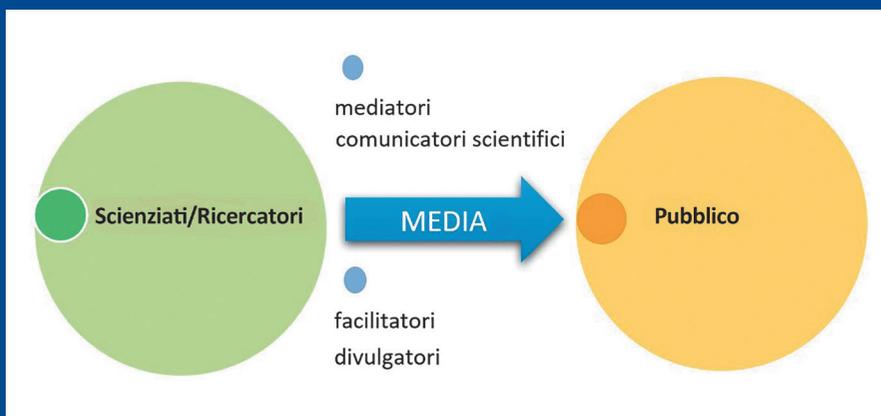


ANALYSIS

Rivista di cultura e politica scientifica

3

2023



LE STRATEGIE DI DECARBONIZZAZIONE DEI PIANI NAZIONALI DI RIPRESA E RESILIENZA

RIFLESSIONI SUL FUTURO DEL MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA

LA POSIZIONE DELLA VERITÀ NELLA SCIENZA

IL MANAGEMENT DELLA "SCIENCE COMMUNICATION" (SciCom)

RIPARTENZA DEL NUCLEARE CIVILE NEL MONDO

ANALYSIS

Rivista di cultura e politica scientifica

Anno XXIV - N. 3/2023

SOMMARIO

Giovanni Gullà, Roberto Palaia	<i>Presentazione</i>	p. 3
Lucio Morettini, Bianca Poti	<i>Le strategie di decarbonizzazione dei piani nazionali di ripresa e resilienza: la prospettiva dei policy mix in un confronto tra paesi</i>	» 5
Guido Saccone	<i>Riflessioni sul futuro del motore a combustione interna</i>	» 19
Franco Pavese	<i>La posizione della verità nella scienza: la necessità di nuovi strumenti per gestirla</i>	» 30
Carmelo Cannarella, Valeria Piccioni	<i>Il management della "Science Communication" (SciCom)</i>	» 34
Ettore Ruberti	<i>Ripartenza del nucleare civile nel mondo</i>	» 42

ANALYSIS - 3/2023

Direttore
Roberto Palaia

Comitato di Redazione
Antonio Baroncelli, Laura Bassolino,
Giovanni Dal Monte, Giovanni Gullà,
Emanuela Reale, Guido Saccone,
Laura Teodori

Segreteria
Marta Cascarano, Livia Steve

Internet: www.analysis-online.net

International Standard Serial Number: ISSN 1591-0695

Direzione e Redazione: presso ANPRI

Gli autori degli articoli sono responsabili delle loro opinioni.
È obbligatorio citare la rivista in caso di riferimento al materiale pubblicato.

Periodico quadrimestrale di proprietà dell'ANPRI, Associazione Nazionale Professionale per la Ricerca, affiliata alla CIDA, Confederazione Italiana Dirigenti e Alte professionalità, Funzione Pubblica Via Tortona, 16 00183 Roma
Tel. 06.7012656 - Fax 06.7012666 e-mail: anpri@anpri.it
Sito Internet: www.anpri.it

Autorizzazione del Tribunale di Roma N. 31/2020 del 24.03.2020

Precedente Autorizzazione del Tribunale di Roma N. 253/99 del 07.06.1999

Precedente Autorizzazione del Tribunale di Roma N. 465/94 del 17.10.1994

Precedente Autorizzazione del Tribunale di Torino N. 4132 del 24.01.1990

Editore: Casa Editrice Prof. Riccardo Pàtron & C. S.r.l.

Stampa: Global Print S.r.l., Gorgonzola, Milano, per conto della Casa Editrice Prof. Riccardo Pàtron & C. S.r.l.

In copertina: Il modello “a due stadi”.

PRESENTAZIONE

Giovanni Gullà, Roberto Palaia

L'impatto sociale delle trasformazioni indotte dai processi di transizione energetica e digitale in corso nelle nostre strutture sociali rappresenta il filo logico che lega i contributi previsti in questo numero di Analysis.

Lucio Morettini e Bianca Poti, *Le strategie di decarbonizzazione dei piani di ripresa e resilienza*, affrontano un problema di grande attualità nelle strutture sociali relativo alla gestione del cambiamento e della trasformazione; è indubbio che questa fase, caratterizzata da una complessa transizione energetica che coinvolgerà necessariamente anche i temi della distribuzione delle risorse e dei costi di tale transizione, dovrà fare i conti con una capacità di analisi più efficace nell'individuazione dei problemi e nelle proposte di soluzione, perché tutto questo non si risolva in un indebolimento dei nostri sistemi di rappresentanza sociale e politica.

A questa riflessione è in parte collegato il contributo di Guido Saccone, *Riflessioni sul futuro del motore a combustione interna*, che in modo puntuale analizza le prospettive di sviluppo di un protagonista assoluto della storia novecentesca, ovvero del motore a scoppio. Vengono a tal proposito analizzate le prospettive formulate dagli esperti del settore e viene infine evidenziato come l'approccio multiforme sia essenziale per affrontare le complessità delle transizioni energetiche e garantire un futuro sostenibile per la società.

Sebbene in maniera indiretta, anche di sostenibilità (sociale) discute la nota proposta da Franco Pavese, *La posizione della verità nella scienza: la necessità di nuovi strumenti per gestirla*, che mette al centro della propria riflessione lo status dei sistemi di misurazione dei dati sui quali sono elaborate le nostre convinzioni scientifiche. La riflessione è avviata riferendosi ad una recente scelta, fatta in ambito metrologico, riguardo la

definizione di un termine scientifico di base "incertezza di misura" e si sviluppa, esponendo considerazioni di sicuro interesse, su quello che, per come delineato dall'autore, è considerato un nuovo strumento di conoscenza basato sui dati. Nella nota si trovano, per chi vorrà approfittarne anche nelle pagine di Analysis, spunti per approfondire varie tematiche di estrema e delicata attualità per la scienza e per la società.

La "Comunicazione della Scienza", altro argomento tipico in questo periodo e ancora di più nel futuro, è l'argomento trattato da Carmelo Cannarella e Valeria Piccioni nella nota *Il management della 'Science Communication'*. Evidenziando l'effetto della pandemia da Covid-19 e l'uso pervasivo, forse inappropriato, dei social network, gli autori esaminano scenari che, per diversi aspetti, appaiono inquietanti: ad esempio in fatto che i ricercatori "appaiono sempre più spesso non solo come consulenti, come divulgatori o nei talk show, ma anche come promotori di prodotti negli spot pubblicitari sui media convenzionale e sui social". Bisogna fare i conti con un pubblico che subisce sempre di più effetti critici che possono far vacillare la "fiducia" nella scienza, generare una percezione errata della conoscenza scientifica ed altro. La soluzione prospettata appare convincente (sviluppo di competenze e professionalità specifiche), ma richiede, forse, equilibrio per evitare l'introduzione di ulteriori (superflue/dannose) mediazioni.

Ettore Ruberti, *Ripartenza del nucleare civile nel mondo*, fa il punto della situazione su un tema di grande attualità quale è il fabbisogno energetico per le comunità. Evidenziando da subito come l'84% del fabbisogno mondiale sia attualmente soddisfatto attraverso la combustione (carbone, petrolio e gas), l'autore, riferendosi alla posizione che l'Italia occupa su questo tema, riferisce degli incidenti nucleari avvenuti in vari

paesi e dei loro effetti. Il quadro proposto lo porta a discutere, con varie argomentazioni, dell'odierna ripresa del nucleare e a concludere che il pericolo costituito, comunque, dal nucleare è una condizione non evitabile a fronte dei danni sanitari e ambientali provocati dai combustibili fossili. Anche in questo caso ci troviamo di fronte ad un tema non semplice che sicuramente richiede altri contributi di analisi, discussione e proposta.

Con questo numero la rivista Analysis chiude un ciclo importante durante il quale si è cercato di coniugare la riflessione sui temi delle politiche della ricerca con l'informazione su alcune esperienze delle attività perseguite da gruppi e singoli colleghi che su queste pagine hanno condiviso le proprie esperienze di lavoro. Con tutti quelli che hanno a vario titolo contribuito alla nascita ed alla vita di questa iniziativa, abbiamo mantenuto la rivista su un piano di pluralismo di approcci in tutti i lavori presentati, tenendo sempre ferma la priorità di rappresentare al meglio le capacità, ol-

tre che il valore, dei soggetti del sistema della ricerca. Analysis è stata una tribuna aperta e plurale e di questo bisogna ringraziare innanzi tutto l'ANPRI, che è stato il suo editore, sempre generoso e rispettoso della vasta autonomia di cui la rivista ha goduto. Desideriamo, in particolare, ringraziare la redazione tutta che ha permesso la pubblicazione della rivista anche in frangenti difficoltosi o in momenti, come quelli della pandemia del COVID, non facili che hanno segnato questi ultimi anni. Sicuramente non è stato semplice mantenere il livello di qualità che la rivista ha espresso da subito e, ancora più difficile, è stato garantire un'accettabile continuità nella pubblicazione. Nuove forme di comunicazione si sono ormai consolidate e, come è stato opportunamente deciso da coloro che sostengono la rivista, è necessario sviluppare una riflessione per decidere come proseguire sempre meglio il percorso intrapreso. Tanti auguri quindi a chi dal prossimo numero raccoglierà il testimone e che, sicuramente, continuerà la tradizione di apertura e pluralità di opinioni che ha sempre caratterizzato il nostro lavoro.

LE STRATEGIE DI DECARBONIZZAZIONE DEI PIANI NAZIONALI DI RIPRESA E RESILIENZA: LA PROSPETTIVA DEI POLICY MIX IN UN CONFRONTO TRA PAESI

Lucio Morettini, Bianca Poti

Riassunto

Il concetto di policy mix ha acquisito crescente rilevanza nella letteratura STI come strumento per facilitare processi trasformativi di innovazione. Si sono sviluppate visioni più estese dell'approccio del policy mix, che includono strategie politiche, caratteristiche e processi di attuazione. Questo studio esplora il legame tra le caratteristiche del policy mix e la transizione sostenibile, analizzando due casi: Italia e Francia. La ricerca si focalizza su come l'approccio del policy mix possa aiutare a valutare il posizionamento di un Paese verso l'obiettivo della transizione sostenibile in ambito energetico. La nostra ipotesi è che l'uso di questo approccio possa integrare la valutazione ex-ante richiesta dall'Unione Europea per i programmi e piani di sviluppo sostenibile.

Abstract

The concept of policy mix has gained increasing relevance in the STI literature as a tool for facilitating transformative processes of innovation. This study explores the link between policy mix characteristics and sustainable transition by analyzing two cases: Italy and France. The research focuses on how the policy mix approach can help assess a country's positioning toward the goal of sustainable energy transition. The conclusion is that the use of this approach can complement the ex-ante evaluation required by the European Union for sustainable development programs and plans.

Parole Chiave: *Valutazione ex ante, PNRR, Innovazione trasformativa, Policy mix, Sostenibilità.*

Keywords: *Ex Ante Evaluation, PNRR, Transformative Innovation, Policy mix, Sustainability.*

1. Introduzione

Le politiche per l'innovazione hanno incluso recentemente un nuovo e complesso scopo, quello della transizione sostenibile in rilevanti ambiti socio-economici. La novità e complessità dell'argomento ha stimolato il dibattito tra politici e ricercatori su quale approccio usare per valutare decisioni che implicano governance multiagente e multilivello ed una interazione tra scelte di policy in ambiti diversi. La politica per l'innovazione detta trasformativa o di sistema implica una visione più ampia del processo innovativo, in termini di coinvolgimento di stakeholder e di policy mix. Due elementi chiave nella valutazione dei programmi e delle politiche per la transizione sostenibile sono la capacità di indirizzare il cambiamento verso le grandi sfide sociali (direzionalità) e la capacità di generare risultati trasformativi (addizionalità di comportamento a livello di sistema socioeconomico). In letteratura si evidenzia la debolezza di quadri analitici capaci di dare conto di questi due aspetti, attraverso l'operationalizzazione del criterio di direzionalità, al di là della capacità di coordinamento dei vari attori e

livelli di governance, riuscendo inoltre a mettere in relazione cambiamenti rilevati e politiche. Haddad and Bergek (2023) rilevano che in letteratura sono rari i casi in cui si è riusciti a porre in evidenza i meccanismi attraverso cui una specifica politica per la transizione sostenibile ha impatto su uno specifico scopo, con qualche eccezione (Janssen, 2019). Inoltre, la valutazione è prevalentemente di tipo qualitativo e usa un approccio deduttivo, che poggia su schemi analitici sviluppati in letteratura, quali la Multilvel perspective, il Niche o il Transition Management approach (Geels, 2002; Rotmans 2001; Kemp et al., 1998).

Lo scopo del presente articolo è quello di usare l'approccio policy mix, nella sua versione recente, per dare una valutazione di tipo ex ante di politiche per la transizione sostenibile incorporate nei Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza (PNRR) promossi dalla Commissione europea. Nel 2020 la Commissione ha puntato a dare una risposta alla crisi pandemica con il Next Generation EU (NGEU), un programma di grande portata, che prevede investimenti e riforme per accelerare la transizione ecologica e digitale. I PNRR sono il dispositivo principale del NGEU e

l'Italia è il maggior beneficiario del finanziamento a fondo perduto di questo strumento. I Piani nazionali si articolano in sei Missioni; la nostra analisi si concentra sulla Missione 2 "Rivoluzione verde e transizione ecologica".

La valutazione *ex ante* non prende in considerazione l'impatto (*ex post*), ma il progetto e il disegno di un Piano o di un Programma. I PNRR abbracciano il periodo 2021-2026. Data l'introduzione recente di alcune misure e il tempo medio-lungo necessario a verificare un cambiamento importante come quelli iscritti nella transizione ecologica, pensiamo che una riflessione su una valutazione *ex ante* possa essere di interesse, tenuto anche conto del fatto che la Commissione europea richiede che i Programmi per la transizione sostenibile siano accompagnati da questo tipo di esame. Questa valutazione dovrebbe supportare la disamina di aspetti centrali di un Programma di policy, l'identificazione di punti critici del contesto a cui il Programma si rivolge, la rilevanza di strategia e obiettivi rispetto a debolezze e bisogni identificati, la coerenza dell'approccio di policy e la validità dei risultati attesi.

