziale genererà il 16,4% della potenza totale, utilizzando il 67% dei 737 km² di tetti disponibili;
- dal punto di vista economico, si avrà un risparmio di 382 \$/persona/anno sul costo dell'elettricità e un risparmio sui costi dei danni causati da inquinamento e cambiamento climatico per una media di 7.700 \$/persona/anno;
- si eviterà la morte prematura per inquinamento, in media, di circa 20.000 persone all'anno;
- verranno perduti circa 160.000 posti di lavoro nei settori dei combustibili fossili, ma si creeranno circa 300.000 nuovi posti di lavoro permanenti per attività di costruzione e 350.000 per attività di gestione delle energie rinnovabili con un saldo positivo di circa 500.000 posti.

Lo studio conclude notando che la transizione, pur essendo tecnicamente ed economicamente fattibile, incontrerà molti ostacoli di tipo sociale e politico: c'è quindi un grande bisogno di informare le persone su quello che è possibile fare e sollecitarle a portare avanti la transizione nelle loro case e nella loro vita di ogni giorno. In Italia, purtroppo, la Strategia Energetica Nazionale punta fortemente sul gas e sui biocombustibili e il tentativo di informare sulla necessità della transizione energetica solo eccezionalmente arriva al grande pubblico [55]

7.2.3 International Renewable Energy Agency (Irena)

La *International Renewable Energy Agency (Irena)* ha da poco pubblicato il rapporto *Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050* [48]. In questo rapporto, basato sull'analisi e sulle proiezioni delle emissioni di CO₂ dal 2015 al 2050 (Figura 9), vengono confrontate le prospettive di uno scenario di riferimento (*Ref. case*) basato sui piani energetici attuali dei vari paesi, compresi gli impegni presi a Parigi, con quello che si dovrebbe fare (scenario *REmap*) per avere una probabilità del 66% di contenere l'innalzamento della temperatura globale sotto della soglia dei 2°C.

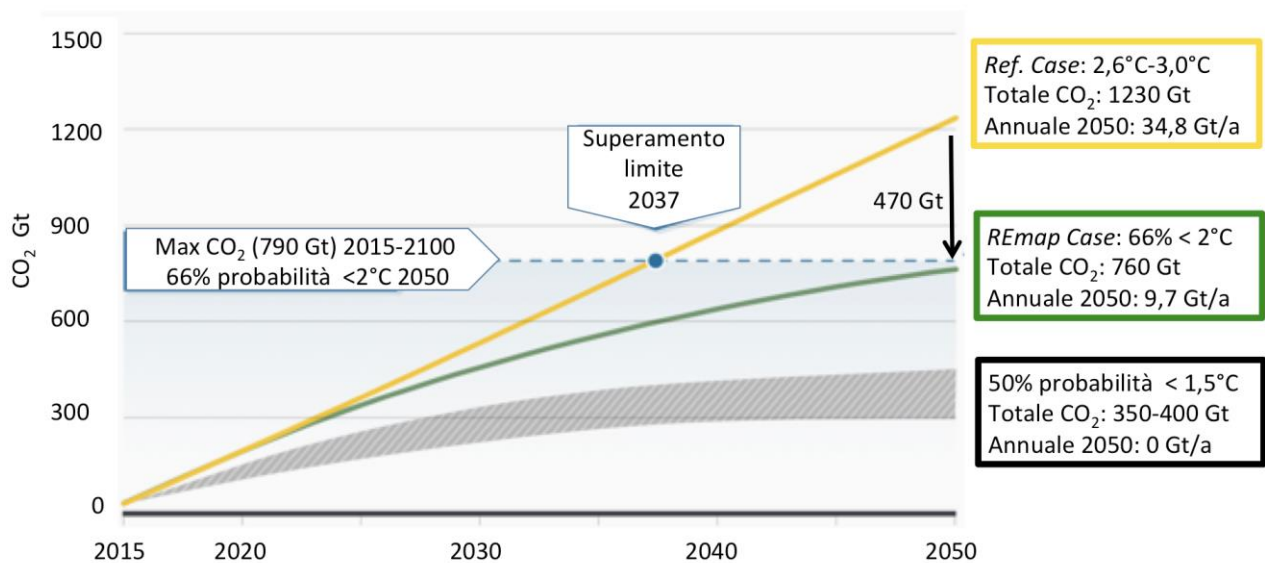


Figura 9. Per avere il 66% di probabilità che l'aumento di temperatura non superi i 2°C nel 2050 è necessario ridurre sostanzialmente le emissioni di CO₂ passando dalla traiettoria *Ref. case* a quella *REmap case*. La striscia tratteggiata si riferisce alla traiettoria che dovrebbe seguire l'emissione di CO₂ per avere il 50% di probabilità di contenere l'innalzamento della temperatura entro 1,5 °C. Per la figura originale, si veda [48].

Per raggiungere l'obiettivo è necessario che la CO₂ immessa nell'atmosfera fra il 2015 e il 2100 non superi 790 Gt (stima lievemente diversa da altre, vedi [30]). Nello scenario di riferimento (*Ref. case*), questo limite sarà raggiunto nel 2037 e nel 2050 le emissioni totali ammonteranno a 1.230 Gt, con un aumento di temperatura di 2,6-3,0 °C. In questo scenario il mix energetico globale nel 2050 sarà ancora fortemente dominato dai combustibili fossili (73% contro il 27% delle rinnovabili). Per rimanere entro i 2 °C bisognerà dunque ridurre le emissioni cumulative di CO₂ di 470 Gt al 2050 (Figura 9). Su base annuale è necessario passare da 34.8 Gt all'anno a 9.7 Gt all'anno nel 2050. Secondo *Irena* il 90% della riduzione di CO₂ necessaria per rimanere nella traiettoria *REmap* si può ottenere (Figura 10) mediante (i) l'uso più esteso delle energie rinnovabili, (ii) l'aumento dell'efficienza energetica e (iii) il passaggio nei consumi finali dai combustibili all'energia elettrica che, come abbiamo visto (Sezione 4), è intrinsecamente più efficiente. Nello scenario *REmap* l'85% della energia elettrica sarà ottenuta da energie rinnovabile. Per ridurre le emissioni di CO₂, ogni settore dell'attività umana che consuma energia dovrà dare un suo contributo, ma mentre alcuni settori si sono sviluppati e continuano a svilupparsi in maniera soddisfacente, altri sono in ritardo.

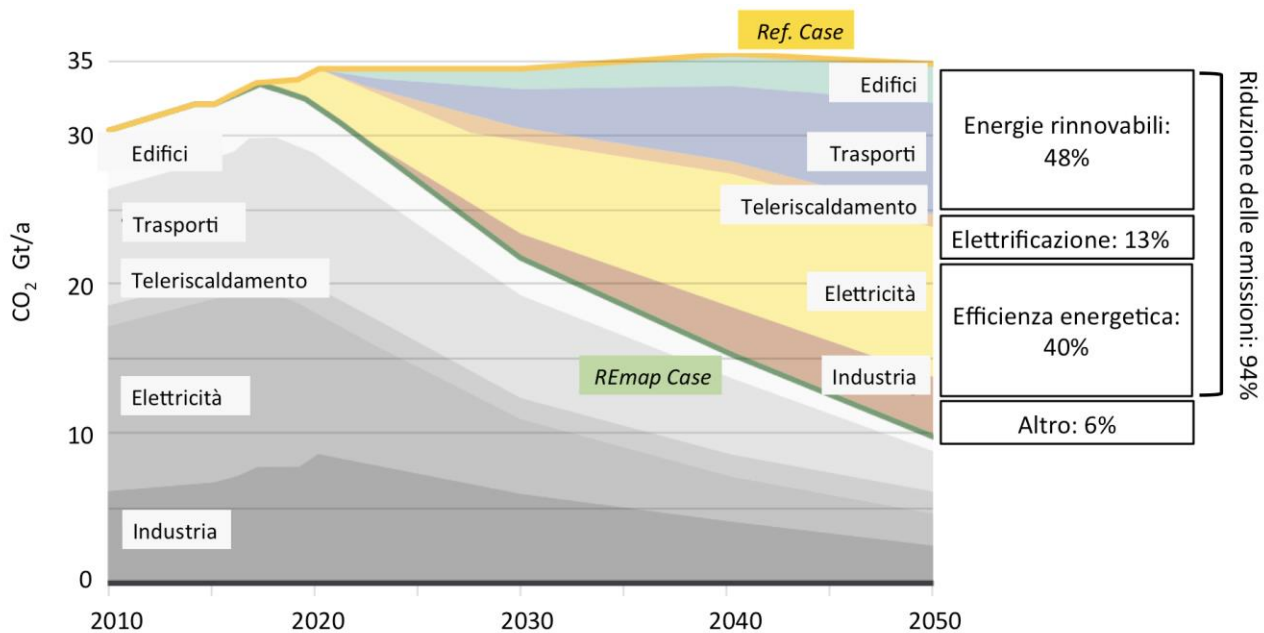


Figura 10. Per seguire la traiettoria dello scenario *REmap*, che permette di limitare l'aumento di temperatura a meno di 2°C, è necessario ridurre le emissioni di CO₂ del 70% rispetto al *Ref. Case*. Questo risultato si può ottenere grazie alle energie rinnovabili e all'efficienza energetica nei vari settori. Per la figura originale, si veda [48].

L'energia primaria aumenterà del 40% nel *Ref. Case*, mentre dovrebbe rimanere sostanzialmente invariata nello scenario *REmap*. Il contributo delle rinnovabili all'energia primaria, oggi circa il 15%, arriverà al 27% nel *Ref. Case*, mentre *REmap* richiede che aumenti al 66%. Più della metà di questo 66% dovrebbe riguardare l'elettricità e circa un terzo i biocombustibili. A causa della sinergia fra energie rinnovabili ed efficienza, con *REmap* l'intensità energetica, che attualmente diminuisce del 1,8% all'anno, diminuirà in media del 2,8% all'anno fino al 2050. Inoltre, mentre il *Ref. case* prevede un aumento del 20% dell'energia primaria, che nel 2050 sarà fornita in massima parte (73%) dai combustibili fossili, lo scenario *REmap*, sempre a causa della sinergia fra rinnovabili ed efficienza, non prevede aumento di energia primaria nonostante l'aumento della popolazione e lo sviluppo economico e prevede che al 2050 il contributo delle rinnovabili sarà il 66%.

Come abbiamo visto nella Sezione 6, il settore dell'elettricità rinnovabile è in forte sviluppo negli ultimi anni (circa 170 GW aggiunti nel 2017) e in media cresce di circa l'8% all'anno dal 2010 [41]. Nel settore degli edifici, l'energia elettrica coprirà il 56% dei consumi e l'estensione dei collettori solari per generare acqua calda passerà da 622 a 6.299 milioni di metri quadrati. In questo settore può giocare un ruolo importante l'efficienza energetica, ma bisogna estendere gli interventi che ora riguardano solo l'1% all'anno degli edifici esistenti. Oggi, l'uso delle rinnovabili non è sufficientemente sviluppato neppure nell'industria e nei trasporti. Nell'industria, secondo *REmap* l'elettricità fornirà il 43% dell'energia, mentre le biomasse e i collettori solari forniranno buona parte dell'energia termica. In questo settore, bisogna cercare nuove soluzioni per i processi troppo energivori. Nel campo dei trasporti bisognerebbe passare rapidamente dall'uso dei motori a combustione interna a quelli elettrici che sono tre-quattro volte più efficienti [46]. Secondo Irena, nello scenario *REmap* i veicoli elettrici aumenteranno da 1,24 milioni a più di un miliardo nel 2050,

ma ci sarà anche un forte sviluppo nel consumo di biocombustibili liquidi (da 129 a 902 miliardi di litri) e di biometano (da 0,4 a 23 miliardi di metri cubi).

