
La transizione energetica

Pietro Barbucci

The article shows, with data and graphs, some of the main aspects that make the energy transition a much more complex process than it may appear to an inexperienced observer. It is a matter of replacing over time, but with fairly certain and not remote deadlines, the fossil fuels that have been the planet's energy warehouse for two centuries, but also of efficiently replacing the systems of research, extraction and distribution of energy sources that we have used up to now. This gigantic transformation, which will involve the entire production system, exchanges, movements, up to the cooking of food and the air conditioning of living environments, will have inevitable economic costs, which will have to be distributed in a socially equitable manner, not only for ethical reasons but also to prevent uncontrollable social revolts from blocking any transformation hypothesis in the bud.

Keywords: *Energy transition*

Premessa

Negli ultimi tempi si fa un gran parlare di transizione ecologica e/o di transizione energetica, che di essa è il nucleo essenziale, in connessione con la sfida epocale del cambiamento climatico. L'attenzione dei mezzi di informazione e dell'opinione pubblica si è acuita nelle ultime settimane a causa di due eventi che hanno avuto al centro questa sfida: il G20 di Roma e la Conferenza ONU sui cambiamenti climatici (COP26) di Glasgow.

La prima cosa da dire è che, in generale, il dibattito pubblico sottovaluta l'enorme complessità del problema. Si tratta infatti di cambiare totalmente il modo di produrre e di consumare sul quale l'umanità ha basato il suo sviluppo negli ultimi due secoli che ha come fondamento la disponibilità praticamente illimitata di energia basata sull'uso, assolutamente prevalente, dei combustibili fossili¹. Questa disponibilità è garantita da un ben collaudato sistema di ricerca, estrazione e distribuzione a livello planetario del carbone, del petrolio e del gas naturale attraverso reti di distribuzione capillari che raggiungono ogni angolo del mondo per alimentare le catene della produzione di beni, del trasporto di persone e di cose e del condizio-



1. Nel 2019 le fonti fossili (carbone, petrolio e gas naturale) hanno coperto il 78,7 % del consumo energetico a livello mondiale. Dunque tutte le re-

stanti fonti (nucleare, idrico, biomasse, rifiuti, eolico, solare, geotermico) coprono poco più del 20 % (Fonte IEA Key World Energy Statistics 2021

www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021).

namento degli edifici, le quali catene a loro volta si basano su processi e tecnologie utilizzatrici di tali combustibili.

Prescindere dall'uso dei combustibili fossili (com'è necessario, se si vuole che la crisi climatica legata all'alto livello di concentrazione di gas serra in atmosfera rimanga gestibile) implica dunque non solo modificare i processi produttivi (o addirittura abbandonare l'oggetto della produzione, come nel caso dei motori a combustione interna), cambiare le tecnologie attualmente utilizzate nel trasporto, nel riscaldamento e nella cottura ma anche sostituire quelle reti di distribuzione con reti alternative almeno altrettanto efficienti che sono da costruire ex novo o da potenziare e ristrutturare profondamente. Non solo, questa immane trasformazione implica un forte aumento della penetrazione elettrica (ovvero della percentuale dei fabbisogni energetici soddisfatta dall'elettricità), il che vuol dire che la produzione di elettricità dovrà crescere ad un tasso maggiore del passato proprio mentre si devono dismettere gli impianti con i quali essa è stata tradizionalmente prodotta. Una sfida colossale che richiede il consenso e il convergente impegno di tutti i Paesi del mondo (sia di quelli sviluppati che di quelli in via di sviluppo) ed un cambiamento profondo nelle abitudini di vita e di lavoro delle singole persone. Si dovrà inoltre aver cura che gli inevitabili costi di questa ingente trasformazione siano distribuiti in maniera socialmente equa, non solo per ragioni etiche ma anche per evitare che incontrollabili rivolte sociali blocchino sul nascere ogni ipotesi di trasformazione.

C'è, infine, da considerare che buona parte dell'attuale popolazione mondiale (quasi 8 miliardi di persone) vive in condizioni di grave sottosviluppo. Il nuovo modello di sviluppo, ambientalmente compatibile, dovrà dunque consentire anche alle aree più arretrate del globo di raggiungere standard di sviluppo che soddisfino i bisogni fonda-

mentali di ogni uomo. Né si può dimenticare che proprio nelle aree meno sviluppate la popolazione continua a crescere a ritmi sostenuti e a meno che si introducano, in quei paesi, drastiche politiche di controllo della natalità, la popolazione mondiale aumenterà fino a raggiungere i dieci miliardi di persone, facendo crescere in proporzione i fabbisogni energetici. Occorrerà dunque che le nuove tecnologie di produzione e di consumo siano a minore intensità energetica, cioè consentano di realizzare prodotti o soddisfare bisogni utilizzando minori quantità di energia rispetto alle tecnologie attuali in modo che, nella fase transitoria in cui si continueranno ad usare (anche se in misura via via minore) i combustibili fossili, lo sviluppo a livello planetario possa continuare senza aumentare ma anzi diminuendo progressivamente le attuali emissioni di gas serra.

Emissioni di CO₂ e clima

Innanzitutto facciamo il punto sulla situazione delle emissioni di CO₂ e altri gas climalteranti² e sugli effetti che queste emissioni hanno sul clima. Ci aiuta in questo la bozza del sesto Assessment Report (AR6) recentemente pubblicato dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), l'organismo delle Nazioni Unite, composto da centinaia di scienziati di ogni parte del mondo, che dalla fine degli anni Ottanta del secolo scorso monitora il fenomeno del cambiamento climatico e la sua relazione con la concentrazione di gas serra nell'atmosfera. Questo gruppo di scienziati fa periodicamente il punto sul miglioramento delle conoscenze sull'evoluzione del clima e sul miglioramento dei modelli predittivi, riportandone i risultati nei cosiddetti Assessment reports. Finora ne sono stati pubblicati 5, l'ultimo dei quali (AR5) nel 2014. Il sesto assessment report è in stato di avanzata elaborazione. L'edizione finale è prevista per il 2022, ma la bozza è già pronta ed è stata resa disponibile come supporto alle de-

2. Oltre alla CO₂ i più importanti gas serra sono il metano (CH₄), l'ossido di azoto (N₂O), i gas fluorurati (HFCs, PFCs, SF₆, NF₃) e l'ossido di zolfo (SO₂).

Le emissioni dei gas serra diversi dalla CO₂ vengono tradotte in termini di emissioni equivalenti di CO₂ attraverso un fattore che esprime il loro potenziale di ri-

scaldamento globale (GWP) rispetto alla CO₂ il cui GWP è assunto pari ad 1. In questo modo l'effetto complessivo dei gas serra è espresso in forma di emis-

sioni di CO₂ eq. In Europa, ad esempio, nel 2019 la CO₂ ha rappresentato l'80% del totale delle emissioni di CO₂ eq., il metano l'11%, l'ossido di azoto il 6%.