L'articolo è organizzato nel modo seguente: il paragrafo 2 introduce la metodologia usata per fare un'analisi *ex ante* del disegno dei Piani di Ripresa e Resilienza di due paesi (Italia e Francia); seguono lo sviluppo dell'analisi e i risultati che vengono presentati come un confronto tra il posizionamento dei due Piani nazionali rispetto agli scopi posti dal Next Generation EU per quanto riguarda la transizione ecologica. Infine, le conclusioni danno brevemente conto di quanto l'approccio policy mix possa risultare utile ad un esercizio di valutazione.

2. La metodologia

L'idea centrale è che l'analisi del policy mix possa essere utilizzata per soddisfare le esigenze di valutazione *ex-ante* richieste dall'Unione Europea per i Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza, attraverso una definizione del posizionamento di ciascun Paese sulla base di criteri che qualifichino il portafoglio di strumenti.

Il policy mix ha guadagnato una crescente attenzione nella letteratura STI come strumento per analizzare processi trasformativi di innovazione. Sono emerse concettualizzazioni più ampie, che comprendono oltre alle caratteristiche del policy mix di riferimento, le strategie politiche e i processi di attuazione delle politiche (Kern et al. 2019). Noi facciamo riferimento ai primi due aspetti: poiché la fase di implementazione è tuttora in atto restiamo sulla ca-

ratterizzazione originaria della politica di transizione verso uno sviluppo sostenibile come interpretata dai due Paesi in esame, in particolare per quanto riguarda la trasformazione energetica. Consideriamo quindi i documenti originali dei PNRR e non le successive modifiche.

L'approccio policy mix nella letteratura è usato in due accezioni: un esame delle sue caratteristiche interne, (Rogge e Reichardt, 2016; Rogge e Schleich, 2018) e più recentemente un esame della capacità di innovazione trasformativa verso uno sviluppo sostenibile (Janssen, 2019; Bugge et al., 2017; Bugge et al., 2018; Grillitsch et al., 2019). Questo esame "esterno" riguarda una caratterizzazione degli strumenti presenti che deriva dalla letteratura sulla transizione sostenibile (Geels, 2005; Rip e Kemp, 1998): strumenti che contribuiscono alla creazione di nuovi regimi socioeconomici o alla dismissione dei vecchi (Kivimaa e Kern, 2016; Costantini et al., 2017; OCSE, 2016) o strumenti specifici per affrontare peculiari fallimenti che rallentano la transizione sostenibile (Weber e Rohracher, 2012).

Noi adottiamo tutte e due le tipologie di criteri, sia quelli interni che quelli rivolti all'esterno del policy mix.

Nella prima accezione, l'approccio policy mix guarda alla combinazione di politiche principalmente attraverso quattro indicatori: coerenza, credibilità, completezza e coerenza (Rogge e Reichardt, 2016). Uno studio empirico (Rogge and Schleich, 2018) ha suggerito che esiste un legame positivo tra la coerenza e la credibilità del mix di politiche e il comportamento delle imprese, vale a dire le spese aziendali a favore dell'innovazione a basse emissioni di carbonio.

Nella seconda accezione, una caratteristica centrale del policy mix dovrebbe essere la capacità di direzionalità, misurabile attraverso i cambiamenti di comportamento nei sistemi sociotecnici in esame. Noi osserveremo i caratteri di trasformazione della politica energetica dei PNRR rispetto al contesto in cui è inserita, vale a dire rispetto alla politica energetica precedente e ai punti critici rimasti aperti. Il fine è quello di vedere se le scelte dei decisori politici sono andate nella direzione di superare gli errori o le debolezze precedenti. Per questo scopo useremo l'approccio qualitativo della narrativa per descrivere in ordine temporale gli eventi principali che hanno effettivamente caratterizzato il percorso di decarbonizzazione nei due contesti nazionali (Italia e Francia). La narrativa sarà sintetizzata in una tabella, che raggrupperà gli eventi principali per paese, mettendo in evidenza obiettivi, attori coinvolti, le opposizioni e i cambiamenti collegati all'evento centrale. Queste tabelle permetteranno di avere un'idea delle determinanti e

dei vincoli nel processo di trasformazione energetica e aiuteranno a confrontare i due casi studio. Faremo poi un raffronto tra quanto è risultato della politica energetica precedente e i caratteri delle Missioni nazionali di “Rivoluzione verde e transizione ecologica” presenti nei PNRR.

Nel paragrafo successivo dapprima esamineremo la capacità di direzione dei due policy mix rispetto agli aspetti critici della passata politica energetica nazionale, per evidenziare la presenza o meno di fenomeni di blocco (lock in) e path-dependence. Successivamente prenderemo in esame i caratteri interni del policy mix (consistenza, credibilità, completezza e coerenza). Questa scelta è guidata dall'intento di offrire innanzitutto una visione per quanto sintetica della Missione “Rivoluzione verde e transizione ecologica” dei due paesi.

3. L'analisi

3.1. Confronto delle passate politiche di decarbonizzazione in Francia e in Italia

In questo paragrafo presentiamo in sequenza le principali decisioni e politiche energetiche messe in atto da Italia e Francia, con particolare riferimento alle azioni di decarbonizzazione. Il fine è delineare gli elementi che caratterizzano i sistemi energetici dei due Paesi, in termini di obiettivi perseguiti, attori coinvolti e aspetti critici, su cui si innesteranno le future politiche di decarbonizzazione e sviluppo delle energie rinnovabili.

L'evoluzione delle politiche passate in Italia

Lo sviluppo delle politiche di decarbonizzazione in Italia è stato poco strutturato e compatto, non ha adottato una linea dirigista, ma è stato composto da interventi contingenti alla situazione da affrontare e al connesso tipo di obiettivo da raggiungere. Nel corso degli anni il governo italiano non ha elaborato un piano energetico nazionale che delineasse una strategia che definisse il ruolo delle diverse fonti energetiche rispetto al fabbisogno nazionale. È intervenuta con leggi che spingessero i mercati dell'energia verso forme di concorrenza controllata, che abbassassero i prezzi al consumo per le imprese e i cittadini. Lo scopo principale delle strategie messe in atto è stato quello di consentire ai produttori, attraverso l'accettazione delle scelte dei consumatori, di ricercare il modo per mantenere bassi i prezzi dell'energia al consumo, mentre allo stesso tempo lo Stato centrale manteneva il controllo delle reti di distribuzione dell'energia elettrica e del gas per poter intervenire attraverso le

infrastrutture in caso di esigenze specifiche.

Queste politiche hanno portato a ottimi risultati in termini di produzione di energia da fonti rinnovabili sul totale della produzione energetica nazionale, al punto che l'Italia ha raggiunto già nel 2018 la quota del 23% di produzione da fonti rinnovabili prevista a livello europeo, prima tra i Paesi europei e due anni prima della scadenza prevista per il 2020.

Parallelamente agli interventi diretti ci sono stati elementi che hanno contribuito a definire la configurazione del sistema energetico nazionale. Nel 2011 un referendum ha definitivamente escluso l'energia nucleare dalle possibili fonti energetiche da incentivare e implementare sul territorio nazionale, riducendo lo spazio virtuale per l'energia alternativa ai combustibili fossili. Inoltre, a partire dal 2014, il governo italiano ha previsto possibili incentivi per la transizione verso l'elettrico della mobilità pubblica e privata. Infine, i rappresentanti delle aziende produttrici di energia, sia da fonti fossili che da fonti rinnovabili, hanno raggiunto un accordo che mira a superare i conflitti tra i due gruppi di produttori e a creare un sistema di complementarità che consenta lo sviluppo simultaneo di entrambi i componenti della produzione, aprendo la strada alla produzione di energia da parte dei grandi gruppi anche attraverso fonti rinnovabili.

La tipologia dei cambiamenti incoraggiati e adottati sembra aver condotto il sistema italiano verso una situazione di transizione controllata, in cui lo scopo primario resta quello di stabilizzare l'approvvigionamento energetico del sistema socioeconomico nazionale, lasciando spazio a una convivenza tra fonti tradizionali e fonti rinnovabili, per evitare contrasti traumatici, ma continuando a sostenere la crescita delle fonti rinnovabili.

I recenti sviluppi nel panorama internazionale hanno portato a un rallentamento delle politiche di incentivo alle energie rinnovabili, favorendo lo sviluppo delle limitate risorse fossili presenti sul territorio nazionale e riattivando impianti energetici a carbone obsoleti. Nei piani del governo, queste modifiche alla politica energetica non cambiano significativamente l'applicazione delle misure di transizione ecologica previste anche dagli accordi nazionali, in quanto le misure adottate sono considerate eccezionali e legate al momento di emergenza per l'approvvigionamento energetico. Permangono però i dubbi sui costi economici e sociali che si dovranno affrontare quando si dovranno fermare le azioni di ricerca di fonti fossili e le centrali a carbone, per non parlare del peso delle azioni di bonifica del territorio che graverebbero sugli enti locali.

<i>Caratteristiche dei principali cambiamenti in Italia.</i>				
<i>Decisione chiave / politica</i>	<i>Cambiamenti rilevanti</i>	<i>Attori coinvolti</i>	<i>Resistenza ai cambiamenti e problemi</i>	<i>Cambiamenti collegati</i>
Liberalizzazione del mercato elettrico (1999)	Libertà di accesso alla fornitura di energia elettrica a una moltitudine di attori nazionali e internazionali, con la conseguente creazione di un mercato con maggiore scelta per i consumatori.	Le aziende già presenti sul mercato possono ampliare la loro dimensione e diventare i principali attori del mercato.	Critiche da parte di potenziali nuovi operatori sul fatto che Enel, la principale compagnia energetica del settore, mantenga un potere di mercato eccessivo.	Entrata in gioco di nuovi attori con maggiore forza (municipalizzate, cooperative locali).
Liberalizzazione del mercato del gas (2001)	Liberalizzazione del mercato del gas con regole severe in materia di trasporto, approvvigionamento, dispacciamento, stoccaggio, distribuzione e vendita.	Snam S.p.A. è fortemente penalizzata in quanto proprietaria di quasi il 97% di produzione, importazione e stoccaggio. Mantiene la gestione della rete.		Chiunque è libero di produrre, importare e vendere gas.
Conto Energia (2005)	Rapido sviluppo del fotovoltaico che si affianca alla tradizionale produzione di energia elettrica.	I produttori di energia da fonti rinnovabili diventano protagonisti del mercato.	Rischio di danneggiare le dinamiche di mercato a causa dell'eccessivo livello di contributo fornito dallo Stato.	
Eliminazione definitiva del nucleare dal mix elettrico (2011)	Un referendum, a seguito dell'incidente di Fukushima, blocca definitivamente l'uso del nucleare in Italia.	Bloccate le società incaricate di valutare la costruzione di reattori nucleari in Italia.	L'opinione pubblica era largamente favorevole all'eliminazione del nucleare dal mix.	Il carbone rimane l'alternativa più economica ma inquinante.
L'elettricità come principale fonte di energia (2014)	A seguito della decisione della Commissione Europea, le associazioni di settore stanno rifocalizzando l'energia elettrica anche nei consumi finali e nei trasporti.	Impatto sul settore automotive, perché i componenti delle batterie non esistono in Italia e devono essere importate. I produttori di automobili dovranno formarsi e investire in infrastrutture per produrre batterie internamente, senza incidere sui posti di lavoro.	I sindacati non sono d'accordo, chiedono indennizzi, ristrutturazioni e formazione per i lavoratori.	Crescita degli usi elettrici e delle elettrotecnologie, dalle pompe di calore alle auto elettriche e alla domotica.
Fusione tra Associelettrica e Assorinnovabili, creazione di Elettricità Futura (2017)	Superare le divisioni tra le rappresentanze industriali dei produttori di energia da fonti tradizionali e da fonti rinnovabili. Accettazione e riconoscimento del ruolo delle rinnovabili.	Un cambiamento positivo che riguarda tutto il mondo dell'energia.		Molti player industriali lavorano contemporaneamente su tradizionali e rinnovabili.

Piano per la transizione energetica sostenibile delle aree idonee (PITE-SAI, 2022)	Rivalutazione dell'uso del gas naturale e dell'estrazione dai giacimenti presenti sul territorio nazionale; riapertura temporanea di impianti abbandonati da circa dieci anni.	I comuni interessati dai lavori di perforazione.	- i Comuni interessati dai lavori di perforazione; - Sindacati; - Associazioni ambientaliste.	I campi indicati rappresentano una quota minima del fabbisogno nazionale di gas. Nessun effetto sui prezzi delle bollette dato lo scarso peso sul mercato globale.
Crisi energetica legata alla guerra Ucraina-Russia (2022)	Massimizzazione della produzione di energia da centrali a combustibili fossili anche con impianti dismessi. Ridurre la dipendenza dalle importazioni di gas dalla Russia attraverso le energie rinnovabili.	Gli attori più colpiti sono le imprese, in particolare quelle energivore e gas-intensive, e le famiglie.	Le associazioni ambientaliste sono contrarie alla riapertura delle centrali a carbone, preferendo la scelta delle rinnovabili.	Rallentamento del phase-out del carbone.

Lo sviluppo delle politiche passate in Francia

Il processo di decarbonizzazione in Francia è stato fortemente influenzato dalla decisione di indirizzare la strategia energetica nazionale verso un maggiore sostegno al nucleare, riducendo lo spazio per le fonti energetiche rinnovabili. Tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80, il governo francese decise di limitare i finanziamenti per lo sviluppo di tecnologie legate alle energie rinnovabili, ritenendo la spesa troppo elevata e poco remunerativa rispetto alla quantità di energia prodotta.

La conseguenza è stata una centralità dell'energia nucleare nelle politiche energetiche francesi per circa 30 anni, che ha sbarrato la strada alle energie rinnovabili. La riduzione dell'uso di carbone, gas e petrolio come fonti energetiche a favore del nucleare è ambigua se valutata in termini di sostenibilità ambientale, ma è perfettamente coerente se vista nell'ottica dell'obiettivo principale del piano energetico nazionale francese: il raggiungimento dell'autonomia energetica e la riduzione degli approvvigionamenti esterni che possono influenzare il sistema socioeconomico nazionale.

Negli anni il governo francese ha attuato una politica energetica dirigista, le principali decisioni sono state prese a livello centralizzato, escludendo le istituzioni locali e concordando azioni con i maggiori attori del mercato energetico. In questo schema le grandi compagnie petrolifere nazionali hanno continuato nel tempo a svolgere un ruolo importante, ma non c'è dub-

bio che il sistema energetico francese sia progressivamente mutato per fare dell'energia nucleare la sua colonna portante.