Dal punto di vista economico, il costo della transizione richiederà forti investimenti che saranno più che compensati dai risparmi derivanti da minore inquinamento, minori danni alla salute e minori danni ambientali [48]. *Irena* prevede infatti che la transizione secondo lo scenario *REmap* stimolerà l'economia, aumenterà dell'1% il Prodotto Interno Lordo su scala mondiale e aumenterà del 15% il benessere economico, ambientale e sociale delle persone. La transizione secondo *REmap* comporterà, rispetto a *Ref. Case*, la perdita di 7,4 milioni di posti di lavoro nei settori dei combustibili fossili che saranno più che compensati dai 19 milioni di nuovi posti di lavoro nelle energie rinnovabili, nell'aumento dell'efficienza e nell'adeguamento della rete elettrica.

Il rapporto *Irena* sottolinea che il progresso oggi è troppo lento e che la sua accelerazione è importante perché non solo limiterebbe i danni alla salute e all'ambiente, ma ridurrebbe anche la necessità di ricorrere in futuro a tecnologie molto problematiche come l'energia nucleare e la cattura e sequestro di CO₂ (CCS). Inoltre *Irena* sottolinea che la transizione energetica deve distribuire equamente costi e benefici, in linea con quanto stabilito dall'Accordo di Parigi.

7.2.4 Il caso della Svizzera

Nel 2002 il Governo svizzero, nell'ambito della *Strategia per uno sviluppo sostenibile*, approvò il piano "2000-watt society", un'idea elaborata qualche anno prima dagli scienziati dei politecnici federali svizzeri (ETH e EPFL) per limitare le emissioni di CO₂, diminuire le importazioni di energia e uscire dal nucleare. Questo piano, inserito nella "Strategia energetica 2050", è stato poi incluso nella "Legge sull'energia 2016" che è stata approvata (favorevoli 58%) con un referendum il 21 maggio 2017.

Il punto focale della strategia svizzera è la forte riduzione del consumo di energia pro capite, dagli attuali 6000 W a 2000 W di potenza, solo 500 dei quali da combustibili fossili. Negli Stati Uniti la potenza pro capite è 12.000 W, in Europa 6000 W, in Cina 1,5 W, in India 1 W, in Bangladesh 0.5 W. 2000 watt è approssimativamente la potenza pro capite usata in Europa negli anni '60 per tutti i servizi energetici forniti da tutte le fonti di energia (fossili, idroelettriche, atomiche, biomasse). La potenza pro-capite di 2000 W corrisponde in un anno all'energia di 17.520 kWh o 63 GJ o 1,5 tep per persona.

Secondo il Governo svizzero (e la maggioranza della popolazione), la riduzione nel consumo di energia si può ottenere estendendo l'uso delle energie rinnovabili e aumentando l'efficienza energetica [56]; quindi, non è incompatibile con la crescita materiale (PIL). Gli obiettivi del piano sono [57]: l'abbandono graduale dell'energia atomica (32% dell'elettricità nel 2016) e parziale dei combustibili fossili; la diminuzione delle importazioni di energia (75% dell'energia usata nel 2016) mediante lo sviluppo delle energie rinnovabili (da 1,7 TWh del 2015 a 24,2 TWh nel 2050); la riduzione del consumo di energia totale da 232 TWh a 115 TWh grazie anche all'aumento dell'efficienza. Le energie rinnovabili e l'efficienza saranno finanziate con fondi provenienti dal consumo di elettricità e dalle tasse sui combustibili fossili. Sono previsti una maggiore decentralizzazione delle fonti energetiche e numerosi interventi tecnologici quali, ad esempio, l'adozione di *smart meters*.

Lo scenario di una società a 2000 W presenta vari aspetti [58]. Secondo il Governo sarà il risultato di una transizione basata su progressi della tecnologia e su decisioni politiche efficaci. In realtà, come vedremo anche nella sezione 7.2.5, per diminuire il consumo di energia non si può prescindere dal concetto di sufficienza, cioè da una spontanea (o forzata) rinuncia al consumismo [59]. Nello scenario 2000 W ci sono anche implicazioni culturali, perché usualmente si pensa che il progresso sia collegato all'aumento e non alla riduzione dei consumi energetici; è inoltre un vero e proprio messaggio politico in quanto mostra ai paesi in via di sviluppo che si può essere un paese avanzato anche con consumi energetici limitati.

7.3 Confronto fra gli scenari

Gli scenari discussi sopra, assieme ad altri che non è stato possibile discutere per brevità [60], pur nelle loro differenze e contraddizioni evidenziano alcuni punti molto importanti.

- 1) Attualmente l'andamento delle emissioni è fuori da ogni traiettoria che possa permetterci di raggiungere l'obiettivo di un innalzamento minore di 2 °C nel 2050.
- 2) E' urgente intensificare gli sforzi per accelerare i tempi della transizione che in ogni caso non si completerà prima del 2050.
- 3) La transizione è tecnicamente fattibile e porterà anche benefici economici, ma non avverrà spontaneamente; è necessario un forte impegno della società per stimolare decisioni politiche.
- 4) La lobby dei combustibili fossili si sta accorgendo che la transizione è ineluttabile e quindi sta cambiando strategia: si rassegna ad abbandonare progressivamente il carbone e punta molto sul metano come energia ponte.
- 5) Il nucleare non potrà dare un sostanziale contributo alla transizione a causa dei costi troppo elevati, dei problemi che pone (fissione) e dell'incertezza sui tempi (fusione).
- 6) Il pilastro della transizione è la sinergia fra le energie rinnovabili e l'efficienza.
- 7) L'energia di uso finale del futuro è l'energia elettrica.
- 8) Il passaggio alle energie rinnovabili comporterà una decentralizzazione del sistema energetico.
- 9) La transizione porterà a un aumento dei posti di lavoro e porterà anche vantaggi economici oltre a quelli relativi a salute e ambiente.
- 10) La transizione incontrerà molti ostacoli a causa non solo di interessi economici e politici, ma per mancanza di informazione e di conoscenza.

Ci sono poi opinioni nettamente differenti sulla necessità o meno di ricorrere a energie ponte (gas naturale), sulla necessità/utilità di sviluppare i biocombustibili, sul mantenimento di una quota più o meno grande di energia dai combustibili fossili, sulla rapidità dello sviluppo dei veicoli elettrici e sulla necessità di ridurre il consumo di energia.

8. La transizione

8.1 Necessaria e inevitabile

L'energia, indispensabile per ogni attività umana, è fondamentale anche per l'industria che produce cibo: l'agricoltura. La domanda di energia crescerà inevitabilmente in futuro a causa di fattori che è praticamente impossibile contenere: l'aumento della popolazione e quindi la necessità di produrre cibo per le persone che nasceranno e il miglioramento delle condizioni di vita che è il risultato, ma anche la causa di un maggiore consumo di energia. Attualmente la

popolazione del pianeta è di circa 7,5 miliardi di persone, che saliranno a poco meno di 10 miliardi verso il 2050 e più 11 miliardi nel 2100. Il maggiore aumento si avrà nei paesi poveri: l'Africa nel 2100 avrà 3,8 miliardi di abitanti, di cui 800 milioni in Nigeria. Come sarà possibile nutrire 11 miliardi di persone se non fermiamo il cambiamento climatico che già oggi riduce l'estensione dei terreni coltivabili e la fertilità del suolo? [61].

Attualmente il consumo mondiale medio individuale di energia si attesta a 1.8 tep/anno, con forti disuguaglianze [7] (USA 9 tep; Europa 4,5 tep; Cina 1,1 tep; India 0,7 tep). Come dimostra il grafico della Figura 8, continuando con il sistema energetico attuale basato sostanzialmente sui combustibili fossili, il consumo energetico raddoppierebbe nel 2050 aumentando la temperatura della terra di 2,6-3 °C senza intaccare il problema delle disuguaglianze. Anche negli scenari basati su quanto è possibile prevedere in seguito agli impegni presi dalle varie nazioni dopo la Conferenza di Parigi il consumo di energia primaria aumenterà: da circa 14.000 Mtep a circa 17.000 Mtep con ancora 78% di fossili nel 2040 (IEA, *NPS*) e a circa 18 Mtep con ancora 73% di fossili nel 2050 (*Irena, Ref. Case*). E' chiaro che si è molto lontani dall'obiettivo dell'Accordo di Parigi. Se invece svilupperemo le energie rinnovabili, il consumo di energia primaria rimarrà sostanzialmente costante, però ancora con un contributo più o meno grande dei combustibili fossili (IEA, *SDS; Irena, Remap*). Se invece si passasse al 100% di energia rinnovabile con soltanto energia elettrica come energia di uso finale, l'energia primaria diminuirebbe del 42% (Figura 8) e non si avrebbero più emissioni di CO₂, come richiesto dall'accordo. Questi dati dicono che bisogna accelerare la transizione per portarla a termine prima del 2050 non solo per evitare cambiamenti climatici sempre più forti, ma anche per non rimanere, a tempi più lunghi e con il clima già compromesso, senza la grande quantità di energia finale di cui necessità l'umanità.

Come è già stato sottolineato, la transizione è un problema molto complesso; per portarla a termine è necessaria un'azione convergente degli attori principali che governano la nostra civiltà: scienza, etica, economia, finanza e politica. E, naturalmente, il coinvolgimento diretto delle persone.

8.2 La scienza

8.2.1 Il ruolo della scienza

La scienza ha fatto e continua a fare la sua parte per promuovere e sostenere la transizione energetica. Ha denunciato e combattuto le falsità propagate dalla lobby dei combustibili fossili, ha dimostrato la correlazione fra aumento della temperatura del pianeta ed emissioni di CO₂, continua ad indagare sui vari fenomeni collegati al cambiamento climatico nel tentativo di controllarli, ha collaborato con papa Francesco nella *Laudato si* per far conoscere alle persone i pericoli generati dall'uso dei combustibili fossili e ha sostenuto, potremmo dire costretto i politici a raggiungere un accordo, quello della COP21 di Parigi, che farà epoca. La scienza, anche se poco ascoltata, ha cercato di spiegare in mille modi a governanti e semplici cittadini che la transizione energetica è inevitabile e che non c'è più tempo da perdere se vogliamo evitare grandi guai.

La scienza, soprattutto, ha generato due tecnologie, fotovoltaico ed eolico, che sono oggetto dei più rapidi sviluppi industriali di sempre e che possono risolvere, con il contributo marginale di altre tecnologie, il problema che abbiamo innanzi.

Per quanto riguarda i combustibili fossili, sarebbe bene che non ci fossero più progressi scientifici:

né nella ricerca di nuovi giacimenti, destinati a rimanere inutilizzati, né nella loro estrazione, per non causare ulteriori danni, come sta accadendo con il metodo *fracking*, e neppure nel megalomane tentativo di sequestrare e imprigionare le emissioni di CO₂ con metodi inefficaci e pericolosi (CCS). Se vogliamo salvare il pianeta, la strada da percorrere è soltanto una: smettere al più presto di usare i combustibili fossili.