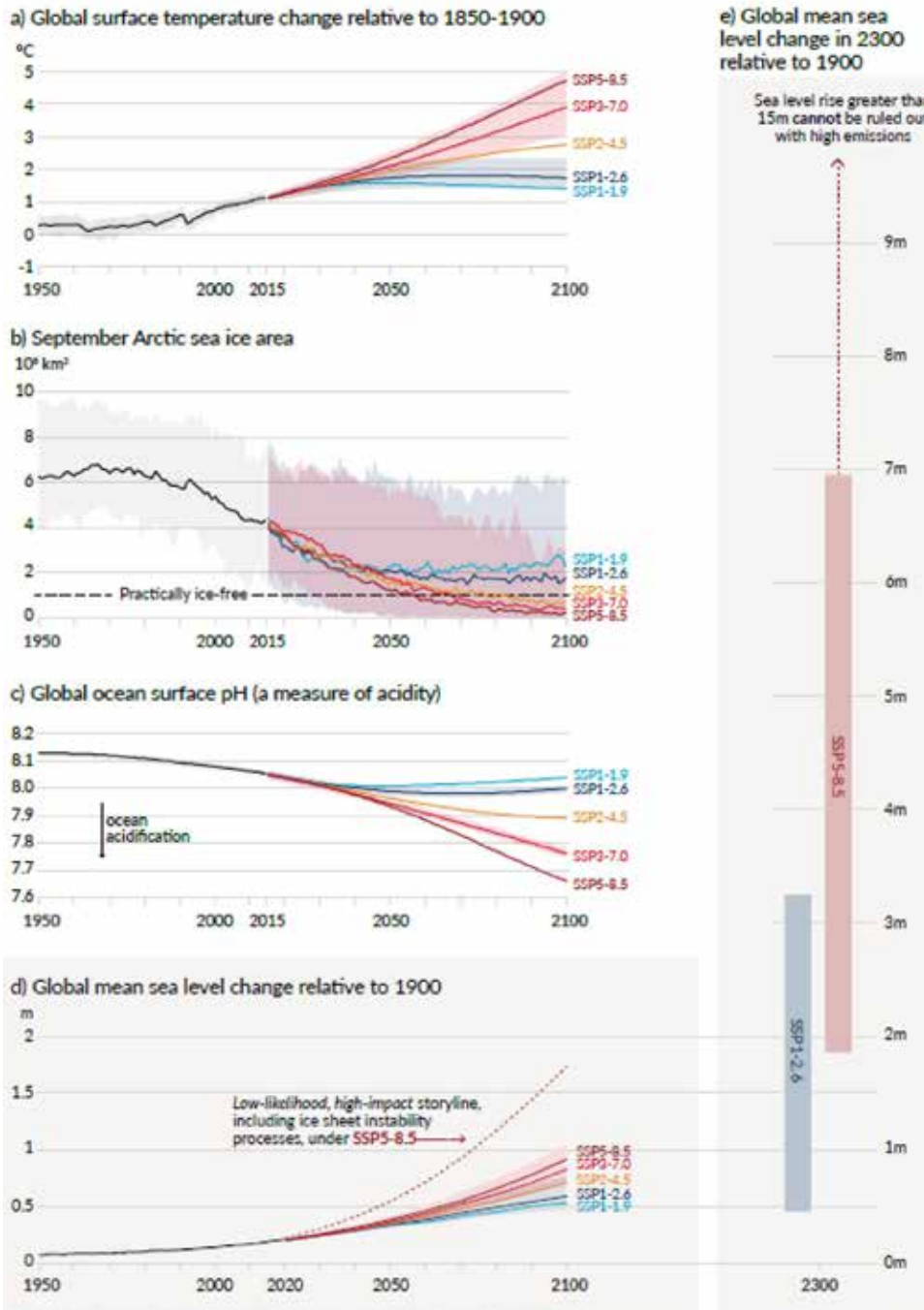


Figura 1. Previsioni degli effetti dell'aumento dei gas serra in atmosfera in 5 diversi scenari (dal Summary for Policymakers del documento indicato in nota 3).

cisioni della COP26 di Glasgow³.

La situazione a fine 2019 era la seguente. La quantità totale di CO₂ immessa in atmosfera dalle attività umane dal 1850 al 2019 può essere stimata in 2390 Gt (miliardi di tonnellate). Questa quantità ha provocato finora un aumento della temperatura media dell'atmosfera, rispetto al periodo 1850-1900, di 1,07 °C⁴. L'attuale tasso di emissione di CO₂ ha superato i 36 Gt/anno nel 2019 (nel 2020, a causa del rallentamento delle attività economiche dovuto alla pandemia, esso si è ridotto a 34 Gt ma si prevede che già quest'anno tornerà sui livelli precedenti la crisi).

Si ricorderà che alla COP21, tenutasi a Parigi nel 2015, si era raggiunto un primo accordo per limitare a 1,5 °C l'aumento di temperatura dell'atmosfera, avendo ritenuto inaccettabile permettere aumenti maggiori in considerazione dell'entità degli effetti sul clima (ondate di calore, siccità /alluvioni, innal-

3. IPCC International Panel on Climate Change, Working Group I – The Physical Science Basis, Sixth Assessment Report (AR6), 9 August 2021.

4. Si tratta di stime probabilistiche. L'aumento già registrato della temperatura sta nel range 0,8-1,3 °C con una probabilità maggiore del 67%. Analogamente la CO₂ finora emessa sta nel range 2390 ± 240 Gt con una probabilità maggiore del 67%. Questo valore della CO₂ emessa così come le stime del carbon

budget si riferiscono alla sola CO₂ ma tengono conto dell'effetto di riscaldamento globale degli altri gas serra diversi dalla CO₂.

budget si riferiscono alla sola CO₂ ma tengono conto dell'effetto di riscaldamento globale degli altri gas serra diversi dalla CO₂.