Come accennato in precedenza, nello schema di "sostituzione" dei combustibili fossili con il nucleare, le energie rinnovabili hanno sempre trovato poco spazio. La prima svolta in questa direzione è avvenuta con la costituzione del Fonds Chaleur nel 2008, i cui risultati sono stati però insoddisfacenti, mentre nel 2014 l'Agenzia francese per la gestione dell'ambiente e dell'energia (*Agence de la transition écologique*, ADEME) ha approvato un piano di sviluppo di energie rinnovabili su base regionale, a partire dall'Occitania. L'elemento nuovo del programma promosso da ADEME è una gestione prettamente locale dei progetti di sviluppo, con una pianificazione determinata e sostenuta dalle istituzioni locali, con la partecipazione diretta delle comunità nella definizione dei piani energetici locali e nella governance degli impianti. Lo schema realizzato in Occitania è poi diventato il modello di riferimento per lo sviluppo delle energie rinnovabili in Francia: progetti prevalentemente locali, capacità di intervento diretto delle istituzioni regionali attraverso il sostegno finanziario e gestionale e coinvolgimento delle comunità locali nella definizione e nello sviluppo dei progetti.

La creazione di strumenti di supporto alle energie rinnovabili è nata per cercare di colmare l'enorme ritardo della Francia in questo settore rispetto agli altri

Paesi europei, ma non sembra aver avuto il successo sperato: la Francia è l'unico Paese che non ha raggiunto la quota del 23% di energie rinnovabili sul consumo totale di energia entro il 2020. Tuttavia, i cambiamenti intrapresi nel 2008 hanno avuto effetti sulla politica energetica francese: dividendo le linee di intervento, entrambe possono essere definite dirigiste, ma una prima linea di intervento della gestione nazionale continua a dare un ruolo preponderante all'energia nucleare, mentre la seconda linea dedicata alle energie rinnovabili è gestita autonomamente dalle istituzioni regionali con la collaborazione delle comunità locali.

Dai documenti analizzati emerge che le politiche francesi di decarbonizzazione sono guidate dalla volontà di assicurare stabilità negli approvvigionamenti energetici al sistema socioeconomico nazionale. La sostenibilità nel medio e lungo termine sembra essere il principale strumento utilizzato per scegliere le politiche energetiche applicate e questo giustifica l'uso diffuso dell'energia nucleare in sostituzione dei combustibili fossili. La stessa sostenibilità tecnica e finanziaria, tuttavia, sembra essere l'elemento che potrebbe fare deviare la strategia energetica francese dalla via del nucleare: sebbene le più recenti proposte politiche continuino a concentrarsi sullo sviluppo e l'ampliamento delle centrali nucleari, gli investimenti necessari per la realizzazione di impianti di nuova

generazione o per modernizzare quelli esistenti sono molto alti ed emergono dubbi sulla possibilità di avere un reale ritorno rispetto ad altre soluzioni. A questi problemi si aggiungono quelli legati alla gestione del combustibile nucleare negli impianti attivi: secondo un recente rapporto della *Court de Comptes*, lo stoccaggio dei rifiuti sarà saturato entro il 2030 e nell'ipotesi che il numero degli impianti non sia aumentato. Sono necessari almeno interventi di adeguamento dei siti di raccolta. Inoltre, alcuni degli impianti esistenti sono considerati troppo vecchi e inefficienti, avrebbero bisogno di essere adeguati alle nuove norme, ma un intervento comporterebbe almeno tre problemi: la necessità di compensare la produzione di energia durante i lavori di ristrutturazione, la necessità sostenere tale onere e metterlo in relazione con il rendimento futuro dell'impianto e lo smaltimento del combustibile nucleare inutilizzato e non riutilizzabile per nuovi impianti.

Al momento, il governo francese non sembra voler deviare dalla linea di sostegno al nucleare né intraprendere lavori di adeguamento del sistema nucleare per portarlo a nuovi standard di efficienza e smaltimento delle scorie, ma i problemi che emergono all'orizzonte dovranno essere affrontati al più presto e potrebbero portare ad un significativo ridimensionamento del nucleare nel pacchetto energetico della Francia.

Caratteristiche dei principali cambiamenti in Francia.

<i>Decisione chiave / politica</i>	<i>Cambiamenti rilevanti</i>	<i>Attori coinvolti</i>	<i>Resistenza ai cambiamenti e problemi</i>	<i>Cambiamenti collegati</i>
1978-81 preferenza per l'energia nucleare rispetto alle energie rinnovabili	La Francia abbandona lo sviluppo delle energie rinnovabili ritenute poco redditizie, segnando un distacco dagli altri Paesi europei.	Esclusione di operatori e ricerca nelle energie rinnovabili.	Ritardo nello sviluppo delle energie rinnovabili.	Sistema energetico nazionale fortemente orientato al sostegno del settore nucleare.
1996-98 Liberalizzazione del mercato dell'energia	Le maggiori aziende francesi (EDF e Engie) rimangono i principali attori, ma si creano le condizioni per nuovi operatori nazionali e internazionali.	I principali attori continuano a "gestire" il settore.		Maggiore scelta per i consumatori sui fornitori di energia elettrica e gas, minori vincoli sulle offerte delle aziende.

Creazione del Fond Chaleur (2008)	Destinazione dei fondi ad energie rinnovabili.		Obiettivi di quota di energia rinnovabile nel mix energetico non raggiunti.	Sviluppo e implementazione di sistemi a biomasse, geotermici, solari e biogas.
Progetti di produzione di energia rinnovabile in Occitania con una forte partecipazione della comunità nella governance e nel finanziamento (2014)	Bandi congiunti di ADEME e istituzioni regionali che hanno favorito la nascita di oltre 60 cooperative locali e imprese cittadine in Occitania. Diffusione di questo tipo di progetto in tutta la Francia.	I principali attori sono esclusi da questi progetti a causa dello sviluppo di impianti su base locale.	Nessuna fonte di opposizione. Sviluppo squilibrato dei progetti dovuto alle diverse scelte delle amministrazioni locali nella gestione degli appalti.	Sviluppo delle energie rinnovabili attraverso le cosiddette comunità energetiche (Communauté d'EnR). Lo sviluppo su base locale ha consentito ai cittadini e alle comunità di partecipare attivamente alla transizione energetica.
Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (2015)	Piano strutturato intorno a quattro punti principali - Introduzione della Carbon tax. - Istituzione dei Certificats d'Économie d'Énergie (CEE) per migliorare l'efficienza energetica. - Rinnovo del Fond Chaleur per lo sviluppo delle energie rinnovabili. - Bonus ecologico per incentivare l'acquisto di veicoli a basse emissioni.	Chiusura degli ultimi impianti a carbone entro la fine del 2022 e riduzione del 75% dei consumi di carbone nei settori industriali (escluso l'acciaio). Ridimensionamento per gli attori della filiera del carbone.	Creazione di movimenti di protesta di cittadini e ambientalisti soprattutto contro l'eolico marino. Persistenza di problemi nel raggiungimento degli obiettivi del Fond Chaleur.	Impatto positivo sulla crescita economica e sull'occupazione. Gli aiuti finanziari per i lavori di ristrutturazione di case ecologiche hanno contribuito a ridurre le bollette energetiche.
Proposta presidenziale per investimenti energetici suddivisi tra nucleare e rinnovabili (febbraio 2022)	La proposta prevede la costruzione di sei nuove centrali nucleari e di un parco eolico, oltre al massiccio sviluppo dell'energia solare.	Preoccupazione degli ambientalisti sia per il peso preponderante del nucleare sia per l'ubicazione dell'impianto eolico vicino ai centri abitati.	Problemi legati all'attuale capacità di stoccaggio delle scorie nucleari, che secondo le previsioni della Cour des comptes potrebbe essere saturata entro il 2030. Costi elevati per la realizzazione degli impianti.	Creazione di un mix energetico formato da nucleare (maggioranza) e rinnovabili per raggiungere l'indipendenza energetica della Francia.

3.2 L'analisi dei PNRR

Una più ampia concettualizzazione del policy mix include strategie politiche, caratteristiche del policy mix e processi di attuazione delle politiche. Noi ci focalizziamo su strategie e strumenti.

La strategia è una combinazione di scopi interdipendenti e di piani per raggiungerli. Gli scopi possono essere espressi attraverso obiettivi quantitativi e possono essere basati su una visione più o meno esplicita del futuro. I piani di solito delineano il percorso generale che il governo propone per raggiungere gli obiettivi. Consideriamo le linee o le componenti in cui si articola la strategia dei PNRR dei due paesi e gli strumenti politici coinvolti e ne diamo il peso in termini di distribuzione delle risorse finanziarie.

La strategia di politica energetica del PNRR italiano

Analizziamo le due componenti della strategia di politica energetica: “M2C2: energie rinnovabili, idrogeno, rete e mobilità sostenibile” e “M2C3: efficienza energetica e riqualificazione degli edifici”. La prima consente di raggiungere obiettivi strategici di decarbonizzazione attraverso l'aumento della quota di energia rinnovabile, la digitalizzazione delle infrastrutture di rete, la promozione della produzione e dell'uso dell'idrogeno e lo sviluppo di un trasporto locale più sostenibile. La seconda linea mira ad aumentare l'efficienza energetica degli edifici pubblici e privati.

Le due componenti si articolano nei seguenti sottosistemi:

- M2C2.1 Aumentare la quota di energia prodotta da fonti energetiche rinnovabili: 5,9 miliardi di euro.
- M2C2.2 Potenziare e digitalizzare le infrastrutture di rete: 4,1 miliardi di euro.
- M2C2.3 Promuovere produzione, distribuzione e uso dell'idrogeno: 3,2 miliardi di euro.
- M2C2.4 Sviluppare un trasporto locale più sostenibile: 8,6 miliardi di euro.
- M2C2.5 Sviluppare la leadership internazionale, industriale e di R&S nelle principali filiere della transizione: 2,0 miliardi di euro.
- M2C3 Efficienza energetica e ristrutturazione degli edifici: 15,4 miliardi di euro.

Più in dettaglio, le componenti sono caratterizzate da vari sottoinsiemi il cui scopo è delineato di seguito. Il finanziamento e le quote sono distribuiti su 5 anni dal 2021 al 2025.

La componente M2C2, Energie rinnovabili, idrogeno, rete e mobilità sostenibile (23,8 miliardi di euro di finanziamenti complessivi) è caratterizzata da: (i) un investimento innovativo relativamente significati-

vo nel trasporto locale pubblico e privato; (ii) attenzione specifica alle fonti rinnovabili che comprende la realizzazione di impianti agro voltaici sperimentali, la ricerca e lo sviluppo sperimentale nell'eolico offshore, la conversione di impianti di biogas a biometano e la promozione della produzione e dell'utilizzo di energia rinnovabile a livello di comunità locale; (iii) un obiettivo di efficientamento dell'infrastruttura della rete elettrica attraverso la digitalizzazione; (iv) produzione, distribuzione e promozione degli usi finali dell'idrogeno nell'industria siderurgica, nei trasporti stradali e ferroviari (quando l'elettrificazione dei treni non è tecnicamente fattibile). Prevede inoltre il finanziamento di progetti di Ricerca e Sviluppo sull'idrogeno per un importo di 0,16 miliardi di euro in 5 anni e un incentivo per i progetti innovativi delle PMI nel campo dell'idrogeno (v) il rafforzamento delle filiere nei settori fotovoltaico ed eolico, nella produzione di batterie per il trasporto e per il settore elettrico, per un importo complessivo di 1 miliardo di euro in 5 anni.

La componente M2C3, Efficienza energetica e riqualificazione edilizia: (15,4 miliardi di euro di finanziamento complessivo), comprende: (i) il finanziamento della riqualificazione energetica e sismica di edifici residenziali e social housing per un importo complessivo di 13,9 miliardi di euro in 5 anni; (ii) lo sviluppo di 330 km di nuove reti di teleriscaldamento efficienti e la realizzazione di impianti o allacciamenti per il recupero del calore di scarto per 360 MW, in modo da risparmiare energia primaria fossile e ridurre le emissioni di gas serra, con un finanziamento di 0,2 miliardi di euro in 5 anni.

Gli strumenti di policy orientati all'offerta sono: (i) finanziamenti a progetti industriali di PMI a contenuto innovativo attraverso Accordi di Innovazione, Contratti di Sviluppo e Accordi di Sviluppo nel settore fotovoltaico, eolico e batterie; (ii) investimenti infrastrutturali: reti di teleriscaldamento efficienti; infrastrutture industriali ad alta tecnologia; infrastrutture di ricarica elettrica; potenziamento del sistema di distribuzione dell'energia elettrica e aumento della resilienza climatica delle reti. Questi ultimi due interventi prevedono un importo di finanziamento di 4,1 miliardi di euro (iii) rinnovo del parco autobus e treni green per il trasporto locale (3,6 miliardi di euro). Sono inoltre previsti interventi di sostegno a start-up e Venture Capital nei settori delle energie rinnovabili, dell'economia circolare, della mobilità, dell'efficienza energetica, della gestione dei rifiuti, dello storage energetico (0,25 miliardi di euro).

La componente degli strumenti di policy orientati alla domanda riguarda la promozione della produzione e dell'uso di energia rinnovabile a livello di comunità locale per un importo di 2,2 miliardi di euro e la

riqualificazione energetica e sismica degli edifici residenziali sulla base di incentivi fiscali per un importo di 13,9 miliardi di euro.

Per il finanziamento della ricerca e sviluppo nel campo altamente innovativo dell'idrogeno verde è previsto un finanziamento di 0,16 miliardi di euro.

La strategia prevista nel PNRR italiano non si discosta molto da quella passata. Non ha un forte centro trainante sul lato dell'offerta, ma si struttura in modo alquanto frammentato sul sostegno alle comunità locali di autoconsumo, realtà ancora in fase sperimentale, e sulla connessa diffusione del fotovoltaico, che si accompagna alla conversione dal biogas al biometano, ad un potenziamento dell'eolico e alla produzione di batterie, ma per una quantità limitata di risorse. Dal punto di vista degli investimenti per il futuro e di un sostanziale cambiamento tecnologico, gli investimenti previsti in ricerca e sviluppo nel campo dell'idrogeno sono limitati e caratterizzati da incentivi per le PMI e le start-up.

Sul fronte della domanda, è previsto un intervento significativo per l'efficienza energetica e sismica degli edifici residenziali e un intervento per il trasporto locale, piuttosto che per le grandi reti di trasporto ferroviario, dove è previsto un utilizzo finale di idrogeno in caso di mancata eventuale elettrificazione.

La trasformazione dei processi di produzione industriale si concentra sull'industria siderurgica e tiene poco conto della necessità di un ampio intervento sui processi di produzione industriale.

Le linee della strategia del PNRR francese

Le componenti della strategia di transizione energetica francese sono:

- Componente 1. Riqualificazione energetica degli edifici: 2 miliardi di euro.
- Componente 2. Decarbonizzazione dell'industria: 1,2 miliardi di euro.
- Componente 3. Infrastrutture verdi e mobilità.
- Componente 4.1. Sviluppo idrogeno: 2 miliardi di euro.
- Componente 4.2. Sostegno al settore aeronautico: 1,87 miliardi di euro.
- Componente 4.3. Ricerca e sviluppo: 3,4 miliardi di euro.