Oggi il prezzo dei combustibili fossili varia in modo incontrollabile, ma, come accade per tutte le materie prime estratte dalla terra, con il tempo non potrà che aumentare, mentre nel caso delle energie rinnovabili, come accade per tutte le tecnologie, i costi continueranno a scendere. Anche lasciando a parte i danni causati dall'uso dei combustibili fossili, siamo già arrivati all'incrocio fra queste due curve, molto prima di quanto si poteva immaginare. In Colorado quest'anno un'asta indetta per sostituire centrali a carbone con parchi fotovoltaici o eolici ha ricevuto 800 offerte: il valore medio delle offerte è stato di 2,1 centesimi di dollaro per kWh, compreso l'accumulo [61]. A questi prezzi, la costruzione di nuove centrali a carbone è fuori mercato perché il solo costo di *funzionamento* di una centrale a carbone è superiore al costo di *costruzione e funzionamento* di un impianto eolico o fotovoltaico. Lo stesso vale per le centrali nucleari.

8.2.2 Fotovoltaico, eolico, batterie

La ricerca per migliorare le prestazioni delle energie rinnovabili continua a dare frutti. I pannelli al silicio (95% della produzione nel 2017, efficienza 18-20 %) in futuro verranno sostituiti con moduli flessibili di uso più generale o con celle a giunzione multipla che in laboratorio hanno già raggiunto il 46% di efficienza [45]. Nel frattempo, la quantità di celle fabbricabili con un lingotto di silicio puro è aumentata del 50%, grazie al progresso tecnologico che ha permesso di ridurre lo spessore della lamina da 320 a 180 micrometri; tra breve si raggiungeranno spessori di 150 micrometri, usando il taglio con fili diamantati.

Nel settore dell'energia eolica, con il passare del tempo aumenta l'altezza e di conseguenza la potenza delle turbine, per due motivi (Figura 11): la potenza eolica dipende dal volume dell'aria che attraversa la turbina, che aumenta con il quadrato del raggio dell'elica ed inoltre, eliche più grandi richiedono pale più alte, che hanno il vantaggio di intercettare vento più veloce.

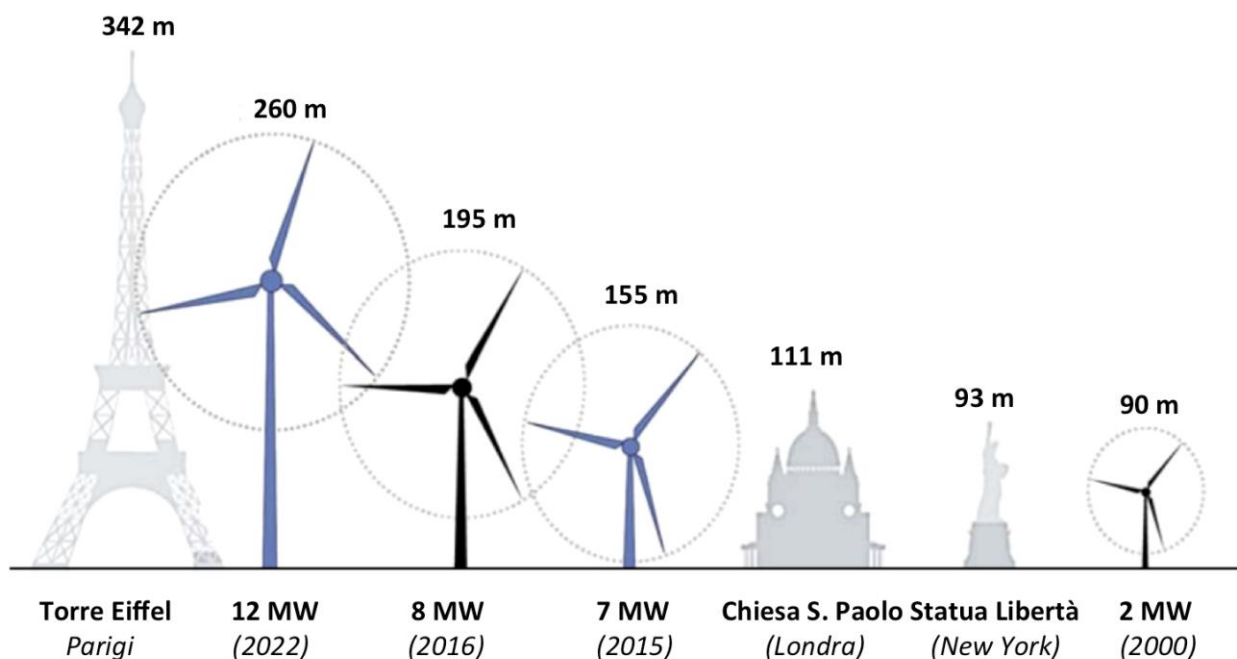


Figura 11. La potenza delle turbine eoliche aumenta all'aumentare delle dimensioni. Per dettagli, vedi testo (adattata, da [61]).

Eolico e fotovoltaico sono energie intermittenti e quindi, per ottimizzare le loro prestazioni, è necessario utilizzare sistemi di accumulo, principalmente batterie. Le alternative, in un mondo che usa solo elettricità [53], sono il pompaggio idroelettrico e la produzione di idrogeno elettrolitico poi riconvertito in energia elettrica con celle a combustibile. Fino al 2010 il prezzo delle batterie è diminuito molto più lentamente del costo dell'energia prodotta da eolico e fotovoltaico, frenandone lo sviluppo. Sembrava non fosse possibile migliorare la situazione, ma dal 2010 al 2018 il costo delle batterie è diminuito da 1000 \$ per kWh a 165 \$ per kWh (Figura 12), cioè di circa l'85% in otto anni, più velocemente dei pannelli solari e delle turbine eoliche. Le previsioni sono per un'ulteriore diminuzione del 50% entro il 2025, quando saranno prodotti circa 30 milioni di auto elettriche [62]; molto probabilmente dopo il 2025, quando entreranno in commercio batterie Li-ione allo stato solido che avranno peso e volume dimezzati, si avrà un altro calo del 50% che porterà il costo a 40-80 \$ per kWh [61].

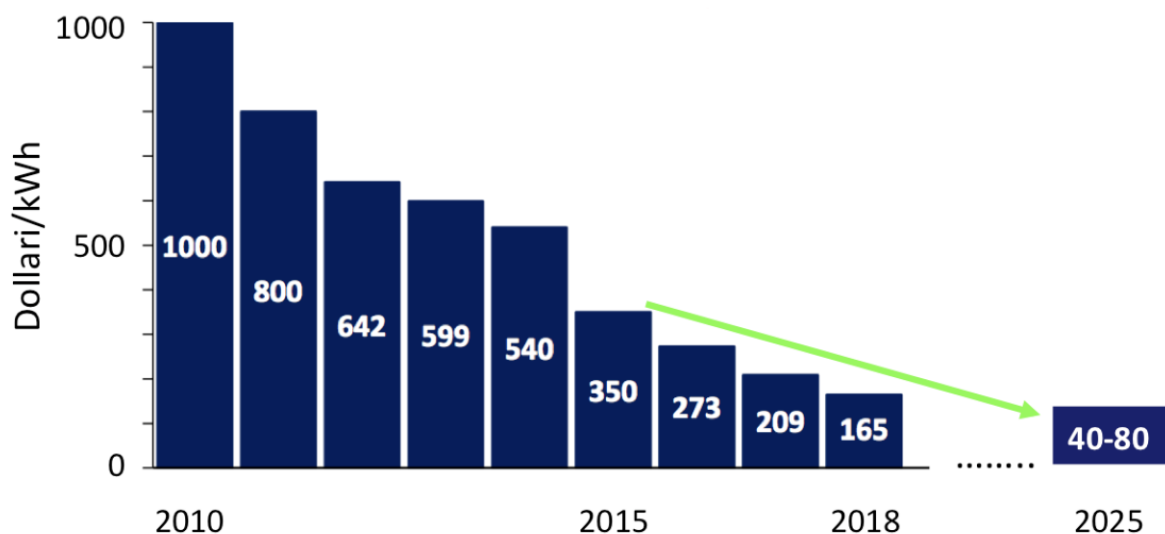


Figura 12. La diminuzione del costo delle batterie al litio (adattata, da [61])

La forte e continua diminuzione dei costi degli impianti fotovoltaici ed eolici e delle batterie pone una triplice sfida all'uso di combustibili fossili per generare elettricità: nei costi di produzione, nella flessibilità e nella rapidità di risposta ad esigenze improvvise. L'utilizzo di batterie per accumulare elettricità è infatti già diventato competitivo anche per usi domestici e industriali.

8.2.3 Il ruolo della elettricità nei trasporti

Ancor più importante è il fatto che la diminuzione nel costo delle batterie mette in crisi l'ultima carta su cui contavano le industrie petrolifere: l'uso di combustibili nei trasporti. In questo campo, gli scenari *SDS* di IEA (874 milioni di veicoli elettrici su due miliardi di veicoli nel 2040) e *REmap* di Irena (più di un miliardo di veicoli leggeri e pesanti e 2 miliardi di moto o biciclette a 2/3 ruote nel 2050) dovranno essere rapidamente aggiornati. Molti analisti, infatti, sono concordi nel prevedere, come abbiamo visto, che nei prossimi anni si avrà quella che i tecnici chiamano una "clean disruption" nel settore della mobilità [46,62]. I veicoli elettrici, infatti, hanno molti vantaggi rispetto a quelli alimentati da motori a combustione interna. Oltre a non produrre né CO₂ né sostanze inquinanti, il motore elettrico è 3-4 volte più efficiente, il costo dell'energia che consuma è tre volte inferiore, ha un numero di parti in movimento almeno 100 volte inferiore, quindi è meno soggetto a guasti e richiede spese di manutenzione molto minori. L'ultimo ostacolo che si oppone a un aumento esponenziale delle auto elettriche è il loro prezzo, in gran parte determinato dal costo della batterie. Un'auto elettrica che percorre 6 km per ogni kWh di elettricità immagazzinata richiede una batteria da 50 kWh per avere un'autonomia di 300 km. Una simile batteria, che oggi costa 10.000 dollari, nel 2025 costerà circa 4.000 dollari e renderà competitivo il prezzo delle auto elettriche rispetto a quelle a benzina o gasolio. Nel 2040 il 90% delle automobili saranno elettriche e l'energia accumulata nelle loro batterie potrà anche essere

riversata, a un prezzo conveniente, nella rete per bilanciarla (V2G, *vehicle-to-grid*). Auto elettriche autonome (cioè senza conducente) copriranno il 40% della mobilità condivisa. Sono in corso anche tentativi per sfruttare direttamente l'energia solare che "piove" sul veicolo. L'azienda cinese Hanergy ha messo in commercio una vettura alimentata attraverso pannelli ultrasottili e ultraleggeri di arseniuro di gallio a doppia giunzione (efficienza 36,2%) posti sul tetto e sul cofano [63].

Secondo alcuni analisti, la sorpresa più grande verrà dalla rapida diffusione di autobus elettrici per rispondere all'accresciuta esigenza di passare da trasporti privati a trasporti pubblici. In Cina ogni cinque settimane vengono messi in strada 9.500 bus elettrici, un numero uguale a quello della intera flotta di bus di Londra. Gli autobus elettrici in funzione sono già più di 300.000 e si prevede che dal prossimo anno costeranno meno di quelli convenzionali utilizzati nelle città. E' probabile che nel 2040 l'80% di tutti gli autobus saranno elettrici [64]. In Svezia sono in costruzione autostrade intelligenti che ricaricano wireless i veicoli elettrici pesanti.