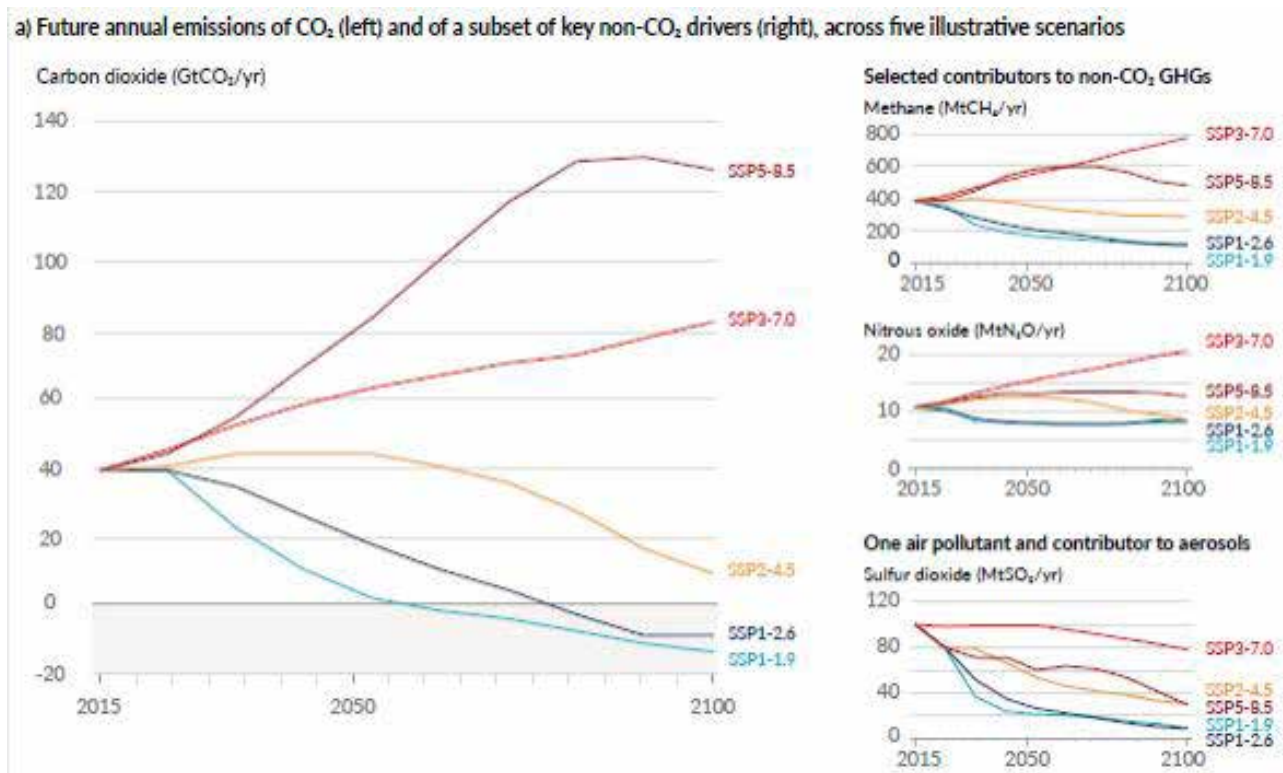


Figura 2. Evoluzione temporale delle emissioni di CO₂ e di altri gas serra nei 5 scenari considerati (dal Summary for Policymakers del documento indicato in note 3)

zamento del livello dei mari dovuto allo scioglimento dei ghiacci) previsti dai modelli per 2 o più gradi di aumento. Oggi questa previsione si è fatta più precisa; si veda la Fig. 1 nella quale sono illustrati gli effetti delle attuali e delle future emissioni di CO₂ e degli altri gas ad effetto serra sulle principali componenti del sistema climatico. Gli scenari considerati sono quelli illustrati in Fig. 2: due di questi (SSP1-1.9 e SSP1-2.6) prevedono una riduzione costante delle emissioni annue in modo più o meno accelerato, il terzo (SSP2) rappresenta il caso in cui le emissioni si mantengano costanti su valori poco superiori a quelli attuali fino al 2050 per poi iniziare una lenta discesa, gli ultimi 2 (SSP3 e SSP5) rappresentano invece una situazione di crescita incontrollata (in differenti

ipotesi). Come si vede in Fig. 1 solo lo scenario SSP1-1.9 permette di limitare l'aumento della temperatura media dell'atmosfera ad 1,5 °C e solo i primi due consentono una stabilizzazione della situazione all'orizzonte 2100. Tutti gli altri scenari evidenziano conseguenze drammatiche in termini di aumento di temperatura (da circa 3 a circa 5 °C, con le ovvie conseguenze sul piano dei fenomeni meteorologici), di scioglimento della calotta polare artica, che scomparirebbe poco dopo il 2050, e di innalzamento del livello dei mari fino ad 1 m.⁵

D'altra parte, dal 2015 ad oggi la realtà si è incaricata di mostrarci che gravi conseguenze del cambiamento climatico (rapido aumento dei fenomeni meteorologici estremi, incendi incontrollabili

5. Oltre agli effetti a breve termine, occorre considerare quelli a lungo termine. Il rapporto dell'IPCC ha studiato anche questi con risultati preoccupanti.

È stato calcolato ad esempio che anche nello scenario SSP1-2.6 (uno dei due più virtuosi) nel 2300 l'aumento del livello del mare sarà compreso nel ran-

ge 0,5 - 3,2 m (fig. 1 e) a seguito del riscaldamento profondo e del prodeguimento dello scioglimento dei ghiacci.

Riscaldamento globale contenuto entro (°C)	Riscaldamento aggiuntivo fino al limite di temperatura (°C)	Emissioni residue di CO ₂ dall'inizio del 2020 (Gt)				
		<i>Probabilità di limitare il riscaldamento globale al valore delle prima colonna</i>				
		17%	33%	50%	67%	83%
1,5	0,43	900	650	500	400	300
1,7	0,63	1450	1050	850	700	550
2,0	0,93	2300	1700	1350	1150	900

Tabella 1. Stima delle emissioni di CO₂ rimanenti prima di raggiungere un certo valore di temperatura (dal Summary for Policymakers indicato in nota 3).

li e devastanti, arretramento a vista d'occhio dei ghiacciai terrestri e accelerazione del fenomeno di scioglimento delle calotte polari) si manifestano già con l'attuale aumento di circa un grado, rafforzando dunque la necessità di limitare il più possibile l'aumento delle temperatura dell'atmosfera. Dunque tutto indica che sarebbe assai saggio fare ogni sforzo per rimanere entro il limite di 1,5 °C, ma quali sono le condizioni perché questo accada? L' IPCC ha calcolato quali sono i cosiddetti "carbon budget" cioè le quantità di CO₂ che ancora possiamo emettere senza superare un certo valore di aumento della temperatura. Come si vede in tabella 1, per rimanere entro 1,5 °C con una probabilità abbastanza alta (67%) non dovranno essere emessi più di 400 Gt di CO₂. Agli attuali ritmi di emissione il carbon budget per rimanere entro un grado e mezzo si esaurirebbe dunque nell' arco di 11 anni circa. La terza riga di questa tabella mostra anche che se venissero emessi più

di 1150 Gt (circa 30 anni al ritmo attuale) verrebbero superati (con la stessa probabilità) i 2 °C di aumento della temperatura.