Più in dettaglio, le componenti sono strutturate come segue:

Componente 1. Riqualificazione energetica: (i) Piano di riqualificazione degli edifici privati: ristrutturazione e riqualificazione energetica degli edifici privati e campagna di comunicazione (2 miliardi di euro di cui 1,4 da PNRR); (ii) Riqualificazione energetica e riqualificazione del social housing con

l'ambizione di far emergere soluzioni "industriali" francesi per la riqualificazione energetica ad alte prestazioni (500 milioni di euro in 4 anni, 2021-2024); (iii) Riqualificazione energetica degli edifici pubblici dell'istruzione superiore e della ricerca e degli altri edifici pubblici degli enti locali (4 miliardi di cui 3,8 da PNRR); (iv) Riforma della termoregolazione degli edifici (2021-2028); (v) Rinnovo energetico delle PMI (200 milioni di euro di cui 120 milioni di euro dal PNRR).

Componente 2. Decarbonizzazione dell'industria: l'obiettivo è sviluppare i processi produttivi attraverso l'elettrificazione e la decarbonizzazione della produzione di calore (1,2 miliardi di euro di cui 300 milioni di PNRR).

Componente 3. Infrastrutture verdi e mobilità: (i) Attuazione di un piano di sostegno al settore ferroviario nazionale, per offrire un'efficiente alternativa al trasporto su gomma (4,7 miliardi di euro di cui 4,39 miliardi di euro da PNRR); (ii) Aiuti per l'acquisto di veicoli puliti nell'ambito del piano auto (bonus, premio di conversione, innovazioni per la mobilità elettrica) a sostegno sia della domanda che dell'innovazione del settore (1,9 miliardi di euro di cui 985 milioni di euro dal PNRR); (iii) Mobilità quotidiana: sviluppare progetti di trasporto pubblico locale (1,2 miliardi di euro di cui 0,9 miliardi di PNRR); (iv) Accelerazione dei lavori sulle infrastrutture di trasporto (550 milioni di euro di cui 350 milioni di euro da PNRR); (v) Transizione ecologica dei porti: rafforzamento dei porti marittimi e della loro competitività offrendo alle navi carburanti alternativi meno inquinanti del petrolio (200 milioni di euro); (vi) Migliorare la resilienza delle reti elettriche e la transizione energetica nelle zone rurali (50 milioni di euro).

Componente 4.1 Sviluppo dell'idrogeno: Sviluppo di idrogeno privo di carbonio. I beneficiari sono la filiera dell'idrogeno e i centri di Ricerca e Sviluppo (2 miliardi di euro di cui 1,9 da PNRR).

Componente 4.2 Sostegno al settore aeronautico: Piano di sostegno al settore dell'aviazione per riqualificare i dipendenti e decarbonizzare l'aviazione (1,87 miliardi di euro di cui 1,67 miliardi di euro dal PNRR).

Gli strumenti di policy dal lato dell'offerta sono: (i) sostegno sotto forma di aiuto di Stato fino a 45 milioni di euro per le imprese impegnate nella transizione ecologica e aiuto di Stato forfettario fino a 35 milioni di euro per PMI; (ii) bandi per il finanziamento di progetti per l'efficienza energetica e l'adeguamento dei processi produttivi (compresa l'elettrificazione) di imprese industriali, che rappresentano un investi-

mento superiore a 3 milioni di euro; (iii) investimenti in infrastrutture per il trasporto ferroviario di merci, treni notte, ricapitalizzazione di SNCF per 4,05 miliardi di euro, interamente destinati al gestore dell'infrastruttura in monopolio.

Dal lato della domanda gli strumenti di policy sono: (i) credito d'imposta per le famiglie e le piccole imprese per la ristrutturazione e l'efficientamento energetico degli edifici; (ii) bonus ecologici, bonus di conversione, meccanismo di microcredito per le famiglie e le imprese del settore dei trasporti; (iii) finanziamento di aiuti per progetti che contribuiscono alla transizione energetica nelle zone rurali; (iv) supporto (sovvenzioni, prestiti, finanziamenti) alle compagnie aeree per la modernizzazione, la trasformazione digitale e ambientale.

Quanto agli Interventi normativi: divieto di installazione o sostituzione di caldaie a gasolio, attuazione delle disposizioni normative relative agli obblighi di riduzione del consumo energetico nel settore terziario per ridurre il consumo energetico negli edifici, che rappresenta il 45% delle emissioni di gas serra in Francia.

Gli interventi nel campo della Ricerca e sviluppo includono: (i) finanziamenti a imprese, enti di ricerca e al settore aeronautico per progetti innovativi per l'accelerazione dell'idrogeno; (ii) *il quarto Programme d'Investissement d'Avenir* (PIA 4) che si compone di sette strategie: filiera dell'idrogeno carbon free, filiere industriali da decarbonizzare, sistema agricolo, economia circolare, città innovative, mobilità, settore delle biotecnologie industriali e dei bioprodotto. Per ognuno di essi è stata istituita una dotazione globale con un regime di finanziamento costituito da stanziamenti PIA per il sostegno della ricerca e dell'innovazione, integrati da stanziamenti del bilancio dello Stato per la sua mobilitazione e massificazione su larga scala.

La strategia del piano francese, come nel caso italiano, è fortemente influenzata dalla dipendenza dalla storia passata. La Francia ha un ritardo nello sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili, ma un forte orientamento all'indipendenza energetica, sostenuto da una politica di approvvigionamento mirata e ambiziosa.

Il Piano si concentra quindi su un intervento importante per lo sviluppo della tecnologia del futuro, l'idrogeno verde. In un orizzonte più ravvicinato, prevede la decarbonizzazione dei processi industriali e affida queste due importanti linee al *Programme d'Investissement d'Avenir*, con finanziamenti nazionali, complementari a quelli europei. Una voce importante di questa trasformazione, dal lato della domanda, riguarda gli usi finali dell'energia nel settore

aeronautico e nel trasporto ferroviario nazionale. Le componenti con maggior peso in termini di finanziamento nel Piano francese riguardano in primo luogo la ricerca e lo sviluppo, seguita dallo sviluppo dell'idrogeno, anch'esso compreso nella componente precedente, e dall'intervento per la riqualificazione energetica degli edifici.

4. Analisi interna dei policy mix nei due paesi

Le principali caratteristiche dei policy mix proposte in letteratura sono: consistenza, credibilità, completezza e coerenza.

La Consistenza può variare dall'assenza di contraddizioni [consistenza debole] all'esistenza di sinergie [consistenza forte] all'interno e tra gli elementi del policy mix (Rogge e Reichardt, 2016). Comporta contraddizioni o sinergie tra scopi e roadmap/componenti della strategia, tra strategia e mix di strumenti e tra mix di strumenti

La Credibilità include una chiara visione politica, una ferma volontà politica e segnali politici inequivocabili. Una strategia politica credibile dovrebbe essere ambiziosa, stabile e con obiettivi tecnologici specifici a lungo termine (Reichardt e Rogge, 2016). Segnali politici inequivocabili possono rafforzare le prospettive per future opportunità di mercato verde.

Per quanto riguarda la Completezza del mix di strumenti, la letteratura suggerisce che sono necessarie misure specifiche per affrontare specifici fallimenti del sistema associati alle transizioni di sostenibilità (Weber e Rohracher, 2012). Questo comporta una buona combinazione di politica della domanda e dell'offerta. I migliori risultati possono essere ottenuti se vi è complementarità all'interno dei mix di politiche.

Per quanto riguarda la Coerenza si può fare riferimento alla presenza di pianificazione strategica, comunicazione e coordinamento (Ashoff, 2005; Den Hertog e Stroß, 2011; OCSE, 1996).

Le transizioni verso l'abbandono del carbone richiedono sforzi politici strategici da realizzare sia in termini di velocità che di direzionalità (Rogge et al, 2017). Riguardano un cambiamento strutturale del sistema energetico socioeconomico, compreso il phase-out dal nucleare o del gas e la promozione di forti investimenti in ricerca e sviluppo, un cambiamento nei processi di produzione industriale e nei comportamenti di consumo.

Se confrontiamo le strategie del PNRR tra i nostri due casi di studio, l'Italia mostra una consistenza più debole tra la prospettiva di un cambiamento radicale da una configurazione sociotecnica all'altra e i per-

corsi o la road map disegnata. Si riscontra quindi una buona consistenza tra questo tipo di strategia debolmente coerente e il mix di strumenti progettato e, ad una valutazione ex-ante, non emerge conflitto tra gli strumenti (incentivi finanziari per diversi beneficiari e crediti fiscali). La strategia PNRR della Francia

mostra una maggiore consistenza tra la portata di un cambiamento strutturale e i suoi strumenti.

La tabella seguente riporta i punteggi per caratteristica del policy mix e per Paese. I punteggi hanno il seguente significato: 0= assenza; 1= debole; 2 = forte.

Caratteristiche del policy mix.	Punteggi	
	Italia	Francia
Consistenza (strategia)	1	2
Consistenza (mix di strumenti)	2	2
Consistenza (strategia e strumenti)	2	2
Credibilità	1	2
Completezza	1	1
Coerenza	1	1

Una transizione energetica è sempre radicata in contesti politici preesistenti ed è caratterizzata dalla resistenza al cambiamento, ecco perché la credibilità politica è importante per creare fiducia e attirare l'impegno delle imprese e dei consumatori al cambiamento. In entrambi i nostri casi di studio il PNRR è caratterizzato da una sorta di inerzia rispetto all'approccio politico passato, che penalizza maggiormente l'Italia, dove ambizione, stabilità e obiettivi di lungo termine specifici per la tecnologia sono più deboli.

In entrambi i paesi, la completezza del policy mix è debole, poiché non c'è un equilibrio tra le politiche della domanda e dell'offerta. L'Italia ha un orientamento più forte verso un approccio *pull*, mentre vi è una debolezza dal lato dell'offerta, in particolare nella politica industriale (cambiamento o adeguamento dei processi produttivi, trasformazione delle industrie ad alta intensità energetica). Nel caso della Francia il

fulcro della politica è dal lato dell'offerta, allo stesso tempo non c'è una strada chiara per un'eliminazione graduale del nucleare, né incentivi sufficienti per modificare i comportamenti dei consumatori finali.

Se definiamo la coerenza delle politiche come un attributo che riduce sistematicamente i conflitti e promuove le sinergie tra le diverse parti interessate e all'interno delle aree politiche, attraverso la comunicazione, l'intervento rapido e il coordinamento per raggiungere obiettivi politici concordati, entrambi i paesi presentano una debole coerenza politica, poiché nel PNRR c'è solo un piccolo spazio per le campagne di informazione/comunicazione e per la partecipazione degli stakeholders.

Un altro modo per valutare la politica di transizione a basse emissioni di carbonio incorporata nei PNRR può essere dato dalla relazione tra coerenza e uniformità di obiettivi e strumenti (Kern e Howlett 2009).

Obiettivi e strumenti		
	Strumenti	
Obiettivi	Consistenti	Inconsistenti
Coerenti	<p style="text-align: center;"><u>Sostituzione</u></p> <p>Sforzo cosciente fatto per ricreare o ristrutturare le politiche attraverso la sostituzione di obiettivi e mezzi.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Conversione</u></p> <p>Nuovi strumenti si evolvono mantenendo costanti i vecchi obiettivi.</p>
Incoerenti	<p style="text-align: center;"><u>Deriva</u></p> <p>Nuovi obiettivi sostituiscono quelli vecchi senza cambiare gli strumenti utilizzati per realizzarli.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Stratificazione</u></p> <p>Nuovi obiettivi e strumenti si aggiungono a quelli vecchi.</p>

In entrambi i casi i nuovi obiettivi hanno sostituito i vecchi ma gli strumenti non sono cambiati allo stesso modo, questo non può produrre una politica coerente, anche se la consistenza tiene. Requisiti importanti per un processo di transizione come quello della decarbonizzazione dei sistemi energetici sono il reindirizzamento e l'accelerazione del cambiamento tecnologico, ma i nuovi scopi devono essere coerenti con il disegno degli strumenti, altrimenti, anche a prescindere da shock esterni, il processo può rallentare o prendere una direzione non prevista.

5. Problemi e vincoli emersi nel dibattito sui PNRR

Uno sviluppo importante nella letteratura sui policy mix riguarda anche la comprensione dei processi di implementazione attraverso cui le politiche hanno effetti (Flanagan, 2011). Potrebbe essere definito come lo studio delle interazioni nel tempo tra la politica pubblica e gli attori, gli eventi e i contesti circostanti, nella ricerca di soluzioni ai problemi della società - con il governo come agente primario che prende decisioni deliberate e autorevoli. Si tratta di processi interattivi di riconciliazione con vari effetti di retroazione, molto importanti nel contesto delle transizioni sostenibili, che riguardano una larga serie di attori coinvolti con interessi e idee a volte in conflitto. In un'analisi ex ante, come quella qui presentata, possiamo utilizzare le criticità emerse nel dibattito che ha accompagnato la scrittura del PNRR, per valutare il carattere più o meno sfidante dell'attuazione della policy.

Per l'Italia si possono evidenziare tre criticità: il peso delle procedure burocratiche e autorizzative che rallentano il processo di investimento; la dipendenza dall'importazione di componenti elettronici, principalmente dall'Asia, che comporta un rischio per la qualità, i costi e la sicurezza dell'approvvigionamento; l'elevata incertezza sulla diversificazione delle fonti energetiche, che scoraggia gli investitori privati. Tutti e tre questi aspetti non trovano soluzione all'interno del PNRR e rappresentano vincoli importanti sulla strada della trasformazione del sistema energetico del Paese.

Per la Francia le criticità riguardano: la richiesta degli ambientalisti europei alla Commissione di eliminare nucleare e gas dalla tassonomia europea delle energie verdi; la territorializzazione del PNRR: secondo la *Court des Comptes* l'attuazione territoriale delle misure manca di sufficiente coordinamento; sempre secondo la *Court des Comptes*, non è stata prestata sufficiente attenzione all'aspetto delle competenze e delle capacità di cui mancano le piccole imprese e le zone rurali e per le quali non è sufficiente

un incentivo finanziario; infine, l'interrelazione tra il PNRR e altre misure nazionali, come il Programme d'Investissement d'Avenir (PIA4), rende molto complessa la politica di monitoraggio del PNRR.

6. Risultati

Una valutazione qualitativa della progettazione dei policy mix nazionali per la transizione sostenibile in campo energetico ha mostrato alcuni specifici punti deboli: completezza e coerenza del programma per entrambi i paesi e scarsa credibilità politica per il caso italiano. In questo Paese la direzionalità della politica di decarbonizzazione è ancora debole.