Per rispettare l'Accordo di Parigi, è importante anche una forte diffusione, già iniziata, di motori elettrici per veicoli marini, in quanto si stima che la CO₂ generata da una nave porta container sia paragonabile a quella di 75.000 automobili. Nello scorso aprile la *International Maritime Organization* ha annunciato una strategia per ridurre le emissioni di CO₂ del 40% entro il 2030 (rispetto al 2008) [65]. In Cina, ma anche in Belgio e Olanda, sono già in uso navi elettriche per trasportare container [66]. Anche per aerei elettrici con pilota (da non confondere con i droni) ci sono progressi. Nel 2016 Siemens, Airbus e Rolls-Royce hanno costituito un gruppo di lavoro di 200 ingegneri per sviluppare questo settore [67]. Si stima che nel 2028 il settore degli aerei elettrici avrà un giro d'affari di 7 miliardi e che un significativo sviluppo si avrà entro 20 anni, in tempo per la completa elettrificazione dell'energia di uso finale [53]. L'elettrificazione del trasporto aereo sarà uno degli ostacoli più grandi per portare a termine la transizione. E' una delle attività umane in cui bisognerà "fare meno" (Sezione 7.2.5).

8.2.4 I biocombustibili: una scelta sbagliata

Sempre nel settore dei trasporti meraviglia che alcuni scenari, come REmap di Irena e la stessa Strategia Energetica Nazionale italiana, incoraggino l'uso di biocombustibili per limitare i combustibili fossili. I biocombustibili non possono giocare un ruolo importante nella transizione energetica semplicemente perché l'efficienza della fotosintesi naturale è molto bassa (0.1-0.2%) e la ricerca scientifica mostra che non è possibile aumentarla in modo significativo [5]. E' stato calcolato che l'efficienza di conversione dei fotoni del sole in energia meccanica delle ruote di un'automobile (*sun-to-wheels efficiency*) è più di 100 volte superiore per la filiera che dal fotovoltaico porta alle auto elettriche rispetto alla filiera che dalle biomasse porta alle auto alimentate da biocombustibili (Figura 13; per confronto, benzina e gasolio hanno efficienze di conversione giacimento-ruota del 10-15%).

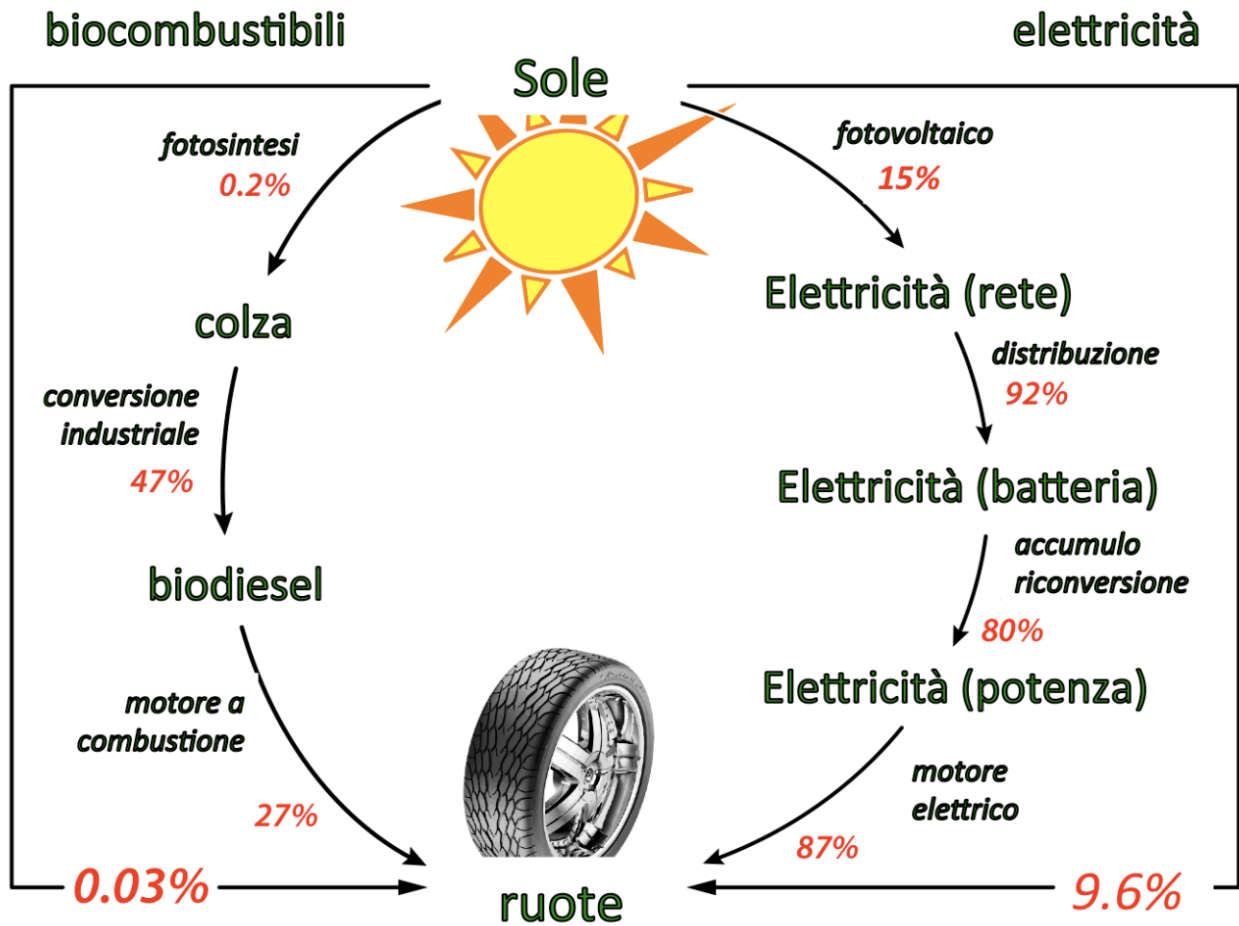


Figura 13. Schema che mostra l'efficienza di conversione dei fotoni del sole in energia che muove le ruote per un veicolo a combustione interna alimentato con biodiesel e un veicolo elettrico alimentato da fotovoltaico (adattato da [68]).

In generale, per rappresentare un'alternativa credibile ai combustibili fossili i biocombustibili devono (a) fornire un guadagno energetico ($EROI > 1$), (b) offrire benefici dal punto di vista ambientale, (c) essere economicamente sostenibili e (d) non competere con la produzione di cibo. Molto spesso queste condizioni, in particolare la prima e l'ultima, non sono verificate [5]. I biocombustibili più diffusi sono il bioetanolo, ottenuto dal granturco o dalla canna da zucchero, e il biodiesel ricavato da oli vegetali, al cui uso sono connessi gravi problemi come si è già accennato nella Sezione 6.5.2. La produzione di bioetanolo dal granturco, così diffusa negli USA, è una cosa senza senso dal punto di vista energetico perché il processo ha $EROI^1$ molto vicino a uno, o addirittura inferiore a uno. È stato calcolato che negli USA per soddisfare l'intero bisogno di combustibili con bioetanolo bisognerebbe coltivare a granturco il 130% delle terre arabili [7], mentre utilizzando la filiera del fotovoltaico sarebbe sufficiente utilizzarne lo 0,7%, un valore peraltro del tutto teorico perché i pannelli fotovoltaici si possono collocare sui tetti di edifici e infrastrutture e su superfici non coltivabili. Per completare il quadro bisogna aggiungere che la combustione di etanolo, anche se miscelato, produce sostanze tossiche fra cui ozono. Recentissime stime [69] prevedono quindi una diminuzione, non un aumento [48] della produzione di etanolo da granturco.

8.2.5 Efficienza e sufficienza

Lo scopo che si prefiggono le misure di efficienza è quello di ridurre la quantità di energia usata (quindi, le emissioni di CO₂) mediante una diversa progettazione ed uso di tecnologie e di processi di vario tipo, come quelli connessi a trasporti, riscaldamento/raffreddamento di edifici, illuminazione, ecc. [56]. L'efficienza energetica è un punto di forza di tutte le politiche dei paesi sviluppati. Ad esempio, l'Unione Europea conta di ridurre il consumo energetico aumentando e certificando l'efficienza energetica degli edifici, delle automobili, degli elettrodomestici, delle lampade, ecc. L'*International Energy Agency*, come abbiamo visto nella Sezione 6.2.1, considera l'efficienza come il fattore più importante per raggiungere la sostenibilità energetica.

A prima vista sembra che l'efficienza produca vantaggi molto consistenti. Ad esempio, nella UE dal 1998 al 2012 frigoriferi e congelatori sono diventati più efficienti del 75%, le lavatrici del 63% e le lavastoviglie del 50% [70]. In realtà, nonostante i progressi nell'efficienza, il consumo energetico nella UE non diminuisce e anche negli USA si consuma ogni anno sempre più energia in modo sempre più efficiente. Fra gli esempi più studiati, la sostituzione delle lampade a filamento con lampade LED, sei volte più efficienti, ha portato all'aumento del consumo di elettricità per illuminazione.

Un motivo per spiegare l'aumento nel consumo di energia viene individuato nel cosiddetto "effetto rimbalzo", secondo cui un aumento di efficienza energetica incoraggia un maggior uso di servizi forniti dall'energia [59,70]. A volte accade anche che, nei paesi sviluppati, il denaro risparmiato grazie all'efficienza energetica, ad esempio nel riscaldamento domestico, venga utilizzato a fine d'anno per altri scopi più energivori, ad esempio un viaggio aereo.

il concetto di efficienza viene criticato non solo perché ignora l'effetto rimbalzo, ma anche per motivi più generali [70,71]. Ad esempio, l'approccio della UE al problema del risparmio energetico non consiste nel misurare una reale diminuzione dei consumi rispetto al passato, ma nel valutare l'aumento di consumo energetico in futuro (ad esempio, nel 2030). In altre parole, si dà per certo che il consumo di energia aumenterà e l'efficienza viene misurata su quanto i consumi che si verificheranno nel 2030 si discosteranno dalle previsioni [70]. L'efficienza, cioè, viene misurata come energia che non è stato necessario usare. In questo modo, più alta è la previsione per il consumo energetico che ci sarà, più grande sarà l'efficienza energetica quando verificheremo che i consumi saranno minori delle previsioni. Ma già prevedere un aumento di consumi significa accettare che i consumi aumentino. Significa cioè ammettere che l'attuale livello di vita non è negoziabile. Questo è il punto fondamentale quando si discute di sostenibilità

Per chiarire la critica al concetto di efficienza, consideriamo un esempio fra i molti che si potrebbero fare [70]. L'UE ha calcolato che le etichette energetiche per gli asciugabiancheria saranno in grado di "farci risparmiare fino a 3,3 TWh di elettricità entro il 2020" rispetto a quella che avremmo consumato senza le etichette. Ma il punto importante riguardo gli asciugabiancheria non è questo. Anziché conoscere quanto le nuove etichette degli asciugabiancheria ci faranno risparmiare usandoli, dovremmo chiederci quanta energia risparmieremo, realmente, asciugando i panni su uno stendino da bucato. Più aumenterà l'efficienza degli asciugabiancheria, maggiore sarà il numero di persone che li userà e, soprattutto, sarà sempre meno facile sarà tornare allo stendino. Ecco allora uno dei tanti casi in cui l'aumento di efficienza è addirittura controproducente [71].

Se si vuole realmente risparmiare energia, bisogna incominciare dalle persone, non dalle cose. Bisogna partire dal concetto di *sufficienza*, cioè convincere le persone, e se necessario obbligarle, a ridurre l'uso dei servizi energetici. Per consumare meno, bisogna "fare meno": meno viaggi, minor velocità, meno luce, meno riscaldamento, case più piccole Se poi tutto quello che si usa dopo aver adottato la strategia della sufficienza è più efficiente, si avrà un risparmio ancora maggiore: è il fare meno (sufficienza) con meno (efficienza).