È evidente allora che, se si vuole avere qualche speranza che il limite fissato nella COP di Parigi del 2015 e ribadito a Glasgow sia rispettato, occorre attuare immediatamente una rapida inversione di tendenza che porti all'azzeramento delle emissioni entro metà del secolo, con un andamento tale da garantire che le emissioni aggiuntive nell'intero periodo da oggi al 2050 non superino i 400 Gt.

Emissioni zero entro il 2050?

Il braccio di ferro che si è visto alla COP 26 di Glasgow verteva principalmente sull'accettazione della data del 2050 come termine per completare la transizione. Infatti, limitare le emissioni di gas serra in atmosfera significa prima di tutto trasformare radicalmente il settore energetico che

è responsabile di oltre l'80% delle emissioni, abbandonando più in fretta possibile l'uso dei combustibili fossili sui quali esso è ancora sostanzialmente basato. Questa scelta rappresenta per molti paesi (principalmente i produttori di questi combustibili o i consumatori in impetuoso sviluppo) un passo molto difficile da compiere, in un arco di tempo così breve, senza mettere a rischio le proprie economie. Da qui quello che molti hanno giudicato un compromesso al ribasso visto che il documento finale, faticosamente approvato, resta vago sulla data limite per il completamento del processo e non contiene l'impegno all'abbandono del carbone (che è il combustibile che emette la maggiore quantità di CO₂ per unità di energia prodotta) ma solo quello di una sua riduzione.

Domandiamoci ora cosa dovrebbe accadere di qui al 2050 per centrare quell'obiettivo. Nell'immaginare questa transizione ci aiuta uno studio dell'International Energy Agency (IEA) che ha definito uno scenario (denominato "NetZero Emissions by 2050 Scenario", NZE) che potrebbe portare all'azzeramento delle emissioni di CO₂ del settore energetico entro il 2050⁶. La Fig. 3 mostra l'andamento prevedibile delle emissioni dei diversi settori nel caso in cui si applichino le misure previste e si conseguano gli obiettivi intermedi previsti dallo scenario, alcuni dei quali sono riportati in corrispondenza delle scadenze di ogni quinquennio. Come si può osservare, la decrescita più rapida è quella del settore della produzione elettrica dove si prevede che le emissioni possano essere azzerate entro il 2040. Gli altri settori procedono più lentamente, per la maggiore difficoltà nell'abbandonare i combustibili tradizionali. Si osserva anche che, al 2050, è comunque presente un'emissione residua che dovrà essere compensata con tecnologie di cattura della CO₂ e con altri pozzi di carbonio, per avere emissioni nette uguali a zero. Se si esaminano alcuni degli obiettivi intermedi (distinti per

colore a seconda del settore a cui afferiscono) si vede come si tratti di prendere decisioni drastiche e di porsi traguardi molto ambiziosi. Ad esempio, fin da oggi non dovrebbe più essere autorizzata la costruzione di nuovi impianti a carbone senza cattura e sequestro della CO₂⁷ né lo sfruttamento di nuovi giacimenti di gas o di petrolio o l'apertura o l'ampliamento di miniere di carbone. A partire dal 2025 non dovrebbe essere più consentita la vendita di caldaie domestiche a combustibili fossili (incluso il gas), nel 2030 il 60% delle auto nuove dovrà essere elettrico.

In questo scenario, decisivo risulta il decennio attuale nel quale si dovrà invertire la pendenza della curva delle emissioni e conseguire entro il 2030 una riduzione di circa 1/3 rispetto ai valori attuali applicando in maniera estensiva tutte le tecnologie pulite ed efficienti già esistenti. Lo scenario prevede che l'economia mondiale cresca del 40% nel 2030 ma usi il 7% in meno di energia. Questo sarà possibile solo se vi sarà un impegno a livello mondiale per far crescere l'efficienza energetica in maniera sostanziale in tutti i settori applicativi. La riduzione delle emissioni del settore energetico non sarà limitata alla CO₂; si prevede che le emissioni di metano diminuiscano del 75% nel giro di 10 anni grazie ad uno sforzo a livello globale per utilizzare tutti gli strumenti e le tecnologie per il suo abbattimento.

Al contempo in questo decennio si dovranno aumentare fortemente gli investimenti in ricerca per sviluppare e portare sul mercato nuove tecnologie (ad es. batterie avanzate, nuovi elettrolizzatori per la produzione di idrogeno, metodi innovativi per la cattura diretta della CO₂ dall'aria) necessarie per proseguire il processo di decarbonizzazione del settore energetico nei decenni successivi.

Energia elettrica

Nel nuovo scenario crescerà sempre più il ruolo dell'energia elettrica che, oltre ai fabbisogni attuali, dovrà coprire nuove necessità nel settore

6. IEA – International Energy Agency, Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector, July 2021 (3rd revision).

7. Le tecnologie di cattura e sequestro della CO₂ (Carbon Capture and Storage – CCS) si sono mostrate di difficile applicazione nel settore termoelettri-

co per la loro complessità e bassa efficienza e per il costo molto elevato. Dopo oltre un decennio di tentativi le applicazioni dimostrative sono assai limitate.

Per immaginare una loro significativa diffusione è necessario un salto tecnologico.