Una misura della distanza tra i PNRR e le criticità della passata strategia energetica del Paese può essere data osservando il bilanciamento tra l'introduzione di innovazioni e la dismissione del vecchio regime all'interno del policy mix. I fallimenti della passata politica energetica, che emergono dai percorsi di ciascun paese, non sono compensati dai PNRR. L'incertezza sul futuro del nucleare in Francia (costi di disinvestimento e costi per continuare a investire) non trova sbocco in tempi medio-brevi nel PNRR francese, dove gli sforzi sono concentrati su un cambiamento radicale verso l'idrogeno verde. Nel caso italiano, il fallimento della politica passata è rappresentato dalla mancanza di una direzione forte verso un'innovazione mirata al lungo periodo. Nel nostro Paese la passata politica energetica ha favorito un graduale processo di cambiamento attraverso tecnologie ibride e mature. Lo Stato ha sostenuto l'adozione dell'energia fotovoltaica da parte degli utenti finali, ma la dipendenza energetica nazionale è rimasta un problema irrisolto. Il PNRR non spinge verso una politica più focalizzata sull'offerta industriale e su maggiori investimenti in ricerca e sviluppo.

Possiamo avere un'idea dei possibili risultati attesi dai PNRR anche osservando gli aspetti problematici dell'attuazione delle politiche sollevati da voci critiche e la capacità dei PNRR di considerare e affrontare tali aspetti. Le principali criticità emerse dal dibattito intorno ai PNRR mostrano che l'accelerazione e la direzione del cambiamento trasformativo possono ricevere molti arresti e potrebbero richiedere alcuni aggiustamenti, con i relativi costi, in entrambi i Paesi. Ad esempio, in Italia lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili può incontrare ostacoli da parte di molti attori, in particolare le amministrazioni locali e regionali, i comitati civici locali, gli Assessorati alla tutela dei beni culturali nazionali e locali.

Questi tre aspetti (caratteri interni del policy mix, caratteri esterni o capacità di superare i fallimenti

transitori della passata politica energetica e capacità di affrontare le criticità dell'attuazione delle politiche) consentono di comprendere la posizione di ciascun Paese rispetto agli obiettivi fissati nella Strategia europea del Green Deal nei settori dell'energia e della mobilità.

7. Conclusioni

Comprendere i percorsi di decarbonizzazione implica stimare le strategie e le azioni introdotte dai vari attori istituzionali, con particolare attenzione al ruolo del governo. Tuttavia, tale stima non può ancora avvalersi pienamente di una valutazione dei risultati rispetto agli obiettivi, dati da un lato i tempi recenti dell'introduzione di alcune misure e dall'altro i tempi medio-lunghi necessari per un cambiamento importante, come quello inscritto nella transizione ecologica.

L'analisi del portafoglio di strumenti messi in atto potrebbe contribuire ad una valutazione ex-ante. Abbiamo quindi scelto di verificare quanto un certo utilizzo del framework del policy mix sia in grado di informare il posizionamento dei paesi rispetto all'obiettivo comune del Green Deal europeo.

L'analisi si è concentrata sull'utilizzo del policy mix in versione estesa. La combinazione dell'analisi dei caratteri interni del policy mix e della presenza di una politica che unisse forte impulso innovativo ed attenzione al superamento dei blocchi al cambiamento presenti nei regimi energetici vigenti è stata piuttosto efficace per fornire una valutazione ex-ante delle strategie di decarbonizzazione dei Piani Nazionali di Ripresa e Resilienza. Il ruolo dei responsabili politici nella transizione sostenibile è cruciale. A loro spetta dare una direzione al cambiamento socioeconomico ed accelerarlo. I responsabili politici possono essere interessati a confrontare il loro approccio politico con quello di altri paesi; per questo, può essere utile un quadro analitico comune come il policy mix, in particolare quando viene condiviso uno scopo comune. Può essere utile guardare ad altre esperienze concernenti la capacità di indirizzare e accelerare le transizioni sociotecniche verso la sostenibilità. Allo stesso tempo, dato il diverso contesto in cui operano i decisori politici, le implicazioni di un'analisi basata sui policy mix non possono essere considerate in termini di imitazione dello stesso disegno del pacchetto di politiche, quanto piuttosto uno strumento per il processo riflessivo e di apprendimento dei responsabili politici.

La valutazione ex ante non può ovviamente prevedere i dettagli. Solo attraverso l'esperienza pratica

reale e l'apprendimento approfondito è possibile identificare e correggere i vantaggi e gli svantaggi dei percorsi di innovazione trasformativa.

Bibliografia

- Ashoff G., 2005, *Enhancing Policy Coherence for Development: Justification, Recognition and Approaches to Achievement*, Deutsches Institut für Entwicklungspolitik, Tulpenfeld.
- Bugge M., Coenen L., Marques P., Morgan K., 2017, Governing system innovation: assisted living experiments in the UK and Norway, *European Planning Studies*, 25, 2138-2156.
- Bugge M., Coenen L., Branstad A., 2018, Governing socio-technical change: orchestrating demand for assisted living in ageing societies, *Science and Public Policy*, 45,468-479
- Costantini V., Crespi F., Palma A., 2017. Characterizing the policy mix and its impact on eco-innovation: a patent analysis of energy-efficient technologies, *Research Policy*, 46, 799–819.
- Den Hertog L., Stroß S., 2011, *Policy Coherence in the EU System – Concepts and Legal Rooting of an Ambiguous Term*, Madrid.
- Flanagan K., Uyarra E., Laranja M., 2011. Reconceptualising the 'policy mix' for innovation, *Research Policy*, 40, 702–713.
- Geels F.W., 2002, Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study, *Research Policy*, 31, 1257-1274.
- Geels F. W., 2005. *Technological Transitions and System Innovations: A Co-evolutionary and Sociotechnical Analysis*. Edward Elgar, Cheltenham.
- Grillitsch M., Hansen T., Coenen L., Miorner J., Moodysson J., 2019, Innovation policy for system-wide transformation: the case of strategic innovation programmes (SIPs) in Sweden, *Research Policy*, 48, 48-1061.
- Haddad C. R., and Bergek A., 2023. Towards an Integrated Framework for Evaluating Transformative Innovation Policy, *Research Policy*, 52, 1046-76.
- Jacobsson S. and Bergek A., 2011. Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. *Environmental Innovation and Societal Transitions* Vol. 1, (1), 41-57.
- Kemp R., Schot J., Hoogma R., 1998, Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management, *Technology Analysis and Strategic Management*, 10, 175-198.
- Kern F., Howlett, M., 2009, Implementing transition management as policy reforms: a case study of the Dutch energy sector, *Policy Sciences*, 42, 391-408.
- Kern F., Rogge K. S., Howlett M., 2019. Policy mixes for sustainability transitions: New approaches and insights through bridging innovation and policy studies, *Research Policy*, 48 (10), 103832.
- Kivimaa P., Virkamäki V., 2014, Policy mixes, policy interplay and low carbon transitions: the case of passenger transport in Finland, *Environmental Policy and Governance*, 24, 28-41.
- Kivimaa P., Kern F., 2016. Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions, *Research Policy*, 45, 205–217.
- OECD, 1996, *Building Policy Coherence: Tools and Tensions*, OECD, Paris.
- OECD, 2016. *Policy Mix for Business R&D and Innovation*. https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-22
- Rip A., & Kemp, R., 1998. *Technological change*. In Rayner S., & Malone E. L. (Eds.), *Human choice and climate change*. Vol. II,

- Resources and Technology*, 327-399, Battelle Press.
- Rogge, K.S., Reichardt, K., 2016. Policy mixes for sustainability transitions: an extended concept and framework for analysis. *Research Policy* 45, 1620-1635.
- Rogge, K.S., Schleich, J., 2018. Do policy mix characteristics matter for low-carbon innovation? A survey-based exploration of renewable power generation technologies in Germany, *Research Policy*, 47, 1639-1654.
- Rotmans J., Kemp R., van Asselt M., 2001, More evolution than revolution: transition management in public policy, *Foresight*, 3, 1-17.
- Schmidt, S.T., Sewerin, S., 2019. Measuring the temporal dynamics of policy mixes, an empirical analysis of renewable energy policy mixes' balance and design features in nine countries, *Research Policy*, 48 (10), 103557.
- Weber K.M., Rohracher H., 2012. Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change, *Research Policy*, 41, 1037-1047.

BIANCA POTÌ

È ricercatrice associata all'Istituto CNR di ricerca sulla crescita economica sostenibile, IRCRES. I suoi interessi di ricerca sono economia e politica della ricerca e dell'innovazione. È stata professore a contratto di Economia dell'Innovazione all'Università di Cassino e professore a contratto di Sociologia della ricerca presso il Dipartimento di Scienze Sociali Applicate dell'università La Sapienza di Roma. Ha avuto responsabilità scientifica di progetti nazionali ed europei, Nel 2016-2017 è stata la coordinatrice della commissione sulla terza missione delle università italiane per l'Agenzia Nazionale di Valutazione. È stata visiting researcher presso il Centre de Sociologie des Organisations, CNRS/Science Po, Parigi, e il Centre de Sociologie de l'Innovation, Ecole Nationale Supérieure des Mines, Parigi. Fa parte della Scuola di dottorato in Scienze Sociali ed Economiche dell'università La Sapienza, Roma. Pubblica ed è revisore in numerose riviste internazionali.

She is an associate researcher at the National Research Council-IRCrES, Institute of research on economic and sustainable growth. Her scientific interests are economics and policy of research and innovation. She has been a contract professor of Economics of Innovation at the University of Cassino and of Sociology of Research and Innovation at the Department of Social Science, University La Sapienza, Roma. She had the scientific responsibility of national and European projects. In 2016-2017, she was the coordinator for the National Evaluation Agency of the commission on the Third mission of Italian Universities. She was visiting researcher at the Centre de Sociologie des Organisations, CNRS/Science Po, Parigi, and at the Centre de Sociologie de l'Innovation, Ecole Nationale Supérieure des Mines, Parigi. She is member of the Doctoral School in Social and Economic Sciences at the University La Sapienza, Roma. She publishes and is reviewer in many international journals.

Contatti

bianca.poti@ircres.cnr.it

LUCIO MORETTINI

È ricercatore presso l'Istituto di Ricerca sulla Crescita Economica Sostenibile (IRCRES) del CNR. Ha un Dottorato in Economia. I suoi principali interessi di ricerca sono le politiche per l'istruzione superiore, la valutazione della ricerca, la valutazione d'impatto e la dinamica occupazionale dei lavoratori con istruzione superiore.

He is researcher at the Research Institute for Sustainable Economic Growth (IRCRES) of the CNR. Ph.D in economics. His main research interests are higher education policies, research evaluation, impact assessment and employment dynamics of highly educated workers.

Contatti

lucio.morettini@ircres.cnr.it

RIFLESSIONI SUL FUTURO DEL MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA

Guido Saccone

Riassunto

Questo articolo esplora l'evoluzione futura dei motori a combustione interna (ICE), fonti cruciali di energia che attualmente forniscono il 25% dell'energia mondiale, contribuendo nel contempo al 10% delle emissioni globali di gas serra. Nonostante i progressi innovativi, serie preoccupazioni legate alle emissioni hanno indotto a riflettere sulla sostenibilità a lungo termine dei motori ICE. La nota propone una valutazione critica dei fattori che potrebbero influenzare il futuro dei motori ICE, come il ruolo dell'energia accessibile nello sviluppo globale, la vasta dipendenza dei motori ICE nell'infrastruttura dei trasporti e il notevole ridimensionamento dell'inquinamento recentemente conseguito dalla tecnologia dei motori ICE. Si affrontano le sfide poste dalle tecnologie alternative, in particolare dai veicoli elettrici, riconoscendone i limiti e la prevalenza attuale dei combustibili fossili nell'approvvigionamento globale di energia. Inoltre, l'articolo affronta la politicizzazione delle preoccupazioni sul cambiamento climatico legate ai motori ICE e sostiene la necessità di direttive governative informate e basate su valutazioni tecniche per facilitare una transizione realistica verso sistemi energetici sostenibili. Nonostante le sfide, la maggior parte degli ingegneri automobilistici esprime ottimismo riguardo all'importanza ancora oggi valida dei motori ICE nel soddisfare le esigenze globali di mobilità e generazione di energia. L'articolo si conclude prevedendo un futuro caratterizzato da una varietà di soluzioni, tra cui motori ICE, powertrain a batteria ed ibridi. Questo approccio multiforme è considerato essenziale per affrontare le complessità delle transizioni energetiche e garantire un futuro sostenibile per la società.

Abstract

This article explores the future evolution of internal combustion engines (ICE), crucial sources of energy that currently provide 25% of global energy while contributing to 10% of global greenhouse gas emissions. Despite innovative progress, serious concerns related to emissions have led to reflections on the long-term sustainability of ICE engines. The note provides a critical assessment of factors that could influence the future of ICE engines, such as the role of accessible energy in global development, the extensive dependence of ICE engines in transportation infrastructure, and the significant reduction in pollution achieved by ICE engine technology. The challenges posed by alternative technologies, particularly electric vehicles, are addressed, recognizing their limitations and the current prevalence of fossil fuels in global energy supply. Additionally, the article addresses the politicization of climate change concerns related to ICE engines and advocates for the need for well-informed government policies based on technical assessments to facilitate a realistic transition to sustainable energy systems. Despite the challenges, most automotive engineers express optimism regarding the continued importance of ICE engines in meeting global mobility and energy generation needs. The article concludes by envisioning a future characterized by a variety of solutions, including ICE engines, battery powertrains, and hybrids. This multifaceted approach is considered essential to address the complexities of energy transitions and ensure a sustainable future for society.

Parole chiave: *Combustione, Motore a combustione interna, Carburanti, Emissioni zero, Ecosostenibilità, Ricerca.*

Keywords: *Combustion, Internal Combustion Engine, Fuels, Zero Emissions, Sustainability, Research.*

1. Introduzione

La combustione è stato il primo processo chimico-fisico che l'umanità ha imparato a controllare e a sfruttare per i suoi peculiari scopi [1]. Infatti, la scoperta del fuoco o, meglio, l'invenzione dei metodi per innescare la combustione e mantenere accesa una fiamma affondano le origini nella lontana preistoria e sono materia di innumerevoli miti e leggende appartenenti a praticamente tutte le civiltà umane [2].

Il graduale miglioramento delle tecnologie della combustione è stato per lungo tempo la forza spingente del progresso tecnico-scientifico dell'umanità che ha trovato il suo momento di massimo impulso durante la Prima Rivoluzione Industriale con la formulazione delle leggi della termodinamica che hanno spianato l'avvento dell'odierna società ipertecnologica.

Nell'arco di circa due secoli e mezzo la civiltà occidentale, in prevalenza, ha sfruttato gran parte delle risorse energetiche del nostro pianeta accumulate nel

corso delle ere geologiche passate e immagazzinate nei depositi di carbone, petrolio e gas naturale presenti nei giacimenti sotterranei o sottomarini sparsi in varie regioni del globo terracqueo e da noi attualmente identificate come risorse fossili.