8.3 L'etica

Gli scienziati della Exxon avevano scoperto nel 1977 che l'uso dei combustibili fossili causa il cambiamento climatico e avevano subito avvertito i vertici della compagnia che, però, ignorarono l'avvertimento per molti anni [61,72]. Nel 1988 anche gli scienziati della Shell si resero conto che l'uso dei combustibili provoca il cambiamento climatico. La cosa incominciò a preoccupare le compagnie petrolifere per la minaccia che ne derivava ai loro affari, non per le conseguenze che il cambiamento climatico avrebbe potuto avere per il pianeta. Così nel 1989 Exxon, BP e Shell formarono la *Global Climate Coalition*, con il subdolo obiettivo di disseminare false informazioni e dubbi. Negli anni seguenti le compagnie petrolifere negarono che ci fosse un cambiamento climatico [61].

Da quando, molti anni dopo, hanno dovuto ammettere che il cambiamento climatico c'è ed è causato dai combustibili fossili, hanno incominciato a sostenere che si può controllare o almeno limitare con la cattura e sequestro della CO₂ (CCS), miscelando i biocombustibili ai combustibili fossili, sostituendo il metano al carbone nelle centrali termoelettriche e, ultima spiaggia, usando metano e il gas liquido, anziché gasolio nel settore dei trasporti. Nella lobby dei fossili c'è ancora chi sostiene che la fame di energia in un mondo popolato da 11 miliardi di abitanti non potrà essere soddisfatta senza utilizzare petrolio e metano e che, in ogni caso, il problema energia deve essere risolto dal libero mercato e non da accordi come quello di Parigi, definiti "parole al vento" [12].

In questi ultimi tempi le compagnie petrolifere si stanno accorgendo che la transizione è ineluttabile e quindi hanno cambiato strategia: mirano a rallentarla per poter godere ancora per qualche decina d'anni dei benefici economici collegati al commercio dei combustibili. Ammettono che è necessario sviluppare le energie rinnovabili, ma sostengono che sono immature, costose e inaffidabili perché intermittenti: quindi è necessario accompagnare il loro sviluppo utilizzando ancora i combustibili fossili, particolarmente il più "innocente" fra questi, il metano, come energia ponte. Abbiamo visto nella Sezione 5.4 che si tratta di una soluzione scientificamente, e quindi anche eticamente, inaccettabile. Le compagnie petrolifere si preoccupano molto del loro futuro: cercano di produrre utili finanziari per i loro azionisti e di accumulare riserve. I loro manager sembrano vivere su un altro pianeta, quello dei loro affari e del loro egoismo; sembrano dimenticare che oggi c'è in gioco qualcosa di molto più importante: proteggere l'umanità intera dalla catastrofe del cambiamento climatico [61].

Papa Francesco ha sottolineato nell'enciclica *Laudato si'* [11] la responsabilità etica di chi ha causato e di chi non combatte il cambiamento climatico. Ha anche scritto che "*I combustibili fossili devono essere sostituiti progressivamente e senza indugio, ma la politica e l'industria rispondono con lentezza, lontane dall'essere all'altezza delle sfide mondiali*". Ha poi aggiunto: "*Molti di coloro*

che detengono più potere economico o politico sembrano concentrarsi soprattutto nel mascherare i problemi dell'inquinamento e dei cambiamenti climatici". Osservazione, questa, che calza a pennello per il diesel gate, lo scandalo che ha coinvolto Volkswagen e altre case automobilistiche. Nel recente discorso del 9 giugno 2018 ai dirigenti di imprese petrolifere [73], papa Francesco ha manifestato la sua preoccupazione per i ritardi nel ridurre le emissioni di CO₂ e ha ricordato che "la responsabilità sociale delle imprese deve avere ben presente il perseguimento del bene comune a lungo termine, evitando opportunismi e cinismi volti ad ottenere nel breve periodo piccoli risultati parziali, ma che scaricherebbero sul futuro costi altissimi e danni altrettanto rilevanti". Ha detto anche che "vi sono motivazioni etiche profonde per incamminarci urgentemente verso una transizione energetica globale" e ha ricordato che "sono i poveri a soffrire maggiormente delle devastazioni del riscaldamento globale" e che "la transizione verso l'energia accessibile e pulita è una responsabilità che abbiamo verso milioni di nostri fratelli e sorelle nel mondo, verso i Paesi poveri e verso le generazioni che verranno". Ha infine sottolineato che "un tale rinnovamento richiede leader con una profonda e acuta comprensione del fatto che la Terra costituisce un unico sistema e che l'umanità, ugualmente, è un unico insieme". Quest'ultima frase è sembrata a molti un richiamo al presidente Trump che con l'egoistico ed insensato "America first", uno slogan purtroppo imitato da leader di altre nazioni, ha deciso di uscire dall'Accordo di Parigi. A Trump, ma anche a tutti i leader che erigono muri anziché costruire ponti, vogliamo ricordare un bella frase di un suo predecessore, Jimmy Carter: "Ho una vita sola e una sola possibilità che essa serva a qualcosa: la mia fede mi chiede di fare tutto quello che posso, ovunque io sia, ogni volta che posso, per tutto il tempo che posso, con tutto quello che ho per migliorare il mondo".

8.4 L'economia e la finanza

La parola economia deriva dal greco *oikos*, "casa", inteso anche come "beni di famiglia". Per economia si intende un sistema che organizza l'uso delle risorse ("familiari", quindi limitate o finite) al fine di soddisfare al meglio i bisogni individuali o collettivi.

Per finanza si intende, invece, l'insieme dei processi con cui imprese, enti, organizzazioni e stati gestiscono i propri beni, in particolare il denaro, in investimenti e finanziamenti. Economia e finanza sono strettamente interconnesse nel sistema capitalistico in cui viviamo, con la finanza che condiziona fortemente l'economia. Lo svolgimento rapido e efficace della transizione energetica dipende molto da questa interconnessione.

8.4.1 L'economia

L'attuale modello di sviluppo è basato sull'economia lineare che è, già di per sé, un ossimoro perché economia contiene il concetto di "limitato" mentre lineare presuppone il contrario. Infatti l'economia lineare (Figura 14) parte dall'ingannevole presupposto che le risorse siano illimitate e che non ci siano problemi per la collocazione dei rifiuti [74]. Come indicato nella Figura 13, l'economia lineare è sorretta dall'energia dei combustibili fossili, con tutti i problemi che ne derivano. E' basata sul consumismo, è la "civiltà" dell'usa e getta. Si tratta di un sistema insostenibile, come ammonisce papa Francesco nell'enciclica *Laudato si'* [11]: "Il ritmo di consumo, di spreco e di alterazione dell'ambiente ha superato le capacità del pianeta, in maniera tale che lo stile di vita attuale, essendo insostenibile, può sfociare solamente in catastrofi". Il problema

riguarda le risorse rinnovabili che consumiamo in quantità molto maggiori di quanto la biocapacità della Terra può fornirci ogni anno, e ancor più le risorse non rinnovabili. Nel 1980, le risorse di materiali estratte dalla Terra ammontavano a 40 miliardi di tonnellate; nel 2017 sono salite a circa 89 miliardi di tonnellate, pari a 33 kg per persona al giorno. L'uso delle risorse minerarie cresce in media del 3-4% all'anno e molte di esse hanno già superato il picco di produzione [75]. Il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti ha identificato sei elementi critici per le industrie americane: disprosio, europio, erbio, neodimio, ittrio e indio. Nell'Unione Europea, che è povera di risorse minerarie e ha industrie maggiormente diversificate, gli elementi critici sono più di venti. Per contrastare la scarsità di certi elementi, finché non ci si convince che è necessario "fare meno cose" (sufficienza, Sezione 7.2.5), si può cercare di ricorrere a tre strategie: 1) inventare processi che utilizzano minori quantità di materiali; 2) individuare elementi più abbondanti che possano sostituire nei processi industriali quelli che scarseggiano; 3) riciclare.

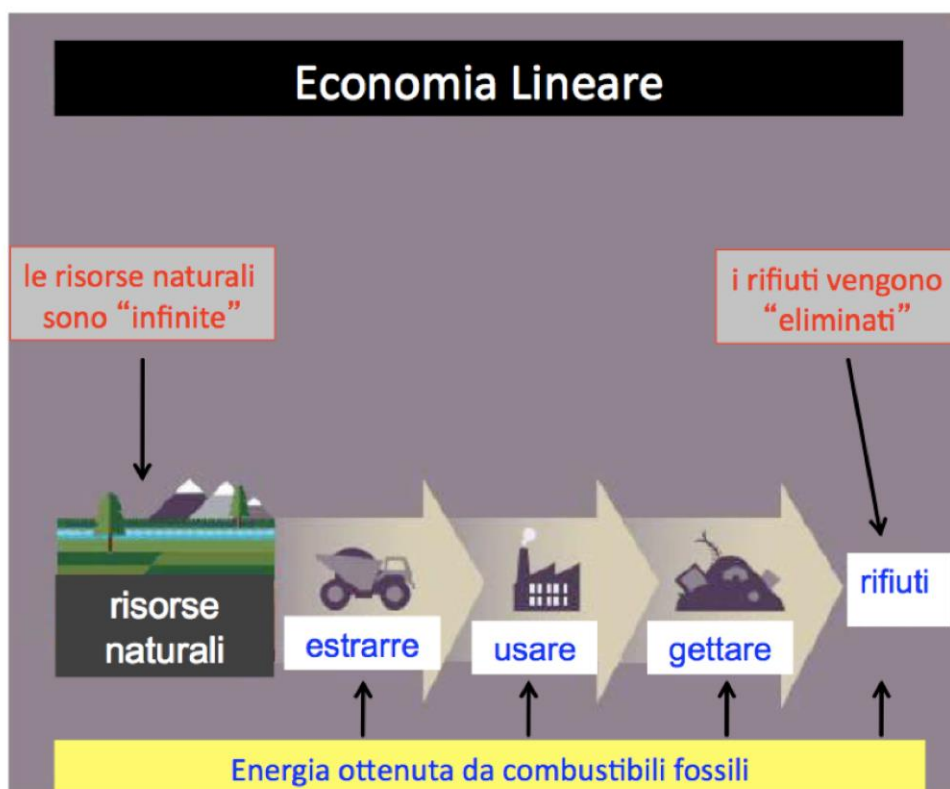


Figura 14. Schema del sistema economico lineare oggi dominante, basato sul falso presupposto che le risorse siano infinite e che non ci siano problemi per la collocazione dei rifiuti.