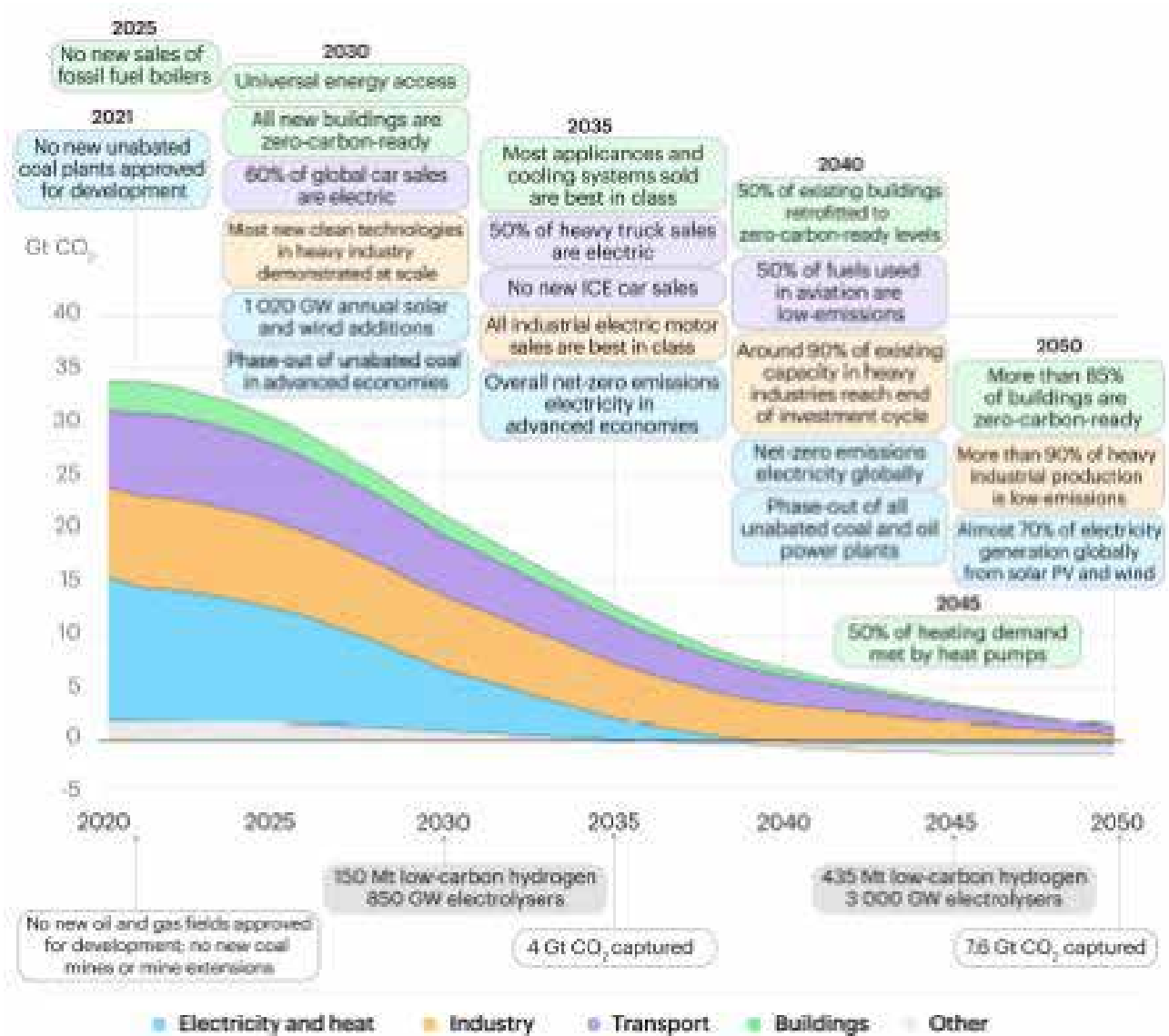


Figura 3. Andamento prevedibile delle emissioni dei diversi settori nelle scenario NZE dell' IEA (dal documento indicato in nota 6)

dei trasporti (per alimentare le auto elettriche), in quello del riscaldamento (per le pompe di calore) e nella produzione di idrogeno tramite elettrolisi. La decarbonizzazione del settore elettrico avverrà essenzialmente tramite una rapida crescita del ruolo del Fotovoltaico (FV) e dell'eolico (le cui tecnologie permettono già oggi di produrre energia elettrica a costi più bassi delle fonti fossili) in parallelo con una graduale dismissione delle grandi centrali alimentate con combustibili fossili a iniziare da quelle a carbone (che è il combustibile che genera più CO₂ a parità di energia pro-

dotta). L'installazione annuale di nuovi impianti FV ed eolici dovrebbe raggiungere entro il 2030 livelli quattro volte superiori ai livelli record del 2020, giungendo a livello globale a 600.000 MW di FV e 390.000 MW di eolico ogni anno. Al contempo si dovranno continuare ad impiegare le fonti idroelettrica e nucleare che sono le uniche in grado di produrre con continuità grandi quantità di energia elettrica senza emissioni di CO₂. Nel settore nucleare dovranno essere assunte importanti decisioni che riguardano l'estensione della vita degli impianti attualmente in esercizio,

il tasso di nuove costruzioni e l'impiego di nuove tecnologie. Nelle economie avanzate, dato che un gran numero di impianti oggi in esercizio giungono a fine vita entro questo decennio, se non si faranno investimenti per allungarne la vita e nuovi progetti oltre quelli già in via di realizzazione la produzione elettrica da nucleare diminuirà di due terzi nel giro dei prossimi venti anni. Nei mercati emergenti e nelle economie in via di sviluppo il tasso di crescita del nucleare secondo lo scenario NZE dovrebbe aumentare di 4 volte, passando dai 6.000 MW per anno del decennio 2011-2020 a 24.000 MW per anno nel 2030. L'ultimo insieme di decisioni riguarda l'innovazione nel settore ed in particolare l'impegno di sviluppo e dimostrazione necessario per portare sul mercato una nuova generazione di reattori nucleari refrigerati a gas e di reattori modulari di piccola taglia che potrebbero espandere il mercato del nucleare oltre la produzione elettrica contribuendo alla produzione di idrogeno ed altri combustibili sintetici. Insieme alla crescita della disponibilità di energia elettrica dovrà crescere la flessibilità del sistema elettrico necessaria a far fronte alla discontinuità delle fonti rinnovabili più importanti (solare ed eolico) mentre vengono dimesse le fonti tradizionali di flessibilità costituite dagli impianti a combustibile fossile. Sarà dunque necessario aumentare fortemente tutte le altre fonti di flessibilità (batterie ed altri sistemi di accumulo, gestione della domanda, centrali elettriche flessibili senza emissioni di carbonio, nucleari o CCS) inserite in reti elettriche digitali ed intelligenti. In parallelo si dovrà assicurare una crescente resilienza del sistema elettrico rispetto al pericolo di attacchi informatici ed altre minacce. Nello scenario NZE, entro il 2030 a livello globale il 60% di elettricità dovrebbe essere fornito dalle energie rinnovabili; entro il 2040 si dovrebbero raggiungere le emissioni zero (anche con il contributo del nucleare e di impianti a combustibili fossili con cattura e sequestro della CO₂); nel 2050 le rinnovabili dovrebbero fornire il 90 % del fabbisogno elettrico, con il restante 10% proveniente da nucleare, da idrogeno e da un minimo contributo di residui impianti a combustibili fossili con CCS.

Infine va ricordato che la transizione elettrica, con tutti i suoi problemi, è la parte facile del piano di transizione e che le vere sfide sono i cambiamenti dei processi produttivi, del settore dei trasporti (terrestri, aerei e navali) e degli utilizzi civili (riscaldamento, acqua sanitaria, cottura dei cibi). Un piccolo esempio del cambiamento necessario: negli anni passati i comportamenti ambientalmente virtuosi nel settore del riscaldamento sono consistiti prima nel passaggio dal gasolio al gas e poi nell'installazione di nuove caldaie a gas più efficienti (a condensazione). D'ora in poi l'obiettivo dovrà essere l'eliminazione di tutte le caldaie a gas e la loro sostituzione con altri sistemi di riscaldamento (ad esempio, pompe di calore).