Sebbene le Rivoluzioni Industriali abbiano generato un considerevole progresso ed un generalizzato miglioramento sociale, economico, culturale e scientifico, ciò non è avvenuto senza gravi conseguenze climatiche e ambientali. Infatti, i prodotti della combustione, essenzialmente il biossido di carbonio, ma anche molte altre sostanze tossiche, inquinanti e in alcuni casi cancerogeno come il benzene, degli idrocarburi quali sono da un punto di vista chimico i combustibili fossili, si sono accumulati in quantità sempre più ingenti nell'atmosfera terrestre e più in generale nel nostro complesso e interconnesso ecosistema planetario. Ciò ha causato in maniera indiretta un'alterazione sempre più consistente dei delicati equilibri del clima della Terra innescando un crescente effetto serra, con conseguente riscaldamento globale, oltre ad aver danneggiato direttamente la salute delle persone che li hanno inalati o che sono venuti a contatto con essi.

Tuttavia, nonostante l'attenzione sempre più stringente alle problematiche ambientali e di ecosostenibilità, i processi di combustione sono ancora oggi imprescindibili in molteplici settori di attività della nostra odierna società, ad esempio, da quello industriale e manifatturiero a quello dei trasporti su strada, e ancor di più marittimi, aerei e spaziali. Si prevede, inoltre, che la combustione continuerà a rivestire un ruolo preminente ancora nei prossimi decenni.

Risulta chiaro però che in un futuro sempre più prossimo le tecnologie della combustione non potranno esimersi dall'assecondare con responsabilità e lungimiranza alcuni importanti vincoli quali: l'aumento dell'efficienza energetica ovvero la produzione di lavoro meccanico con il consumo di aliquote sempre più basse di combustibile, la riduzione delle emissioni inquinanti e clima-alteranti e il miglioramento dei requisiti di sicurezza.

I motori a combustione interna (ICE) che elaborano combustibile fossile forniscono circa il 25% della potenza mondiale ~3000 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio all'anno, su un totale di ~13.000 milioni [3] (Figura 1).

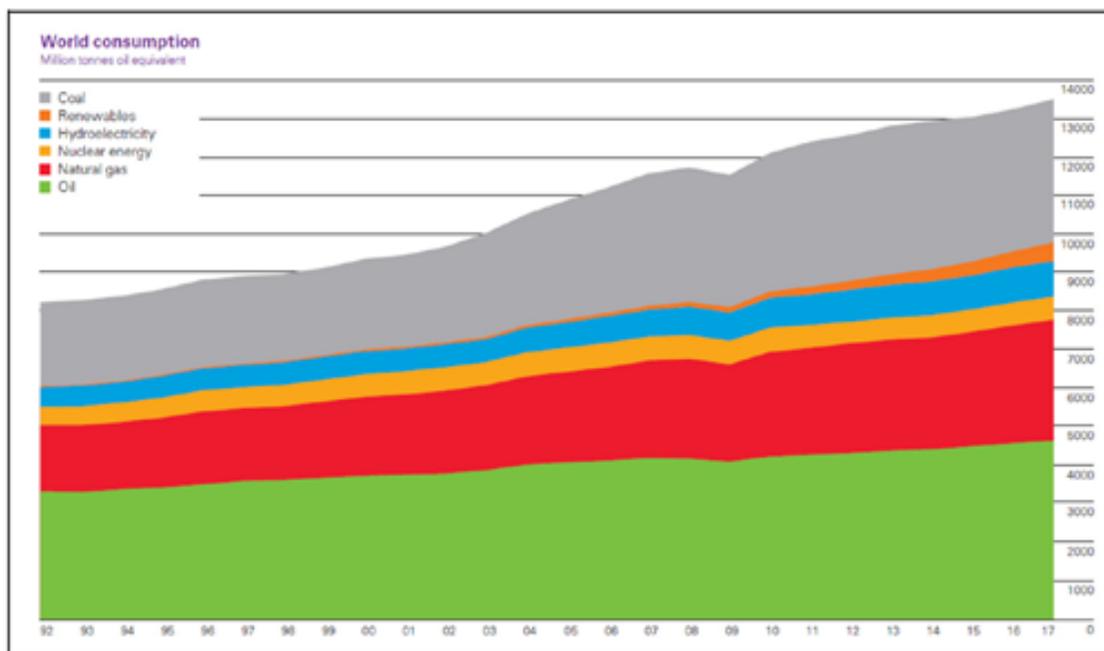


Fig. 1. Consumo mondiale di energia per sorgenti in milioni di barili di petrolio equivalente negli ultimi 25 anni. Circa il 70% del petrolio (ovvero circa 3000 milioni tonnellate equivalenti) è consumato dagli ICE [3].

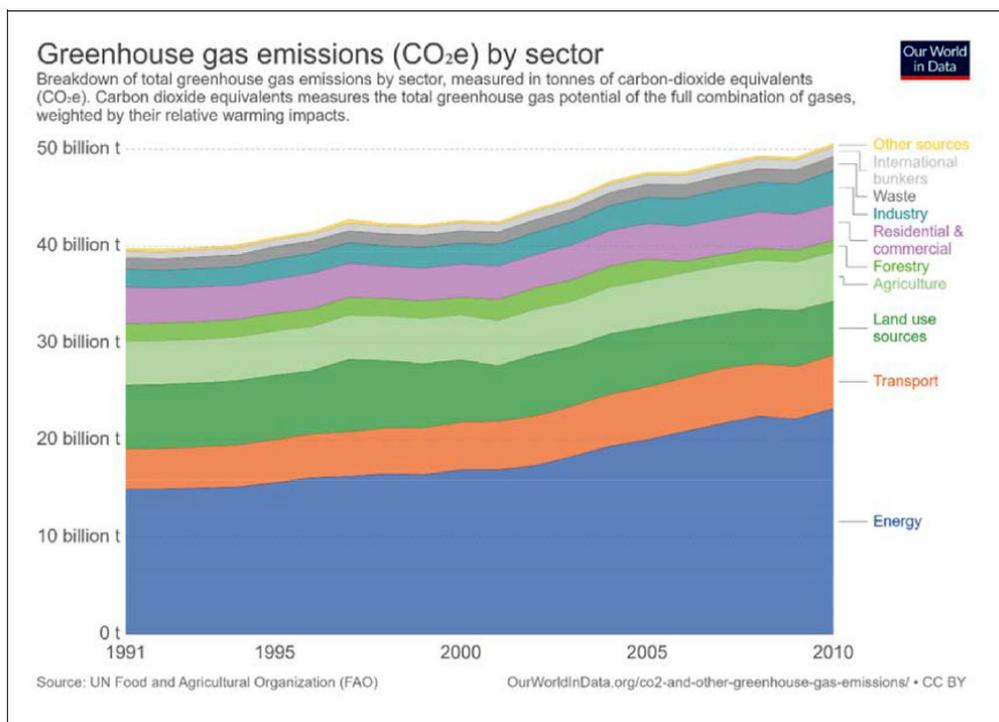


Fig. 2. Potenziale per il riscaldamento globale in tonnellate equivalenti di CO₂ per settore. Il contributo di quello dei trasporti è di circa il 10% [4].

Tuttavia, durante il loro funzionamento, producono circa il 10% delle emissioni globali di gas serra (GHG) (Figura 2).

Negli ultimi decenni, la riduzione dei consumi di carburante, il parallelo aumento dell'efficienza propulsiva e la drastica diminuzione delle emissioni sono stati gli obiettivi principali di ricercatori e produttori di motori e significativi progressi sono stati compiuti rendendo l'attuale motore ICE quasi una "meraviglia tecnologica".

Ciò nonostante, in risposta alle crescenti problematiche ambientali, sono state avanzate importanti proposte tramutate poi in direttive atte a sostituire i motori ICE con sistemi di propulsione elettrici, con l'obiettivo di ridurre ulteriormente le emissioni di GHG di automobili e altri mezzi di trasporto.

Considerando che la maturità della tecnologia del motore ICE è qualcosa che molte altre tecnologie non possiedono, è anche necessario valutare il potenziale per progressi futuri, nonché stabilire i benefici offerti dalle tecnologie concorrenti, al fine di formulare raccomandazioni responsabili per un avvenire ecosostenibile e al tempo stesso realistico.

I fattori che con ogni probabilità influenzeranno tale futuro sono discussi in questa nota e includono:

- La constatazione che l'energia accessibile è sta-

ta determinante nell'aumentare drasticamente lo standard di vita nel mondo, in particolare nei paesi poveri, e l'osservazione che finora nella storia dell'umanità, la combustione di carburanti fossili o derivati da biomassa è stata praticamente l'unica fonte affidabile di energia;

- La constatazione che l'intero pianeta è collegato da un'imponente infrastruttura di trasporto basata principalmente sul motore ICE e che la sua sostituzione richiederebbe decenni ed enormi investimenti economici;
- I notevoli progressi nella tecnologia del motore ICE che hanno abbassato i livelli di inquinanti di un fattore 1000 nei decenni passati e che ora rendono le emissioni di particolato derivanti dall'usura di pneumatici e freni un problema più rilevante rispetto alle emissioni del motore (problema presente sia nei veicoli a motore a combustione interna che nei veicoli elettrici);
- Gli ostacoli ancora affrontati dalle alternative proposte, come i veicoli elettrici alimentati da batterie, che presentano notevoli limitazioni in termini di costo, peso e altri aspetti, e che si spera possano essere alimentati da fonti rinnovabili, come eolico e solare, che

attualmente rappresentano solo una frazione minima dell'approvvigionamento energetico mondiale;

- L'osservazione che le preoccupazioni sull'impatto dei motori ICE sul cambiamento climatico sono diventate politicizzate, anche se devono essere valutate in modo imparziale. Si rileva la necessità di politiche governative informate, basate su dati scientifici, che promuovano una transizione energetica realistica verso sistemi sempre più sostenibili per l'ambiente.

Certamente, esplorare nuove tecnologie e motori concorrenti, così come nuovi carburanti, è importante per un futuro ragionevole per il nostro pianeta.

2. Il motore a combustione interna

Il trasporto di merci e persone è essenziale per la società moderna, e attualmente questo settore è quasi interamente alimentato da motori a combustione interna che utilizzano carburanti liquidi a causa della loro abbondante disponibilità, convenienza e accessibilità economica. Inoltre, i motori a combustione stazionari (ad esempio generatori) sono onnipresenti nelle nostre industrie e negli impianti di generazione di energia, che contribuiscono anche allo standard di vita mondiale. Infatti, la domanda di energia disponibile e conveniente sta aumentando con l'aumento della popolazione globale e della prosperità, in particolare nei paesi in via di sviluppo.

È importante notare che non esistono ancora alternative reali che possano competere con il motore a combustione interna su tutta la gamma di applicazioni e che, anche oggi, i motori a combustione interna sono oggetto di un continuo miglioramento.

Questi sviluppi rendono ancora più difficile per le tecnologie concorrenti ottenere vantaggi sul motore a combustione interna. Concentrandoci sul trasporto, la domanda di energia è molto elevata. Si stima che nel mondo siano in circolazione ~1,2 miliardi di veicoli leggeri e ~380 milioni di veicoli pesanti, e questi numeri sono in continuo aumento [4]. Per cui, la domanda giornaliera di carburanti liquidi supera gli ~11 miliardi di litri, ovvero 23.000 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio all'anno (Figura 1) [3].

Tutte le alternative rispetto ai motori a combustione interna alimentati da combustibili fossili, affrontano ostacoli molto significativi per una rapida adozione. Tuttavia, caratterizzazioni scorrette della combustione hanno portato a credere in molti settori che la morte del motore a combustione interna sia auspicabile e imminente.

Ampi margini per ulteriori miglioramenti nei motori ICE ancora sussistono con progressi nelle tecnologie di combustione, specialmente in combinazione con l'elettrificazione. Questo è stato riconosciuto dai principali produttori di apparecchiature, ad esempio, dalla Toyota S.p.A. che ha rilasciato pubblicamente molti dei suoi brevetti al fine di rendere quanto più accessibili a molteplici produttori le tecnologie ibride, che si ritiene incoraggeranno la fabbricazione di veicoli, inclusi gli ibridi con motori a combustione interna, gli ibridi *plug-in*, quelli con celle a combustibile e persino veicoli completamente elettrici.

3. Emissioni e ambiente

Nel corso della storia del motore a combustione interna e decenni prima che le preoccupazioni sul cambiamento climatico diventassero preminenti, i ricercatori hanno investito molti sforzi per migliorarne l'efficienza di combustione, ridurre le emissioni inquinanti e i costi operativi, e garantire l'uso ottimale delle risorse finite di carburante per le generazioni attuali e future. Negli ultimi quattro decenni, in risposta alle crescenti preoccupazioni sulla qualità dell'aria, la ricerca sulla combustione del motore, il post-trattamento dei gas di scarico e i controlli hanno portato a una riduzione di 1000 volte delle pericolose emissioni di scarico (particolato, NO_x, CO e idrocarburi incombusti).

Molti progressi in queste aree sono stati documentati da articoli tecnici pubblicati su svariate riviste di settore [5]. Recentemente, tuttavia, crescenti preoccupazioni sulla qualità dell'aria e sull'impatto delle emissioni di gas serra sul riscaldamento globale hanno iniziato a guidare politiche locali, nazionali e internazionali. Diverse iniziative chiedono cambiamenti drastici, e l'elettrificazione dei veicoli è fortemente promossa. Ad esempio, il *C40 Cities Climate Leadership Group*, un gruppo di 90 città del mondo che rappresenta più di 650 milioni di persone e un quarto dell'economia globale, si concentra sull'azione urbana per ridurre le emissioni di gas serra e i rischi climatici. Le richieste includono l'eliminazione dei motori a combustione interna dal trasporto urbano e l'uso di energia eolica e solare come fonti primarie.

Tuttavia, come mostrato nella Figura 1, l'energia eolica e solare forniscono solo una piccola frazione delle attuali esigenze energetiche. Nonostante i progressi tecnici e la riduzione dei costi per l'energia eolica e solare, sembra molto improbabile che la maggior parte delle fonti energetiche fossili verrà sostituita da alternative neutre dal punto di vista del carbonio nei prossimi due o tre decenni. L'indipendenza energetica

e la sicurezza energetica giocano un ruolo importante nella determinazione delle politiche in molti paesi. Le preoccupazioni climatiche devono essere bilanciate dall'osservazione che, secondo tutti gli indicatori/parametri oggettivi ed empirici dello sviluppo umano (ad esempio livelli di povertà assoluta, aspettativa di vita, percentuale della popolazione mondiale che è denutrita, istruzione, ecc.) il mondo è migliorato costantemente, specialmente nei paesi più poveri, nei decenni passati grazie alla disponibilità di energia accessibile e, in particolare, grazie alla combustione di combustibili fossili [6]. Il mondo in via di sviluppo continuerà a concentrarsi sulla crescita e sul miglioramento delle condizioni di vita, e ciò semplicemente non può essere realizzato solo con l'energia eolica e solare: la maggior parte dell'elettricità mondiale continuerà a provenire dalla combustione di carbone o gas naturale per decenni [6]. La giustizia climatica deve richiedere che i poveri del mondo (non solo l'élite nei paesi occidentali) abbiano il diritto a un tenore di vita più alto. Ciò richiede la disponibilità di energia accessibile, compresa quella proveniente dai combustibili fossili, fino a quando alternative proposte, come eolico e solare, ed eventuali tecnologie ancora non scoperte, diventino affidabili ed economicamente sostenibili.