Dal 2018 la *BP Statistical Review of World Energy* [24] riporta anche la produzione annuale e le riserve di materiali fondamentali per lo sviluppo delle energie rinnovabili, come litio, cobalto e terre rare. Il previsto enorme sviluppo delle batterie per le auto elettriche è minacciato infatti, non solo dalla scarsità di litio, ma anche di un altro componente fondamentale, il cobalto [76], le cui riserve utilizzate al ritmo attuale (non a quello molto più alto previsto nei prossimi anni!) coprirebbero i consumi di soli 52 anni [24]. Preoccupa anche il rame, che in un'auto elettrica è

presente in quantità 5 volte superiore a quella di un'auto convenzionale. Insostenibile è anche la produzione di rifiuti. Non possiamo sbarazzarcene collocandoli in un non esistente "non luogo", dobbiamo tenerceli qui sul pianeta, con molte conseguenze negative. Abbiamo già visto che la CO₂ riversata in atmosfera causa il cambiamento climatico e che il particolato fine generato bruciando combustibili fossili provoca ogni anno un gran numero di morti premature. Sappiamo anche che non è possibile trovare luoghi in cui mettere in sicurezza le scorie ad alta radioattività delle centrali nucleari, pericolose per migliaia e migliaia di anni, e che i rifiuti derivanti dalla degradazione delle materie plastiche che si sono accumulate nell'Oceano Pacifico formano un' "isola" grande come l'Europa. Un modello di sviluppo sostenibile non può spingersi oltre le capacità ambientali di rigenerazione delle risorse e di assorbimento dei rifiuti. Su questi presupposti si basa l'economia circolare (Figura 15): le materie prime devono venir usate in quantità minima (risparmio) e in modo intelligente (efficienza) per fabbricare cose ideate non solo per essere usate, ma anche per essere riparate, riusate, raccolte e riciclate al fine di ottenere nuove materie utili. Riciclare sarà la soluzione, ad esempio, per la scarsità di litio e cobalto [76]. Per fornire energia all'economia circolare non si possono utilizzare, ovviamente, i combustibili fossili, risorsa non rinnovabile, ma bisogna far conto su energie rinnovabili e pulite. Ecco quindi che la necessaria transizione dalla insostenibile economia lineare all'economia circolare è condizionata dalla transizione energetica discussa in dettaglio nelle precedenti sezioni. Questo è un altro fondamentale motivo per portare a termine rapidamente la transizione energetica.

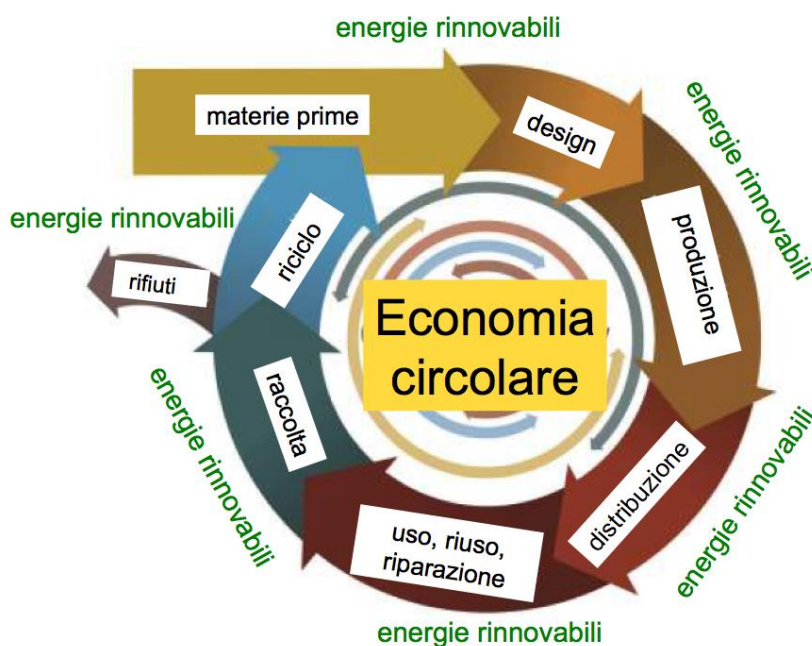


Figura 15. Schema di un sistema economico circolare basato sul concetto che le risorse naturali sono limitate ed è limitato anche lo spazio in cui mettere i rifiuti. Tutta l'energia usata è ricavata da fonti rinnovabili.

Il passaggio dall'economia lineare all'economia circolare è il punto centrale della strategia per

costruire un futuro sostenibile, l'unico futuro possibile. Naturalmente, la sostenibilità ha anche un aspetto sociale che richiede la condivisione delle risorse fra tutti gli abitanti della Terra. Bisogna quindi risolvere il problema delle disuguaglianze, che il sistema economico attuale tende ad ampliare. Un sistema economico sostenibile ha quindi due confini; da un lato deve garantire ad ogni uomo i diritti fondamentali, dall'altro deve rispettare limiti planetari [77].

Riguardo la necessità/possibilità di ridurre inequità e disuguaglianze non è che manchino le idee [78]; manca il coraggio della politica, frenata dagli interessi del capitalismo, di metterle in atto.

8.4.2 La finanza

L'attività finanziaria è importante per accrescere il benessere economico globale, ma l'architettura dell'attuale sistema finanziario sta causando disordini e danni perché anziché servire il bene comune, è diventata un'attività autoreferenziale e a corto termine, finalizzata cioè a massimizzare i profitti dei capitali investiti e gli stipendi dei manager. Lo dicono molti economisti e anche un importante documento della Chiesa cattolica, pubblicato il 17 maggio 2018 [78]: il progressivo scollamento fra attività finanziaria ed etica ha portato la finanza ad allontanarsi dal servizio all'economia reale per sviluppare invece attività speculative. Lo dimostra il fatto che mentre nel 1980 l'insieme degli attivi finanziari a livello mondiale era pressoché eguale al PIL mondiale, nel 2015 il primo era diventato dodici volte superiore al secondo. Un mercato finanziario di questo tipo uccide il futuro perché non si cura né dell'ambiente, né delle persone né, tanto meno, delle prossime generazioni. E' così accaduto che mentre il benessere economico globale si è accresciuto negli ultimi decenni con una misura e una rapidità mai sperimentate prima, nello stesso tempo abbiamo assistito alla degradazione dell'ambiente e all'aumento delle disuguaglianze tra i vari paesi e all'interno di ciascun paese.

Su scala globale, gli investimenti necessari per uscire dall'era dei combustibili fossili e sviluppare le energie rinnovabili per salvare il pianeta sono attualmente di circa 300 miliardi di dollari all'anno [60]. Questa cifra è minore di quella spesa dagli USA per disastri ambientali causati nel 2017 nel loro territorio. Si stima che per completare la transizione la spesa annua dovrà aumentare fino a raggiungere i 2000 miliardi di dollari nel 2050.

L'economia basata sull'uso dei combustibili fossili si è sviluppata, particolarmente negli ultimi 50 anni, grazie a enormi investimenti finanziari sia da parte di stati sovrani, che di imprese multinazionali. Fino all'Accordo di Parigi gli investimenti nelle energie rinnovabili erano ridicoli rispetto a quelli nel settore dei combustibili fossili. Dopo l'accordo la situazione ha iniziato a cambiare per un qualche risveglio di valori etici [79], ma anche perché i risultati delle borse indicano che l'indice *carbon free* rende più dell'indice globale. Nel dicembre 2017, 237 compagnie con un capitale aziendale di 81,7 mila miliardi di dollari, fra le quali 20 delle 30 banche più importanti, hanno approvato le raccomandazioni della *Task force on Climate-related Financial Disclosures* (TCFD) che mettono in guardia gli investitori sui rischi collegati ai cambiamenti climatici [80]. Raggruppate nel *Global Catholic Climate Movement*, più di 20 organizzazioni cattoliche hanno deciso di spostare i loro investimenti dai combustibili fossili alle energie rinnovabili [81] e 130 grandi compagnie si sono impegnate ad utilizzare energia 100% rinnovabile [82]. Fra queste, Google e Apple hanno raggiunto l'obiettivo, rispettivamente, il 4 aprile e il 10 aprile di quest'anno (Figura 16).



Figura 16. Il centro direzionale della Apple a Cupertino (California) è alimentato totalmente da energie rinnovabili provenienti, in parte, dal fotovoltaico installato sul tetto che fornisce 17 MW.

Ormai la strada è tracciata e si vede chiaramente che ci sono enormi opportunità per investimenti nelle energie rinnovabili [61]. Un articolo pubblicato sulla rivista *Fortune* dopo l'Accordo di Parigi si chiedeva: *Can the fossil fuel industry survive a climate change agreement?* Una simile domanda hanno iniziato ora a porsi i grandi investitori. Si chiedono quale proporzione degli investimenti fatti dalle aziende petrolifere è a rischio *stranding* e anche perché queste continuino ancora a cercare gas e petrolio. Una delle ultime stime [83] indica che se l'Accordo di Parigi sarà implementato il gruppo dei fossili rischia di perdere come minimo 1600 miliardi di dollari fra il 2018 e il 2025. C'è chi si spinge oltre e, dopo aver affermato che l'industria dei fossili è inesorabilmente destinata a scomparire per le riserve che ha accumulato e che non potrà usare, si chiede in che modo morirà. La speranza è che lo faccia abbastanza velocemente, così da non peggiorare la situazione del clima [84]. Gli analisti notano che anche la grande industria petrolifera ha una montagna di debiti, più di duemila miliardi di dollari, che non potrà mai pagare perché è stretta in una tenaglia: se tiene bassi i prezzi per vendere di più, accelera il momento della bancarotta, coinvolgendo anche alcune banche; se invece tiene i prezzi alti, a breve potrà meglio sostenere il debito, ma nel medio termine rende più veloce la transizione alle energie rinnovabili. In seguito a queste considerazioni, e anche ai richiami per una finanza etica [78,79], gli investitori nel settore dei combustibili fossili cominciano a preoccuparsi e alcuni hanno già iniziato a disinvestire. Fra questi, il *Fondo Sovrano Norvegese*, *Rockefeller Brothers Fund*, *UK Pension Funds*, *BNP Paribas* e grandi compagnie di assicurazioni come *Allianz*. La tendenza a disinvestire dai fossili e a sostenere lo sviluppo delle energie rinnovabili si sta estendendo ad aziende di grandi e piccole dimensioni, ma tutto questo avviene ancora troppo lentamente. Il sindaco di New York, oltre ad aver disinvestito dai fossili 4 miliardi di dollari dei fondi pensione, ha anche fatto causa alle maggiori compagnie petrolifere chiedendo il rimborso per i danni causati dai cambiamenti climatici

e per le spese sostenute dai cittadini per resilienza e adattamento [85]. L'incombere di azioni legali riguardo la responsabilità del cambiamento climatico potrebbe essere un fattore importante per accelerare il disinvestimento dal settore dei fossili e investimenti nel settore delle rinnovabili.

8.5 La politica

L'accordo raggiunto nel dicembre 2015 alla COP21 di Parigi è stato uno straordinario successo della politica a livello internazionale. In un mondo sempre più diviso, praticamente tutte le nazioni hanno capito che il cambiamento climatico è un problema gravissimo che interessa tutti e che è possibile affrontare solo con l'impegno di tutti. Al di là della poca concretezza degli impegni presi su base volontaria, l'accordo ha segnato una svolta storica di cui forse non tutti si sono resi conto: L'Antropocene, l'Era dell'Uomo, iniziata e caratterizzata da un intenso uso dei combustibili fossili, ha accettato la progressiva, inevitabile rinuncia a questa fonte energetica [7].

E' importante che l'accordo sia entrato in vigore, nonostante il ritiro della nazione più potente della Terra e le pressioni di gruppi di potere economici talmente forti da condizionare in molti paesi (in modo esplicito come in USA o implicito come in Italia) la politica interna ed estera.

A due anni dall'entrata in vigore dell'Accordo di Parigi, in attesa delle prime verifiche previste per il 2023, non sembra che la transizione proceda con la necessaria rapidità (Sezione 6), anche se nei primi mesi del 2018 si sono notati alcuni interessanti sviluppi.