Idrogeno

La prima cosa da ricordare, parlando di idrogeno, è che esso non è presente in natura e deve essere prodotto, con diverse tecnologie, a partire dalle fonti primarie di energia (fossili, nucleare, rinnovabili). Ad esempio, partendo dal gas naturale o da altri idrocarburi si produce idrogeno con una reazione di steam reforming che ha però l'inconveniente di produrre anche CO₂ (si parla in questo caso di idrogeno "grigio"). Ai fini della riduzione di gas serra ha senso produrre idrogeno per questa via solo se la CO₂ generata dalla reazione viene separata e iniettata in formazioni geologiche profonde (ad esempio quelle in esaurimento da cui provengono gli idrocarburi). Una via alternativa, che non presenta il problema della produzione di CO₂ è quella della elettrolisi dell'acqua che viene scissa in H₂ e O₂ utilizzando energia elettrica prodotta da fonte nucleare o rinnovabile. L'idrogeno prodotto per questa via, però, ha però oggi un costo molto elevato per la ridotta efficienza degli attuali elettrolizzatori e per il loro alto costo.

Il primo passo da compiere per accrescere l'impiego di idrogeno è utilizzarlo in quelle applicazioni che non richiedano immediatamente una nuova infrastruttura di trasmissione e distribuzione di idrogeno, ad esempio impiegandolo nell'industria, nelle raffinerie e nella generazione elettrica oppure distribuendo agli utenti finali mi-

sce di idrogeno e gas naturale attraverso l'attuale rete di distribuzione del gas. Lo scenario NZE prevede che l'impiego globale di idrogeno passi da meno di 90 Mt (milioni di tonnellate) nel 2020 a oltre 200 Mt nel 2030. Nello stesso decennio è previsto che la percentuale di idrogeno "pulito" passi dal 10% al 50% del totale (la metà proveniente da elettrolisi e il restante 20% da impianti a combustibili fossili con cattura e sequestro della CO₂).

Questi sviluppi dovrebbero facilitare un rapido aumento della capacità produttiva di elettrolizzatori e in parallelo lo sviluppo di una nuova infrastruttura di trasporto e stoccaggio dell'idrogeno, con la conseguente riduzione dei costi. L'idrogeno immagazzinato contribuirà a bilanciare sia le fluttuazioni nella produzione e nei consumi elettrici che gli sbilanciamenti che possono nascere tra la richiesta di idrogeno e la sua produzione con sistemi rinnovabili fuori rete. Durante il decennio 2020-2030 è prevista anche una grande crescita delle apparecchiature alimentate direttamente ad idrogeno, tra cui 15 milioni di veicoli a celle a combustibile che dovrebbero circolare entro il 2030. Lo scenario NZE prevede che, dopo il 2030, l'impiego di idrogeno si espanda rapidamente in tutti i settori. Nel settore elettrico è previsto che l'idrogeno ed altri combustibili basati su di esso contribuiscano alla flessibilità del sistema elettrico alimentando in co-combustione impianti a gas e a carbone. Questo uso comporterebbe l'impiego di grandi volumi di idrogeno facendo del settore elettrico un settore trainante della richiesta di idrogeno. Nel settore dei trasporti l'idrogeno dovrebbe rappresentare circa un terzo del combustibile utilizzato nel 2030 dai mezzi pesanti (purché siano prese per tempo le decisioni necessarie a sviluppare la rete di distribuzione dell'idrogeno). Entro la metà del secolo l'idrogeno dovrebbe soddisfare anche almeno il 60% del consumo totale di combustibile nel trasporto navale.

Nello scenario in esame si prevede che nel 2050 la produzione di idrogeno possa raggiungere i 530 Mt, il 60% dei quali provenienti da elettrolizzatori alimentati dalla rete elettrica, da fonti

rinnovabili dedicate e dal nucleare. Pertanto un grande sforzo è richiesto per accrescere al ritmo necessario la capacità manifatturiera di elettrolizzatori, oggi molto scarsa, così come per garantire la disponibilità di energia elettrica destinata allo scopo. Lo scenario prevede anche un grande sviluppo del commercio dell'idrogeno, con grandi quantità di questo gas che proverranno da aree ricche di gas e di energie rinnovabili come il Medio Oriente, l'America centrale e meridionale e l'Australia e si dirigeranno verso i centri di consumo in Asia e in Europa.

Il rapporto IEA evidenzia anche due questioni politiche della massima importanza che debbono ritenersi abilitanti la realizzazione del programma: il consenso sociale e la sicurezza energetica. Sul primo fronte viene sottolineato che un cambiamento di questa portata e rapidità non può avvenire senza la partecipazione convinta dei cittadini. È stato stimato infatti che il 55% della riduzione delle emissioni prevista dipende dalle scelte dei consumatori (come l'acquisto di un veicolo elettrico, il cambiamento dei metodi di riscaldamento e di cottura, i cambiamenti di comportamento del settore della mobilità). Inoltre è prevedibile che il processo di transizione porti ad un aumento, che si spera contenuto, della spesa per i prodotti e i servizi energetici. Occorrerà dunque predisporre strumenti per proteggere le fasce più deboli della popolazione da questi aumenti, garantendo l'accesso universale all'energia.

Per quanto riguarda la sicurezza energetica si sottolinea che il processo di transizione delineato da questo scenario necessita di grandi quantità di minerali critici (rame, cobalto, litio, manganese e varie terre rare). Si prevede che la richiesta di questi materiali cresca di sette volte rispetto ai valori attuali soltanto in questo decennio. È evidente che se l'offerta non riuscisse a tenere il passo della domanda o se la produzione si concentrasse in un piccolo numero di Paesi, i Paesi consumatori sarebbero esposti alla volatilità dei prezzi e al potere di ricatto dei produttori. Ci sono poi le preoccupazioni per i danni ambientali che potrebbero essere associati all'estrazione di questi minerali. Se ne è avuta una prova nelle prote-

ste che, in Serbia, hanno accompagnato il progetto per la realizzazione di una nuova miniera di litio, proteste che hanno portato, nei giorni scorsi, al suo ritiro.