Tuttavia, affinché ciò accada, sarà necessario superare significativi ostacoli, tra cui lo sviluppo dei mezzi per immagazzinare l'energia per l'uso quando in assenza di sole o vento. Infatti, lo sviluppo di batterie in grado di immagazzinare sufficiente energia per soddisfare le svariate esigenze è ancora un collo di bottiglia, che è stato persino segnalato da Thomas Edison a Henry Ford nella loro competizione per il controllo dei motori nel settore dei trasporti oltre 100 anni fa [6].

4. Motore a combustione interna ed elettrificazione

È probabile che la mobilità futura sarà caratterizzata da una combinazione di soluzioni, coinvolgendo veicoli elettrici a batteria e ibridi (BEV e HEV), veicoli elettrici a celle a combustibile e veicoli convenzionali, a seconda dell'accettazione del consumatore (ad esempio, il costo), del paese considerato e dell'applicazione specifica (città, paese, personale, merci, ecc.). Pertanto, il motore a combustione svolgerà ancora un ruolo centrale, sia che venga utilizzato per la generazione di energia o per alimentare il veicolo stesso, sia che venga adoperato nelle configurazioni di propulsione fortemente elettrificate. Per questo motivo, c'è un grande interesse nel migliorare l'efficienza termica dei motori a combustione interna senza aumenti significativi nei costi di acquisto e di

esercizio nel breve-medio termine. Questi obiettivi possono essere raggiunti attraverso miglioramenti nella combustione, nei sistemi di post-trattamento e controllo, e attraverso l'elettrificazione parziale sotto forma di ibridazione, insieme alla riduzione del peso del veicolo e a sistemi ausiliari più efficienti.

Nonostante ci sia attualmente un grande interesse nell'elettrificazione del trasporto, solo i BEV eliminano la necessità di un motore a combustione interna. Tuttavia, le analisi del ciclo di vita e dell'impatto dei gas serra dei BEV che considerano l'energia utilizzata nella generazione di elettricità e nella produzione delle batterie mostrano che il loro vero beneficio è significativamente inferiore a quanto appare a prima vista [6]. Molte analisi ignorano l'anidride carbonica a monte nell'estrazione, raffinazione e trasporto dei componenti chiave del sistema propulsivo BEV, così come nella produzione e distribuzione di elettricità. Grandi quantità di energia sono necessarie per estrarre le materie prime critiche fondamentali per batterie e motori elettrici (cobalto, litio, terre rare, ecc.), insieme a enormi quantità di acqua. Lo smaltimento a fine vita, in particolare la tossicità, deve anch'esso essere considerato nelle analisi del ciclo di vita. (Molte di queste considerazioni si applicano anche agli impianti per la generazione di energia eolica e fotovoltaica solare).

Inoltre, la costruzione di una nuova infrastruttura elettrica, in grado di ricaricare milioni di BEV, richiederà ulteriori materie prime e consumo di energia (con conseguenti emissioni di CO₂), e potrebbe essere limitata dalla disponibilità di materiali critici. L'alto costo dei BEV, rispetto ai veicoli a motore a combustione interna (convenzionali o ibridi), sta anche guidando lo sviluppo di metodi efficaci, ma precedentemente considerati non economici, per aumentare l'efficienza del motore a combustione interna con modalità di combustione avanzate e per ridurre ulteriormente le emissioni inquinanti. In questo senso, la competizione tra motori elettrici e motori a combustione interna sta stimolando un'evoluzione benefica del motore termico stesso.

5. Zero Emissioni

Si stima che il consumo di carburante nei veicoli ad accensione comandata potrebbe essere ridotto fino al 50% negli Stati Uniti rispetto alla media attuale, e le emissioni di CO₂ dal tubo di scarico potrebbero essere ridotte di conseguenza. Con catalizzatori e sistemi di controllo esistenti (che continuano a migliorare), il particolato, gli NO_x, gli idrocarburi incombusti e il CO potrebbero essere ridotti a livelli trascurabili sia

nei motori SI che nei motori Diesel.

Spesso, le emissioni di inquinanti e le emissioni di CO₂ dalla combustione vengono presentate come equivalenti, in modo che anche i motori con emissioni estremamente basse di inquinanti critici (NO_x, CO, idrocarburi incombusti e particolato) siano considerati inquinanti. Tecnicamente e praticamente, c'è una distinzione importante. Le emissioni di CO₂ accompagnano necessariamente qualsiasi processo di combustione degli idrocarburi o ossidazione chimica, compresa la vita umana e animale. L'anidride carbonica emessa da un motore è direttamente proporzionale al combustibile ad idrocarburi consumato, che viene costantemente ridotto grazie a miglioramenti tecnologici.

Per quanto riguarda gli inquinanti critici, l'obiettivo di raggiungere veicoli con "emissioni a impatto zero" è molto vicino, grazie a modalità di combustione avanzate e sistemi di post-trattamento innovativi, compreso l'ampio utilizzo di catalizzatori e filtri per particolato Diesel e benzina ad alta efficienza di filtrazione nel sistema di post-trattamento, mentre l'uso di iniezioni di urea e la riduzione catalitica selettiva portano a emissioni di NO_x estremamente basse (ad esempio, 15-20 mg/km). Ci sono persino esempi di veicoli con emissioni di idrocarburi incombusti dal tubo di scarico inferiori a quelle nell'aria ambiente all'aspirazione del motore, i cosiddetti veicoli con emissioni negative! Le emissioni di inquinanti scaricate dal tubo di scarico saranno così basse da essere difficilmente misurabili, e il loro impatto pratico sulla qualità dell'aria sarà trascurabile [6].

Per quanto riguarda le emissioni di particolato, l'impatto dell'usura di pneumatici e freni è già molto più elevato rispetto a quello dovuto al motore a combustione interna (l'usura degli pneumatici produce circa 50 mg/km di particolato), raggiungendo valori circa 10 volte superiori alle emissioni del motore (5 mg/km). Questo implica che l'attuale auto alimentata da un motore a combustione interna è equivalente alle auto completamente elettriche e ibride per quanto riguarda le emissioni di particolato, quando si tiene conto dei contributi di pneumatici, freni e di altre fonti (ad esempio, polvere stradale).

Esistono *trend* tecnologici per una riduzione a breve termine delle emissioni di CO₂ che sembrano essere più fattibili e più rapidi. In primo luogo, il passaggio da benzina a motore a combustione interna a Diesel riduce le emissioni di CO₂ del 11% dal tubo di scappamento, e un ibrido leggero Diesel fornisce una riduzione ulteriore del 6%. Il passaggio finale a un ibrido completo fornisce un'altra riduzione del 16%. Tuttavia, è opportuno notare che sussiste ancora una concezione errata molto popolare, basata su

tecnologie obsolete e aggravata dai recenti scandali sulle emissioni, secondo la quale il motore Diesel sia un sistema di propulsione ad alto inquinamento. Ciò ignora i significativi progressi compiuti negli ultimi decenni sui motori Diesel e nel post-trattamento delle emissioni.

Miglioramenti consistenti sui motori a benzina sono anche disponibili con l'elettrificazione dei veicoli. Un passaggio diretto da benzina a benzina ibrida leggera può fornire un 11%, e un ulteriore 23% passando a un ibrido completo. Come indicano questi numeri, ci sono opzioni a breve termine per un miglioramento significativo dell'efficienza del carburante e, quindi, una riduzione delle emissioni di CO₂ dell'ordine del 30% o più, sia per l'alimentazione a benzina che a Diesel.

Sembra, inoltre, chiaro che i veicoli elettrici a "zero emissioni" difficilmente potranno sostituire in modo significativo i motori a combustione interna nel trasporto commerciale a causa del peso, delle dimensioni e dei costi delle batterie. A meno di una radicale innovazione nelle tecnologie delle batterie, nel futuro prevedibile i motori a combustione interna alimentati con carburanti liquidi a base di petrolio continueranno in gran parte a garantire il trasporto di merci nel mondo.

Una transizione dal motore a combustione interna a benzina o Diesel a un ibrido completo benzina/Diesel può ridurre significativamente le emissioni. Tuttavia, a causa del lungo periodo di rotazione e sostituzione dei veicoli, molto tempo (decenni) sarà necessario affinché gli ibridi completi, anche se diventassero molto più comuni ed economici rispetto alla situazione odierna, possano rappresentare un'aliquota significativa della popolazione mondiale di veicoli.

D'altra parte, la sostenibilità del trasporto in termini di gas serra e di altri impatti ambientali, la convenienza e la sicurezza energetica possono con ogni probabilità essere soddisfatte migliorando anche dai motori a combustione interna di ultima generazione purché si confermi un rinnovato impegno nella ricerca e nello sviluppo dei motori.

6. Combustibili

A medio-lungo termine, sussiste un ampio margine per migliorare ulteriormente i motori attraverso la progettazione congiunta di sistemi carburante/motore per prestazioni ottimali. Le tecnologie a singolo e doppio combustibile, come l'accensione a compressione con carica omogenea, l'accensione a compressione controllata con miscela premiscelata e l'accensione a compressione controllata con reattività, risultano mol-

to promettenti per migliorare l'efficienza e ridurre le indesiderate emissioni allo scarico.

Queste modalità avanzate di combustione possono trarre beneficio sia dai carburanti disponibili sia da quelli la cui composizione è ottimizzata per ciascuna applicazione. Per ridurre anche la dipendenza dai combustibili fossili e per una transizione verso la decarbonizzazione, si stanno compiendo progressi nell'introduzione di biocarburanti e carburanti sintetici neutri per quanto riguarda l'emissione di CO₂.

Spesso, le critiche al motore a combustione interna non riguardano il motore stesso, ma la fonte del carburante, e l'uso di biocarburanti o carburanti sintetici può mitigare le emissioni totali di carbonio. In effetti, alcuni bio-diesel commercializzati sono oggi più del 70% neutri per il carbonio netto. Alcuni paesi e stati hanno addirittura implementato uno standard di carburante a basso tenore di carbonio e forniscono incentivi monetari per stimolare il mercato dei biocarburanti.

L'olio vegetale idro-trattato è un promettente carburante rinnovabile per motori Diesel con un impatto di CO₂ molto basso. Un'altra tecnologia emergente produce carburanti liquidi per il trasporto da biomasse ligneo-cellulosiche solide, non alimentari, attraverso la pirolisi veloce, un processo di decomposizione termica che scompone i materiali per mezzo del calore in assenza di ossigeno, producendo *syngas*, bio-olio e bio-char. Il bio-olio può essere potenziato cataliticamente per ottenere carburanti liquidi. Di conseguenza, la pirolisi veloce di biomasse di scarto può produrre biocarburanti e potrebbe consentire un'economia a basso tenore di carbonio.

È stato anche proposto l'uso di carburanti sintetici alternativi derivati da biomasse di scarto ed energia elettrica rinnovabile per produrre un e-carburante con emissioni nette di CO₂ zero (cioè, neutro dal punto di vista del carbonio). Questo approccio è attualmente oggetto di studio come un modo intelligente per immagazzinare l'energia elettrica rinnovabile quando si verifica un picco di produzione, grazie a un processo chimico per generare idrocarburi da H₂ (prodotto dall'elettrolisi dell'acqua) e CO₂ catturato direttamente dall'atmosfera o da altre fonti industriali o biologiche. A lungo termine, le tecnologie di cattura del carbonio hanno dimostrato di poter raccogliere e poi smaltire o sequestrare l'anidride carbonica dai tubi di scarico dei veicoli e si prevede che siano economicamente convenienti.

7. Sorgenti di Energia del Futuro

Per l'elettrificazione, l'elettricità deve essere pro-

dotta, o dal motore a combustione interna (nel caso di un veicolo ibrido), o da una centrale elettrica e dalla rete elettrica.

Nel caso di quest'ultima, essa è attualmente prodotta da fonti di energia non rinnovabile (con circa il 40%-50% di perdite, anche se queste possono essere notevolmente più elevate per le vecchie centrali elettriche a carbone ancora presenti in gran parte del mondo). Inoltre, il trasporto dell'elettricità all'utente finale, insieme alle corrispondenti perdite di carica/scarica della batteria e il ruolo di temperature di esercizio estreme nella riduzione delle prestazioni della batteria, comportano un'altra perdita del 5%-20%, risultando in un'efficienza complessiva che è effettivamente comparabile a quella dei veicoli ibridi alimentati con motori a combustione interna e combustibili fossili. Forse c'è un vantaggio politico nel prelevare energia dalla rete, dato che le emissioni indesiderate non sono "nel mio cortile". Il problema viene spostato in aree meno visibili, ma con una riduzione sostanzialmente inferiore, e a volte nulla, dell'impronta di carbonio globale. Infatti, un veicolo elettrico a batteria (BEV) alimentato da elettricità prodotta da centrali a carbone può facilmente avere un impatto ambientale maggiore rispetto a un veicolo a motore a combustione interna non ibrido di dimensioni comparabili.

Le fonti rinnovabili (incluse l'idroelettrico) costituiscono attualmente circa il 10% del mix energetico globale. La revisione dell'energia mondiale prevede che la frazione di produzione totale di energia da fonti rinnovabili raggiungerà solo circa il 14% entro il 2040, e in molte regioni i combustibili fossili, inclusi il carbone, rimarranno la principale fonte di energia.

È quindi chiaro che, nel medio termine, l'alternativa dei trasporti BEV potrebbe ridurre modestamente, ma in nessun caso eliminare, le emissioni globali di CO₂. Naturalmente, con una riduzione dell'elettricità prodotta da centrali a carbone e l'adozione di tecnologie neutre per la CO₂, questa situazione potrebbe cambiare.

Inoltre, sarà necessaria una ricarica molto più rapida per ottenere una vasta accettazione di veicoli *plug-in* e BEV; si noti che essenzialmente tutti gli scenari attuali coinvolgono consistenti sovvenzioni da parte del contribuente o del consumatore per tali stazioni di ricarica. Inoltre, l'elettrificazione su larga scala richiederà modifiche drastiche all'intero sistema di distribuzione elettrica, dalla centrale elettrica al punto di ricarica.

Considerando questi problemi, anche le previsioni di mercato *mainstream* più aggressive mostrano che i motori a combustione interna saranno ancora presenti nella maggior parte delle auto nel 2040 e rappresenteranno una parte ancora più consistente del mercato del trasporto merci.