- Molti paesi hanno fatto leggi che si ispirano direttamente all'accordo [86].
- Nel contesto degli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite (*Sustainable Development Goals, SDG*), è stata creata la *Sustainable Mobility for All (SUM4ALL)*, una nuova alleanza strategica globale che mira a implementare gli *SDG* nel settore dei trasporti.
- La *Global Electric Vehicles Initiative* ha lanciato la campagna EV30, ponendosi come obiettivo una quota di mercato del 30% per veicoli elettrici entro il 2030.
- In occasione della COP23 di Bonn, è stata lanciata la *Powering Past Coal Alliance* che comprende già più di 60 paesi con l'obiettivo di eliminare le centrali termoelettriche a carbone entro il 2030.
- Nel marzo 2018 una coalizione di industrie ha chiesto al neo presidente (austriaco) della UE di sostenere una serie di provvedimenti a favore dello sviluppo delle rinnovabili, fra cui l'obiettivo di almeno il 35% di energie rinnovabili entro il 2030, in modo da fornire certezze agli operatori.
- Nel giugno 2018, in occasione del secondo *Ministerial on Climate Action (MoCA)* 23 paesi (di cui otto della UE) hanno sottoscritto un documento in cui chiedono che la COP24 che si terrà in dicembre a Katowice alzi gli obiettivi salva-clima in modo da rispettare pienamente gli accordi di Parigi.
- Sempre in giugno, i paesi europei che fanno parte del "Gruppo per la crescita verde" hanno invitato la Commissione europea ad aggiornare l'impegno dell'Unione in occasione della COP24; lo scopo è di limitare il riscaldamento globale di non oltre 1.5 °C entro il 2050.

Qualche buona notizia riguardo l'impegno della politica per lo sviluppo delle energie rinnovabili è giunta negli ultimi mesi da molte parti del mondo.

L'Unione Europea per il 2030 ha fissato a 32% la quota di rinnovabili, a 32,5% l'efficienza energetica con clausola di revisione al rialzo nel 2023 e sembra pronta a ridurre le emissioni di CO₂ del 45%, puntando ad un l'obiettivo di zero emissioni nette per il 2050.

La Cina, con politiche molto efficaci (vedi, ad es., [87]) ha tagliato del 46% l'aumento delle

emissioni di anidride carbonica rispetto al 2005, raggiungendo con tre anni di anticipo l'obiettivo fissato per il 2020. Alla Global Energy Interconnection Conference 2018 svoltasi a Pechino è stato presentato un progetto cinese per una "via della seta elettrica", cioè per il trasporto a lunga distanza dell'energia prodotta dalle fonti rinnovabili [88].

In India, nell'ultimo anno la potenza installata delle rinnovabili ha superato quella degli impianti a carbone; cosa ancor più importante, in seguito alla rapida diminuzione dei costi per fotovoltaico ed eolico, si è dovuto riconoscere che il 20% degli impianti a carbone sono fuori mercato [89]. Il governo ha anche eliminato le tasse doganali sui pannelli fotovoltaici importati.

Nel Regno Unito, mentre gli impianti nucleari sono in forte difficoltà, le fonti rinnovabili hanno generato il triplo dell'energia prodotta dal carbone e il numero delle persone favorevoli allo sviluppo della energia solare e eolica ha raggiunto l'85% .

Fra le altre iniziative in corso in Africa, una delle più importanti è quella del piano che stanno lanciando 11 paesi per produrre energia elettrica nelle aree desertiche, con una capacità produttiva stimata di 10 mila megawatt, da destinare a 250 milioni di persone non connesse sui 400 milioni residenti nella zona frontaliere con il Sahara [90].

L'Arabia Saudita, in collaborazione con la giapponese SoftBank, a partire da quest'anno e entro il 2030 costruirà con 200 miliardi di dollari un impianto fotovoltaico che raggiungerà i 200 GW (sì, avete letto bene, GW!), cento volte più grande di qualsiasi impianto progettato finora [91].

In generale, però, non si può essere soddisfatti dello stato di avanzamento della transizione energetica. Metter giù programmi e accordi, o anche attuare qualche iniziativa di grande rilievo sono cose relativamente facili che i politici amano fare. Ora però, scesi dal palcoscenico della COP21, dove sotto i riflettori dell'opinione pubblica hanno fatto a gara nell'apparire uno più "ecologico" dell'altro, i leader dei vari paesi, se vogliono contribuire a salvare il pianeta, devono dimostrare con fatti concreti non solo di onorare, ma anche di saper andar oltre (Sezione 7) gli impegni presi a Parigi. Non sarà semplice, perché specialmente a livello nazionale *"... è sempre più facile scorgere come, di fronte al crescente e pervasivo potere di importanti agenti e grandi networks economico-finanziari, coloro che sarebbero deputati all'esercizio del potere politico, faticano nel rispondere alla loro originaria vocazione di servitori del bene comune"* [78].

Purtroppo, le notizie che vengono in questi ultimi mesi dal nostro paese, che avrebbe solo da guadagnare dalla transizione energetica [92], non sono confortanti. Ad esempio: inizio esplorazioni petrolifere dell'Eni in Alaska, nuovo giacimento di gas scoperto da ENI in Egitto, nuovi impegni Saipem per ricerche petrolifere in tutto il mondo, perforazioni *onshore* e *offshore* nella zona dell'alto Adriatico, una seconda bioraffineria a Gela e nuovi metanodotti, il tutto nel quadro di una Strategia Energetica Nazionale che punta più su metano e biocombustibili che sull'energia del sole e del vento.

9. Conclusioni

Viviamo sulla Terra, una specie di astronave che viaggia nell'infinità dell'Universo; l'unico rapporto che ha con l'esterno è la luce che riceve dal Sole, risorsa fondamentale per la vita dei 7,5 miliardi di passeggeri. Nessuno dei passeggeri può scendere, se non morendo, e molti, nascendo, continuano a salire a bordo. L'astronave Terra non può rifornirsi di risorse, né sbarazzarsi dei rifiuti che vi si accumulano. Da tutto ciò deriva che le risorse di cui disponiamo, eccetto l'energia solare, sono

limitate ed è limitato anche lo spazio in cui possiamo collocare i rifiuti. E' incredibile come questa innegabile realtà venga spesso ignorata, anche da economisti e politici.

Quanto emerge dalle precedenti sezioni è che siamo in un periodo difficile della storia. Dopo aver goduto per più di un secolo dell'energia dei combustibili fossili, abbondante e a basso prezzo, abbiamo capito che il suo uso causa la degradazione del pianeta e che quindi dobbiamo smettere di usarla. Dopo esserci tanto esaltati per il "progresso", ci stiamo accorgendo che il nostro modello di sviluppo, il consumismo, su un'astronave che deve viaggiare incessantemente è insostenibile. Lo è anche dal punto di vista sociale: promuove la competizione, induce a non curarsi degli altri, causa la perdita dell'idea di bene comune, allarga sempre più la forbice della disuguaglianza. Sappiamo bene che disuguaglianza vuol dire disagio, malessere, migrazioni, rivoluzioni e guerre.

Le preoccupazioni di scienziati e filosofi si possono riassumere in una frase di Hans Jonas: *"... è lo smisurato potere che ci siamo dati, su noi stessi e sull'ambiente, sono le immani dimensioni causali di questo potere ad imporci di sapere che cosa stiamo facendo e di scegliere in quale direzione vogliamo inoltrarci"* [93]. Sono le stesse preoccupazioni che riecheggiano nell'ammonizione di papa Francesco: *"Non ci sono due crisi separate, una ambientale e un'altra sociale, bensì una sola e complessa crisi socio-ambientale; ... ciò che sta accadendo ci pone di fronte all'urgenza di procedere in una coraggiosa rivoluzione culturale"* [11].

La nostra è la prima generazione che si rende conto della situazione di grave crisi in cui ci troviamo e quindi è anche la prima (qualcuno dice che potrebbe essere l'ultima) che può e deve cercare rimedi. E' una crisi generata dai ricchi, che però colpisce maggiormente i poveri.

Se vogliamo continuare a vivere sulla Terra, dobbiamo scegliere la strada della sostenibilità ecologica e sociale. La sostenibilità ecologica richiede anzitutto una transizione energetica: l'abbandono dei combustibili fossili e lo sviluppo delle energie rinnovabili. Come abbiamo visto, questa transizione è già avviata ed è possibile portarla a termine, sia tecnicamente che economicamente, entro il 2050.

La transizione fermerà il cambiamento climatico, eviterà la morte prematura di molte persone, aumenterà il numero di posti di lavoro e porterà anche benefici economici. Porterà inoltre vantaggi dal punto di vista sociale perché le nazioni più povere, quelle più colpite dai cambiamenti climatici, sono le più ricche di energie rinnovabili. Le tecnologie molto efficaci, offerte dalla scienza per utilizzare le abbondanti energie rinnovabili a nostra disposizione, trovano però limiti nelle risorse materiali necessarie per metterle in opera. Quindi non potremo disporre di tutta l'energia che ci farebbe comodo avere.

La transizione energetica non avverrà spontaneamente; richiede, anzi, un forte impegno perché è ostacolata dalla lobby dei combustibili fossili, da speculazioni finanziarie e da controversie economiche e politiche.

E' poi necessaria un'altra transizione, che non può prescindere dal compimento della transizione energetica: la transizione dall'economia lineare dell'usa e getta alla economia circolare, basata su un impiego più consapevole e più efficiente delle risorse, su una minore produzione di rifiuti e sul loro recupero per creare nuove risorse.

Tutto questo però non è ancora sufficiente perché, se vogliamo vivere in pace nella "casa comune", l'astronave Terra, è assolutamente necessario ridurre le disuguaglianze che affliggono l'umanità, sia su scala nazionale che globale. Dovremmo, come dice papa Francesco *"indignarci per le enormi disuguaglianze che esistono tra di noi. Non ci accorgiamo più che alcuni si trascinano in una miseria"*

degradante, mentre altri non sanno nemmeno che farsene di ciò che possiedono" [11]. Per ridurre le disuguaglianze bisogna compiere una terza transizione, integrata alle due precedenti: una transizione *culturale* dal consumismo alla sufficienza e alla sobrietà, che è la qualità essenziale di ogni relazione con le risorse, con i rifiuti, con gli altri e con se stessi. La sobrietà libera l'uomo dalla frenesia dell'accumulo e lo rende capace di una fruizione condivisa.

Cosa fare, quindi? La prima cosa è informare le persone, in particolare i giovani, sulla situazione in cui ci troviamo e sulle grandi sfide che abbiamo dinnanzi. Poi dobbiamo chiedere a tutti, cominciando da noi stessi, di agire in modo fermo e responsabile.

Alla scienza dobbiamo chiedere innovazione, ma non per fare aumentare i consumi, bensì per diminuirli. Abbiamo bisogno di prodotti durevoli, riparabili, riciclabili. Abbiamo bisogno di innovazione per ridurre i rifiuti e gli sprechi, per utilizzare al meglio le energie rinnovabili, per rimediare i danni causati dall'uso dei combustibili fossili, per contribuire ad appianare le disuguaglianze e porre fine al degrado sociale.

All'economia dobbiamo chiedere di non degradare l'ambiente e di ridare dignità al lavoro; alla finanza, di abbandonare le speculazioni, di rimettere al centro di ogni operazione il rispetto dell'uomo e dell'ambiente; a chi gestisce enormi quantità di denaro di disinvestire dai combustibili fossili e di investire nello sviluppo delle energie rinnovabili.

Ai politici dobbiamo chiedere di non preoccuparsi delle prossime elezioni, ma delle prossime generazioni; di agire non per il successo del loro partito, ma per il bene del loro Paese; di non lasciarsi sospingere dal vento dei sondaggi, ma di fare leggi basate su solidi principi etici [94].