Gli impegni dell'Unione Europea e la parte dell'Italia

L'Unione Europea, che rappresenta soltanto l'8% delle emissioni globali, è stata finora la leader nella lotta al cambiamento climatico, attuando la maggiore riduzione percentuale delle sue emissioni di CO₂ (circa il 20% rispetto al 1990) rispetto alle altre aree del globo, ed intende continuare ad esserlo nella nuova impegnativa fase. In attuazione della legge europea sul clima, entrata in vigore nel Luglio scorso, che stabilisce l'obiettivo vincolante delle neutralità climatica del continente entro il 2050, la Commissione Europea ha pubblicato una comunicazione al Consiglio e alle altre Istituzioni europee, intitolata "Fit for 55%" con la quale propone il taglio del 55% entro il 2030 delle emissioni di CO₂ dell'Unione⁸. La comunicazione propone un pacchetto di misure che comprende tredici nuove misure legislative (8 revisioni di direttive esistenti e 5 nuove) e misure specifiche di sostegno finanziario che aiutino imprese e cittadini a compiere la transizione necessaria. Il mix di proposte, che comprende sia nuovi regolamenti che un'estensione del mercato dei diritti di emissione, nasce da un'analisi preventiva degli effetti che queste misure possono avere sul costo della transizione e puntano a minimizzarlo.

Sul fronte della fissazione di un prezzo per le emissioni di CO₂ si colloca la revisione della direttiva sull'Emission Trading System (EU ETS) finora limitato alla generazione elettrica e ad alcuni settori industriali fortemente energivori. La revisione prevede sia l'estensione del sistema al trasporto marittimo, al trasporto aereo, a quello pesante su strada e agli edifici, sia la fissazione

di limiti di emissione progressivamente ridotti in modo da far crescere il prezzo di emissione. Particolarmente importante è l'inclusione, a partire dal 2026, del settore edilizio che è responsabile di oltre un terzo delle emissioni dell'Unione. La proposta prevede che entro il 2030 i settori coperti dall'EU ETS debbano ridurre le proprie emissioni del 61% rispetto ai valori del 2005.

Nel settore della mobilità pulita e dei combustibili alternativi viene rivisto il regolamento sulle emissioni di CO₂ di autovetture e furgoni, fissando un nuovo obiettivo: le emissioni di CO₂ dei nuovi veicoli nel 2030 dovranno essere del 55% inferiori ai livelli attualmente previsti. In parallelo il regolamento sull'infrastruttura per i combustibili alternativi assicurerà il tempestivo sviluppo delle reti di ricarica e di rifornimento di veicoli più puliti. Sul terreno legislativo sono proposte anche nuove normative che mirano ad incrementare l'uso di combustibili alternativi nei settori aereo e marittimo mentre è in preparazione una direttiva sull'impiego dell'idrogeno ed altri combustibili decarbonizzati.

Nel settore più propriamente energetico viene rivista la direttiva sulle energie rinnovabili che nel 2030 dovranno coprire il 40% del fabbisogno energetico, anziché il 32% come finora previsto. Un'altra direttiva che viene modificata è quella sull'efficienza energetica; la modifica ha il doppio scopo di innalzare il livello di ambizione degli obiettivi di efficienza e di renderli vincolanti, in modo da ottenere entro il 2030 una riduzione del 9% del consumo di energia rispetto alle proiezioni dello scenario di riferimento. È anche prevista una direttiva sulla tassazione dell'energia che mira ad armonizzare la tassazione dei prodotti energetici all'interno dell'Unione e ad eliminare ogni incentivo all'uso di combustibili fossili favorendo invece quello di combustibili puliti.

Un ultimo pacchetto riguarda la protezione della natura e l'incremento dei pozzi naturali di carbo-

⁸. European Commission "Fit for 55": delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality, COM(2021) 550 final, 14.7.2021

nio dell'Unione. Va in questa direzione la direttiva sull'uso del suolo e la silvicoltura che si propone di rovesciare l'attuale tendenza all'aumento delle emissioni di questi settori e ad aumentare la quantità e qualità delle foreste europee. Viene fissato un obiettivo UE di assorbimento netto dei gas a effetto serra nel settore agricolo e forestale pari a 310 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente entro il 2030, con obiettivi nazionali specifici per contribuire a tale risultato.

Per aiutare lo sviluppo del processo di transizione e la sua equità sociale la Commissione prevede di istituire, accanto ai fondi già previsti dalla legislazione vigente (Bilancio ordinario dell'Unione e Next generation EU), uno specifico Fondo sociale per il clima che dovrebbe fornire al bilancio dell'UE, nel periodo 2025-2030, circa 72 miliardi di € provenienti dal nuovo sistema per lo scambio di quote di emissione (EU ETS). Il Fondo consentirà agli Stati membri di sostenere le famiglie vulnerabili a reddito medio e basso, gli utenti dei trasporti e le piccole e piccolissime imprese che potranno subire le ripercussioni dall'estensione dello scambio di quote di emissioni all'edilizia e ai trasporti.

Queste proposte della Commissione dovranno ora passare al vaglio del Parlamento e del Consiglio europei e si prevede che, dopo i consueti e faticosi negoziati interistituzionali, le decisioni finali possano essere assunte entro la fine del 2022.

Conviene ora chiederci che tipo di impegno richiederanno al nostro Paese obiettivi come quelli che si vanno delineando a livello europeo. L'Italia è tutto sommato ben posizionata rispetto ai precedenti obiettivi europei (quelli per il 2020): essi sono stati sostanzialmente raggiunti e due di essi, l'obiettivo di penetrazione delle energie rinnovabili nel settore elettrico e quello della quota dei consumi finali lordi complessivi di energia coperta da fonti rinnovabili, sono stati superati. Tuttavia nell'ultimo periodo questa spinta si è esaurita. Basta dire che lo scorso anno sono stati installati in Italia soltanto circa 1.000 MW di nuovi impianti rinnovabili, di cui 792 MW di FV e 193 MW di eolico⁹. Il brusco rallentamento

è essenzialmente dovuto alla complessità e alla lentezza delle procedure autorizzative.

Per quanto riguarda le emissioni di gas serra il nostro Paese è passato da 519 Mt di CO₂ eq. nel 1990, a 589 Mt nell'anno di picco 2005 per scendere a 418 Mt nel 2019, con una riduzione rispetto al 1990 del 19,4%¹⁰. Per raggiungere l'obiettivo di un taglio del 55% rispetto al 1990 dovremo dunque tagliare un ulteriore 35,6% ovvero 185 Mt in 9 anni. Le emissioni della sola CO₂ hanno rappresentato, nel 2019, l'81,2% di tutte le emissioni di gas serra raggiungendo le 339,8 Mt rispetto alle 439,5 Mt del 1990 (con un taglio di 100 Mt, pari a circa il 23%). Se si osserva come queste emissioni si distribuiscano tra i diversi settori principali si vede che il settore termoelettrico contribuisce per 81 Mt, quello dei trasporti su strada per 97 Mt, quello degli usi civili (commerciale, residenziale, istituzionale) per 69 Mt, l'industria manifatturiera per 49 Mt.