E a ciascuno di noi dobbiamo chiedere non solo di utilizzare con cura quei beni comuni che sono le risorse del nostro pianeta e l'energia che ci viene dal Sole, ma anche di mettere in campo le nostre energie spirituali: collaborazione, amicizia, solidarietà e sobrietà, per vivere in armonia con gli altri uomini.

Note

(1) *Energy Return Over Investment* (EROI) è il rapporto fra l'energia ottenuta e quella usata [42].

(2) *Levelised Cost of Electricity* (LCOE) è il costo della elettricità generata, comprendente tutte le voci di spesa, dall'ammortizzazione del capitale finanziario iniziale a tutti i costi operativi [42].

(3) *Capacity factor*: per *capacity factor* (capacità effettiva) di un impianto che genera energia si intende il rapporto fra l'energia generata in un certo periodo di tempo e l'energia che avrebbe generato se avesse potuto operare con continuità nello stesso periodo di tempo con la sua capacità massima [42]

(4) *Learning rate*: misura lo sviluppo di una tecnologia; è la diminuzione del prezzo per ogni raddoppio della produzione

Riferimenti bibliografici

Quelli evidenziati in giallo si riferiscono alla PARTE PRIMA. Alcuni sono citati anche in questa PARTE SECONDA

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

- [2] <https://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg I/ipcc far wg I full report.pdf>
- [3] N. Armaroli, V. Balzani, N. Serpone: *Powering Planet Earth - Energy Solutions for the Future*, Wiley-VCH, 2013
- [4] http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/2018/03/Nuclear-disaster_EPR_EN.pdf
- [5] N. Armaroli, V. Balzani, *Energy for a Sustainable World – From the Oil Age to a Sun-Powered Future*, Wiley-VCH, 2011.
- [6] V. Balzani, *Sapere*, ottobre, 22-27, 2018.
- [7]. N. Armaroli, V. Balzani: *Energia per l'astronave Terra, Terza edizione, L'era delle rinnovabili*. Zanichelli, 2017
- [8] <http://www.rff.org/files/sharepoint/WorkImages/Download/RFF-RPT-kyotoprot.pdf>
- [9] www.ipcc.ch/report/ar5/syr/
- [10] <http://unfccc.int/resource/docs/2015/Cop21/eng/l09r01.pdf>
- [11] Francesco, *Laudato si'*, *Lettera enciclica sulla cura della casa comune*, Paoline Libri, 2015
- [12] A. Clò, *Energia e clima. L'altra faccia della medaglia*, Il Mulino, 2017
- [13] <https://www.theguardian.com/environment/2012/feb/15/leak-exposes-heartland-institute-climate>
- [14] V. Balzani, *Lettere ai giornali*
<https://ilblogdellasci.wordpress.com/2018/07/02/due-lettere-a-repubblica/>
<https://ilblogdellasci.wordpress.com/2018/09/07/lettera-aperta-alla-saipem/>
- [15] F.C. Moore, D.B. Diaz, *Nature Climate Change*, 5, 127, 2015
- [16] <https://esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- [17] <https://www.bbc.com/news/science-environment-45471410>
http://www.ipcc.ch/news_and_events/pdf/press/ma-p48.pdf
- [18] The IMBIE team, *Nature*, 558, 219, 2018
- [19] <https://doi.org/10.1073/pnas.1717312115>
- [20] <https://www.gfdl.noaa.gov/global-warming-and-hurricanes/>
- [21] The Global Risks Report 2018, 13th Edition, *World Economic Forum*, 2018
- [22] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-05-01/air-pollution-kills-7-million-people-a-year-who-reports#tictocnews>
- [23] <https://ilblogdellasci.wordpress.com/2018/08/15/ascoltare-la-scienza-lincidente-di-bologna-e-la-transizione-energetica/>
- [24] *BP Statistical Review of World Energy* 2018
- [25] <https://srsroccoreport.com/u-s-shale-oil-industry-swindling-stealing-energy-stay-alive/>
- [26] C. McGlade, P. Ekins, *Nature*, 517, 187, 2015
- [27] https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf
- [28]. <http://www.rechargenews.com/transition/1453400/statoil-to-change-name-to-equinor>
- [29] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-05-15/repsoil-said-to-end-pursuit-of-oil-growth-amid-energy-transition>
- [30] <http://www.rechargenews.com/transition/1356364/dong-changes-name-to-orsted-to-reflect-black-to-green-journey>
- [31] <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/shell-energy-transition->

[report.html](#)

[32] <https://www.shell.it/energia-e-innovazione/il-futuro-energetico.html>

[33] https://www.eni.com/docs/en_IT/enicom/publications-archive/publications/reports/rapporti-2017/Integrated-Annual-Report-2017.pdf

[34] <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/#toc-download>

[35] priceofoil.org/2017/11/09/burning-the-gas-bridge-fuel-myth/

[36] T. Wang, et al., *Environ. Sci. Technol.* 51, 6990–6998, 2017

[37] https://www.eni.com/it_IT/investitori/strategia.page

[38] <http://temi.repubblica.it/micromega-online/altro-che-eni-serve-una-societa-pubblica-al-100-per-lenergia/?printpage=undefined>

[39] <https://corporate.enel.it/it/media/news/d/2017/11/piano-2018-2020-enel-accelera-su-digitalizzazione-e-clienti>

[40] Delucchi, M.A., Jacobson, M.Z., *Energy Policy*, 39, 1170, 2011

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.045>

[41] www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/

[42] <http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-power-generation-costs-in-2017>

<http://www.irena.org/publications/2018/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2018>

[43] <https://www.bp.com/energytransition>

[44] N. Armaroli, V. Balzani *Chem. Eur. J.*, 22, 32, 2016.

[45] Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report, updated: 19 June 2018

[46] T. Seba, *Clean disruption of energy and transportation*, Clean Planet Ventures, Cal., 2014.

[47] <http://www.lastampa.it/2016/11/29/blogs/in-diretta-da-greenpeace/il-biodiesel-di-eni-il-clima-e-le-foreste-ReuoQzYbtSVMBH0IJ5CIOO/pagina.html>

[48] <http://exponentialroadmap.futureearth.org>

[49] <http://www.iea.org/weo/>

[50] <http://priceofoil.org/content/uploads/2018/04/OFF-TRACK-the-IEA-Climate-Change.pdf>

[51] B. Heard, et al., *Renew Sustain Energy Rev*, 76, 1122 (2017)

[10.1016/j.rser.2017.03.114](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.114)

[52] T.W. Brown, et al, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 92, 834, 2018

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118303307>

[53] Jacobson, et al., *Joule* 1, 108–121 con 186 pagine di informazioni supplementari, 2017

<http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2017.07.005>

[54] Jacobson, et al., *Sustainable Cities and Society*, 42, 22, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.031>

[55] <https://ilblogdellasci.wordpress.com/2018/08/15/ascoltare-la-scienza-lincidente-di-bologna-e-la-transizione-energetica/>

[56] <http://www.energieeffizienz.ch/it/home.html>

[57]] <http://www.bfe.admin.ch/energiestrategie2050/06445/index.html?lang=it>

[58] <https://www.slideshare.net/morosini1952/2000-watt-morosinipadova2010>

[59] M. Morosini, *Società a 2000 watt: più benessere con meno energia*

<https://www.qualenergia.it/articoli/20170807-implicazioni-e-problematiche-diuna-societa-a>

2000-watt/

[60] [https://about.bnef.com/new-energy-outlook/;](https://about.bnef.com/new-energy-outlook/)

<http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/twi/TWI2050.html>

<http://exponentialroadmap.futureearth.org>

[61] J. Grantham, *The Race of Our Lives Revisited*, GMO white paper, august 2018

<https://www.gmo.com/docs/default-source/research-and-commentary/strategies/asset-allocation/the-race-of-our-lives-revisited.pdf>

[62] N. Kittner, et al., *Nature Energy*, 2, article 17125, 2017

<https://www.nature.com/articles/nenergy2017125>

[63] <https://renewablesnow.com/news/chinas-hanergy-showcases-4-models-of-100-solar-cars-531316/>

[64] <https://about.bnef.com/blog/e-buses-surge-even-faster-evs-conventional-vehicles-fade/>

[65] <https://www.idtechex.com/research/reports/electric-boats-and-ships-2017-2027-000509.asp>

[66] <https://cargoinnovationconference.com/transport/dutch-company-port-liner-building-two-giant-electric-barges-launched-autumn/>

[67] Manned Electric Aircraft 2018-2028

[68] E. Williams, et al., *Environ. Sci. Technol.*, 49, 6394, 2015

[69] C.F. Runge, *Yale Environment* 360; <https://e360.yale.edu/authors/c-runge>

[70] <http://www.eueduk.com/bedazzled-energy-efficiency/>

[71] E. Shove, *Building Research & Information* 46(7), 779, 2018

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613218.2017.1361746>

[72] <https://www.climateliabilitynews.org/2018/04/05/climate-change-oil-companies-knew-shell-exxon/>

[73] <https://www.avvenire.it/papa/pagine/udienza-petrolieri-papa-francesco>

[74] <http://www.scienzainrete.it/contenuto/articolo/La-fuga-dalla-realta-e-il-mito-della-crescita-infinita>

[75] U. Bardi, *Extracted: How the Quest for Mineral Wealth Is Plundering the Planet*, Chelsea Green, White River Junction, Vermont (USA), 2014.

[76] <https://www.allaboutcircuits.com/news/looming-shortage-lithium-cobalt-electric-cars-politics-battery-chemistry/>

[77] K. Raworth, *L'economia della ciambella*, Edizioni Ambiente, 2017

[78] <https://www.avvenire.it/opinioni/pagine/verso-una-nuova-finanza-il-cammino-ora-segnato>
<http://press.vatican.va/content/salastampa/it/bollettino/pubblico/2018/05/17/0360/00773.html>

[79] <https://www.theguardian.com/environment/2015/nov/14/thomas-piketty-and-tim-jackson-responsible-investors-must-divest-from-fossils-fuels-now>

[80] <https://www.fsb-tcfd.org/>

[81] <https://catholicclimatemovement.global/divest-and-reinvest/>

[82] <http://there100.org/companies>

[83] <https://www.carbontracker.org/reports/mind-the-gap/>

[84] <https://www.nakedcapitalism.com/2017/05/gaius-publius-dying-fossil-fuel-industry.html>

[85] <https://www.nytimes.com/2018/01/15/opinion/big-oil-climate-change-nyc.html>

[86] <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/publication/global-trends-in-climate-change->

legislation-and-litigation-2018-snapshot/

[87] <https://climateactiontracker.org/countries/china/pledges-and-targets/>

[88] http://www.geidco.org/html/qgnycoen/col2015100728/2018-04/04/20180404105742245525796_1.html

[89] <https://www.bloombergquint.com/business/2018/05/08/nearly-10000-mw-coal-based-capacity-remains-unviable-power-secretary-says#gs.syVV3sk>

[90] <https://biopianeta.it/2018/04/trasformare-il-deserto-in-energia-il-progetto-sul-fotovoltaico-in-africa/>

[91] <http://www.greenreport.it/news/energia/larabia-saudita-diventa-solare-200-gigawatt-200-miliardi-dollari-piu-grande-progetto-fotovoltaico-del-mondo/>

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

[93] H. Jonas, *Il principio di responsabilità. Un'etica per la civiltà tecnologica*, curato da P.P. Portinaro, Einaudi, 2002.

[94] <https://books.google.it/books?id=8m4oAAAAYAAJ&pg=PA644#v=onepage&q&f=false>