Il taglio minimo da realizzare di qui al 2030 sulle emissioni della sola CO₂ rispetto al 1990 è di $439,5 \times 0,55 = 241,5$ Mt (ipotizzando che tutti restanti gas serra, in particolare il metano, raggiungano i loro obiettivi di taglio individuali). Sottraendo i tagli già effettuati finora rimangono 141,5 Mt da tagliare. Per raggiungere quest'obiettivo bisogna immaginare che ciascuno dei 3 settori più importanti (il settore termoelettrico, quello dei trasporti e quello civile) tagli le proprie emissioni del 50% sostituendo il 50% del fabbisogno termico con energia elettrica e che un 15% del fabbisogno termico del settore industriale sia soddisfatto da idrogeno prodotto per elettrolisi. Si avrebbe così in totale un risparmio di circa 130 Mt di CO₂ e, con il contributo degli altri settori minori, l'obiettivo potrebbe essere raggiunto. Se si calcola di quanto dovrebbe aumentare corrispondentemente la disponibilità di energia elettrica da fonte rinnovabile si trova che sarebbero necessari 258 TWh aggiuntivi di energia rinnova-

9. TERNA - Pubblicazioni statistiche, Dati statistici 2020 <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/publicazioni-statistiche>

10. ISPRA - *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2019. National report 2021*, Rapporto 341/2021, Aprile 2021.


bile¹¹ per produrre i quali bisognerebbe installare, entro il 2030, 97.500 MW di nuovo fotovoltaico, 58.500 GW di nuovo eolico e 3.000 MW di rinnovabili programmabili (idrico, geotermico, biomasse). Per il FV e l'eolico si tratta di valori 5 volte maggiori della capacità installata finora, con tassi medi annui di installazione da 10 a 20 volte superiori a quelli del 2020: una sfida colossale.

È vero che questo sforzo titanico può contare sull'aiuto proveniente dall'Unione Europea attraverso il fondo Next Generation EU e i relativi Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza. In effetti la missione 2 del nostro PNRR destina alla "rivoluzione verde e transizione ecologica" 68,6 Mld € e, complessivamente, gli investimenti per il contrasto al cambiamento climatico previsti dal PNRR sono il 40 % del totale; ma possiamo essere certi che non mancheranno difficoltà e resistenze. Un esempio di queste ultime si è avuto pochi giorni fa (il 10 Dicembre 2021) quando il Governo ha definito le tempistiche di sostituzione dei veicoli con motore a combustione interna, decidendo, in linea con la maggior parte dei paesi avanzati, che la messa al bando delle automobili nuove con motore a combustione interna dovrà avvenire entro il 2035, mentre per i furgoni e i veicoli da trasporto commerciale la data limite sarà il 2040. La notizia ha provocato l'immediata protesta delle associazioni nazionali dei produttori automobilistici che ritengono impraticabili queste tempistiche. ●

11. Infatti l'energia annualmente richiesta in Italia dal settore del trasporto su strada è di 33, 25 Mtep, ovvero 386,7 TWh termici. La metà di questo valore è 193,3 TWh termici. Considerando che il rendimento di un motore a benzina è mediamente del 15% e quello di un motore diesel del 25% e che nel parco sono presenti 2 motori diesel ogni motore a benzina, il rendimento medio risulta del 21,7 %. Ne segue che l'energia meccanica da sostituire è $193,3 \times 0,217 = 41,95$

TWh meccanici. Tenendo conto delle perdite nella trasmissione e nell'accumulo dell'energia elettrica e del rendimento del motore elettrico si ha che il rendimento complessivo è pari a 0,80. Dunque l'energia elettrica necessaria è $41,95 / 0,8 = 52,4$ TWh elettrici. Il settore civile richiede oggi 34,5 Mtep che equivalgono a 401,5 TWh termici. Immaginando di sostituire metà di questo fabbisogno con pompe di calore aerotermiche che hanno un SPF (Seasonal Performance Factor -

Tutto questo un giorno sarà mio? Illustrazioni di studenti su ambiente e salute in aree inquinate a cura di Anna Lisa Alessi, Girolama Biondo, Liliana Cori e Susanna Giorgi. Edizioni ETS, 2021



È un libro da osservare con attenzione, sfogliando i disegni, le composizioni fotografiche e i plastici realizzati dai ragazzi di 7 istituti comprensivi di Milazzo e Augusta che hanno partecipato a quattro concorsi indetti dal progetto CISAS per composizioni su "Ambiente e salute nella rada di Augusta: una realtà complessa" e "Ambiente e salute nella Valle del Mela: una realtà complessa". La seconda è l'area dove sorge la città di Milazzo. L'età parte dalle elementari alle scuole superiori, con disegni per i più piccoli e composizioni fotografiche per i grandi.

Le parole scritte lasciano spazio alle immagini: le composizioni sono oniriche, ricche di immaginazione e speranze, spesso spaventate, talvolta ironiche sulle capacità dei "grandi" di trasformare un ambiente inquinato promuovendo la salute delle persone e dell'ecosistema. Il disegno con matita, pennarelli e tempera è diretto, senza filtri e può trasmettere emozioni intense e sorprendere. Per i ragazzi più grandi invece è l'organizzazione temporale dei contenuti e composizioni più complesse a consentire di manifestare i propri sentimenti, la denuncia del malessere dovuto all'inquinamento, il sogno di un futuro che porta il cambiamento. La preoccupazione emerge e ci interroga, ci lascia la sensazione di avere davvero molto da fare, per porre rimedio ai danni esistenti e per coinvolgere direttamente quei giovani a unirsi alla schiera dei ricercatori che lavorano nella direzione della prevenzione e della bonifica del territorio.

rapporto tra l'energia termica mediamente fornita e l'energia elettrica consumata) pari a 3, l'energia elettrica necessaria sarebbe $200,7/3 = 66,9$ TWh elettrici. Un minore fabbisogno si potrebbe avere con l'uso di pompe di calore geotermiche che hanno un SPF di 4,5; si tratta però di una tecnologia al momento poco diffusa perché notevolmente più costosa. Infine l'industria manifatturiera richiede oggi 20,5 Mtep, ovvero 869 PJ. Per coprire con Idrogeno il 15% di questo

fabbisogno, tenendo conto del potere calorifico dell'Idrogeno che è pari a 120 MJ/Kg, servono $129,1 \text{ PJ} / 120 \text{ MJ} = 1,08$ Mt di idrogeno. Poiché per produrre 1 Kg di idrogeno per elettrolisi servono 50 KWh elettrici, il fabbisogno elettrico per produrne quella quantità è di 53,8 TWh. Se a questi 3 fabbisogni di elettricità si aggiungono gli 85 TWh necessari per sostituire la metà dell'energia elettrica oggi prodotta da impianti termoelettrici si arriva appunto a 258 TWh.