La sostituzione dei motori a combustione interna nei trasporti pesanti incontra ancor maggiori difficoltà in questo senso. Ad esempio, un camion pesante di Classe 8 negli Stati Uniti con autonomia di 500 miglia, funzionando come veicolo elettrico, richiede una batteria con un'energia di circa 1000 kWh. Presumendo un'efficienza batteria-motore del 95%, la batteria appropriata pesa almeno 5,5 tonnellate metriche (rispetto a circa 1,3 tonnellate metriche per un motore Diesel) e consuma una parte significativa del carico utile consentito. Con il Supercharger Tesla da 120 kW, la batteria richiede circa 12 ore per ricaricarsi.

Inoltre, la sostituzione dei motori di treni e navi sembra quasi fuori discussione, testimonianza dei requisiti estremamente elevati di potenza e dei tempi di ricarica inaccettabilmente lunghi necessari per tali applicazioni.

Un futuro della mobilità sostenibile richiederà un portafoglio diversificato per garantire le tecnologie giuste per le applicazioni giuste e comprenderà motori a combustione interna, celle a combustibile, veicoli elettrici puri e sistemi di propulsione ibrida.

Le comparazioni equivalenti sono cruciali per valutazioni accurate delle tecnologie in termini di impatti sociali, economici ed ambientali. Più specificamente, le tecnologie di successo devono essere competitive sul mercato in termini di costo, requisiti degli utenti, emissioni ed efficienza durante il ciclo di vita; devono garantire la sicurezza energetica nazionale; e devono considerare gli impatti sociali legati alla produzione e all'acquisizione e riciclo di materiali critici.

A tal fine, il motore a combustione interna e l'infrastruttura di supporto sono ben consolidati, e le innovazioni legate allo sviluppo tecnologico continuano a migliorare l'efficienza complessiva e la riduzione delle emissioni delle tecnologie basate sulla combustione.

8. L'allarme climatico

La risposta popolare e governativa agli effetti previsti del riscaldamento globale antropogenico varia dallo scetticismo all'allarme, con l'allarme che domina la percezione pubblica recente, i contenuti mediatici e le politiche nazionali e regionali annunciate. La necessità e/o il ruolo della ricerca e sviluppo sulla combustione del motore nel percorso verso un mondo privo di emissioni di CO₂ sono oggetto di dibattito, ma molti analisti ritengono che il motore a combustione interna continuerà a svolgere un ruolo importante, per il motivo che una transizione energetica richiederebbe senza dubbio un tempo significativo [4]. Tuttavia, c'è ancora notevole controversia sul ruolo preciso dei gas serra antropogenici e della CO₂, nonché sul principale

gas serra, l'acqua, nel cambiamento climatico globale [7]. Una considerazione spesso trascurata riguarda i carburanti idrocarburici, infatti ogni molecola di CO₂ che esce dal tubo di scarico del veicolo è accompagnata da almeno una molecola di H₂O. Il bilancio effettivo tra il vapore acqueo (come gas serra) e le nuvole nell'atmosfera, che riflettono i raggi solari nello spazio e, quindi, causano il raffreddamento della Terra, è ancora un'area attiva di ricerca climatica [8].

Per quanto riguarda le emissioni di gas serra, il contributo dei trasporti alle emissioni del Potenziale di Riscaldamento Globale è storicamente rimasto al 10%, come si può vedere nella Figura 2. Quindi, un massiccio passaggio globale ai veicoli elettrici potrebbe portare solo a una riduzione globale (potenziale) di circa il 10% delle tonnellate equivalenti di CO₂. (Ciò presuppone anche che tutti i veicoli elettrici caricano le loro batterie da fonti di energia senza emissioni di CO₂, cioè rinnovabili/nucleari.) Anche per i veicoli leggeri, come descritto in questa nota, un futuro completamente elettrico non arriverà facilmente, rapidamente o a buon mercato, e il trasporto guidato da motori a combustione interna avrà comunque un ruolo importante per almeno i prossimi tre decenni [9].

Potrebbe essere un tragico errore se l'industria e i governi abbandonassero le riduzioni più realistiche a breve e medio termine delle emissioni di CO₂ e degli inquinanti atmosferici ottenibili con la propulsione basata su motori a combustione interna, a causa di un eccessivo ottimismo sulla velocità con cui le fonti di energia rinnovabile o decarbonizzate possano sostituire l'energia da combustibili fossili per i trasporti.

D'altra parte, l'universo in rapida espansione degli apparecchi elettronici per i consumatori è pronto a superare i trasporti come fonte di consumo globale di energia. Nel 2015, dispositivi connessi a Internet, *streaming video* ad alta risoluzione, *e-mail*, telecamere di sorveglianza e *smart TV* hanno consumato dal 3% al 5% dell'elettricità mondiale. La crescita dell'Internet delle cose, veicoli senza conducente, robot e intelligenza artificiale (AI) sta contribuendo significativamente a questa domanda di energia. Si stima che computer e comunicazioni potrebbero utilizzare fino al 20% dell'elettricità mondiale entro il 2025 [4].

Un aumento dell'efficienza dei motori a combustione interna e di altri sistemi di consumo dell'energia potrà in futuro rappresentare una strategia efficace per la mitigazione sistematica degli effetti potenziali del riscaldamento globale.

9. Direzioni future della ricerca

Nella sezione finale di questo articolo si fornisce un elenco (certamente non esaustivo) di argomenti di ricerca potenzialmente fruttuosi che sarebbero utili per il campo dei motori ICE. Gli avanzamenti in queste aree potrebbero sicuramente beneficiare di collaborazioni globali tra ricercatori delle industrie, laboratori governativi e accademie.

10. Efficienza del motore

Lo sviluppo di nuovi sistemi di combustione, compreso l'utilizzo di pressioni di iniezione del carburante ultra-alte e nuove configurazioni meccaniche, possibilmente oltre il meccanismo a manovella scorrevole, dovrebbe essere incoraggiato. Questo potrebbe essere abbinato a tecnologie di combustione altamente diluita (stechiometrica con ricircolo dei gas di scarico così come combustione magra con rapporti aria/combustibile superiori a 2). Per questo miglioramento della combustione, è necessario investigare sulla formazione della miscela e sul movimento della carica, e sulle tecnologie di accensione, compresa l'installazione di pre-camere.

11. Scambio di gas

Miglioramenti nella respirazione del motore sono di interesse, potenzialmente attraverso turbocompressori di gas di scarico per realizzare una risposta rapida e una combustione a bassa temperatura con sovralimentazione ad ultra-alta pressione, grandi quantità di ricircolo di gas di scarico e ulteriori miglioramenti nel ciclo termodinamico con sistemi di valvole variabili, mantenendo comunque i livelli di ossigeno richiesti. Dovrebbe essere incoraggiato ulteriormente lo sviluppo dei sistemi di recupero dell'energia dei gas di scarico con *turbocompound* e possibilmente il *reforming* chimico.

12. Elettificazione

L'elettificazione offre miglioramenti significativi nell'efficienza dei sistemi, così come il controllo delle emissioni di gas serra, potenzialmente portando a efficienze termiche oltre il 50%. Lo sviluppo di motori più efficienti specificamente per sistemi ibridi e *range extender* (che consentono al motore di funzionare su un intervallo limitato di velocità e carico) sarebbe anche utile.

13. Lubrificazione del motore

La riduzione delle perdite meccaniche dovrebbe essere ottenuta migliorando i sistemi di lubrificazione con un minore consumo di olio, specialmente per i nuovi motori con aree operative limitate in termini di carichi o velocità.

14. Gestione termica ed energetica del motore

La gestione termica ed energetica del motore è necessaria per rispettare le emissioni reali durante la guida e migliorare l'economia del carburante. Non solo la riduzione delle perdite di calore del motore a combustione interna, ma anche migliorati sistemi termici che includano dispositivi di recupero del calore dei gas di scarico, sistemi di post-trattamento e il loro controllo ottimale saranno tecnologie chiave per il futuro.

15. Post-trattamento del motore

Tecnologie di riduzione delle emissioni che puntano a emissioni prossime allo zero sono richieste anche dalle normative nazionali ed europee. È sempre più necessaria la progettazione ed installazione di sistemi di post-trattamento migliorati e a basso costo per rimuovere emissioni di idrocarburi incombusti, particolato e NO_x in condizioni di gas di scarico a bassa temperatura e con eccesso di ossigeno senza sacrificare l'efficienza termica è necessaria. Dovrebbero essere esplorate metodologie per ridurre le emissioni dai veicoli a motore a benzina a pieno carico in combustione arricchita o avviamento a freddo (che generano molto particolato) con dispositivi di post-trattamento meno costosi.

16. Carburanti

L'uso efficiente della combustione bifuel e della combustione di Diesel/gas naturale dovrebbero essere oggetto di più approfondite ricerche. Oltre alla combustione estremamente diluita e allo sviluppo di sistemi di iniezione diretta di gas, è necessario investire in ricerche per ridurre lo scivolamento del metano e migliorare l'efficienza termica e le emissioni di gas di scarico sui motori a gas naturale, specialmente per navi e sistemi in cogenerazione. L'analisi dell'uso globale dei carburanti suggerisce che l'uso di combustibili con un basso numero di ottano diventerà un argomento importante nel prossimo futuro [10].

Inoltre, ricerche più intense su biocarburanti ed e-carburanti per la mitigazione dei gas serra sarebbe utile. I “carburanti progettati” offrono il potenziale per miglioramenti dell’efficienza e per emissioni inquinanti prossime allo zero [11]. Questi potrebbero includere miscele di quantità variabili di H_2 con idrocarburi, componenti ossigenati e persino nuovi componenti chimici (ad esempio NH_3).

17. Simulazioni del motore

Supportate da esperimenti dettagliati, ci sono stati grandi progressi nella fluidodinamica numerica dei processi di combustione. Gli strumenti di simulazione sono ora ampiamente utilizzati dalla maggior parte dei produttori di motori per aiutare a progettare e ottimizzare i motori, beneficiando della vasta potenza computazionale disponibile sia per l’industria che per l’accademia (ad esempio [12]). Grazie al rapido sviluppo dell’intelligenza artificiale, varie previsioni e ottimizzazioni automatiche stanno diventando di uso pratico. Tuttavia, l’ottimizzazione della combustione del motore si basa su sotto-modelli accurati, molti dei quali necessitano di ulteriore sviluppo per aumentare la loro capacità predittiva, nonché per ridurre la necessità di calibrazioni empiriche.

Questa è un’area attiva di ricerca che utilizza simulazioni numeriche molto sofisticate con una prosima introduzione di tecnologie di apprendimento automatico e *data science*. Inoltre, la combustione del motore include fenomeni transitori come le variazioni ciclo per ciclo che non sono ben compresi né analizzati. È necessario lo sviluppo di modelli di simulazione del veicolo che includano la fonte di alimentazione insieme ai suoi componenti di sistema, trasmissione, dispositivi periferici, batteria, motore, inverter e resistenza alla guida.

18. Controllo del motore e del veicolo

Il controllo della combustione in tempo reale per ridurre i margini di controllo e le variazioni ciclo per ciclo richiede innovazioni nella calibrazione del software di controllo, possibilmente con il controllo basato su modelli fisici/statistici utilizzando l’intelligenza artificiale. È necessaria l’ottimizzazione a bordo dei sistemi multi-input/multi-output con il controllo predittivo basato su modelli. Il controllo dei sistemi di iniezione efficiente del carburante per ottimizzare la formazione spaziale e temporale della miscela nella camera di combustione e i metodi per garantire l’accensione stabile in miscele molto magre o dilui-

te nei motori a iniezione di benzina, eventualmente utilizzando pre-camere e plasmi a bassa temperatura, sarebbe di grande interesse.

19. Conclusioni

In sintesi, il motore a combustione interna (ICE) e la ricerca sui motori a combustione interna sembrano disporre ancora di un futuro promettente, a differenza di alcune relazioni mediatiche ampiamente diffuse (ad esempio [13]). L’industria della generazione di energia, quella dei veicoli e dei carburanti sono enormi, rappresentando trilioni di dollari statunitensi di fatturato annuo, con un’infrastruttura massiccia.

Siamo certamente in tempi rivoluzionari, ma è evidente che le fonti di generazione di energia non diventeranno completamente rinnovabili e il trasporto non diventerà completamente elettrico per diversi decenni [6]. Tuttavia, la ricerca per migliorare l’efficienza e i metodi per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili sono direzioni promettenti anche per la futura ricerca sui motori a combustione interna. È molto probabile che motori altamente efficienti e completamente flessibili con soluzioni ibride saranno una parte significativa degli ambiti del tanto atteso miglioramento dell’efficienza, così come delle riduzioni delle emissioni e dei gas serra [14].

Infine, è necessario riconoscere che, nella pratica, le persone scelgono la loro preferenza di propulsore basandosi su numerosi fattori, tra cui il costo. La predilezione dei consumatori non è decisa dai politici, né dai costruttori di auto, né dall’accademia.

Una politica che favorisca unilateralmente una soluzione tecnologica potrebbe essere profondamente inefficace e forse persino rappresentare la soluzione sbagliata nel lungo termine. Invece, un approccio probabilmente migliore è quello di consentire anche alle tecnologie concorrenti di sopravvivere e di prosperare qualora dimostrino indubitabilmente significativi miglioramenti di efficienza e di riduzione delle emissioni.

La conclusione spontanea che emerge da questa nota è che, per il futuro prevedibile, il trasporto su strada e fuoristrada sarà caratterizzato da una combinazione di soluzioni che includono motori a combustione interna (ICE) e powertrain ibridi e a batteria.

Bibliografia

- [1] Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R.W., *Combustion Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation*, Springer 4th Edition, 2006.
- [2] Graves, R., *I Miti Greci*, Longanesi, 1992.
- [3] BP. Statistical review of world energy. BP Magazine, June

- 2018, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- [4] Ritchie H and Roser M. CO₂ and other greenhouse gas emissions. Our World in Data, May 2017, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
- [5] SAGE. International Journal of Engine Research, <https://us.sagepub.com/en-us/nam/journal/internationaljournal-engine-research> (accessed 7/2019).
- [6] Reitz, R.D., et al., IJER editorial: The future of the internal combustion engine International J of Engine Research 2020, Vol. 21(1) 3-10.
- [7] Yin, J. and Porporato, A. Diurnal cloud cycle biases in climate models. Nat Commun 2017; 8: 2269.
- [8] ACS. It's water vapor, not the CO₂, <https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/climatesciencenarratives/its-water-vapor-not-the-co2.html> (accessed 7/2019).
- [9] Kalghatgi G. Is it really the end of internal combustion engines and petroleum in transport? Appl Energ 2018; 225: 965-974.
- [10] Kalghatgi GT. The outlook for fuels for internal combustion engines. Int J Engine Res 2014; 15: 383-198.
- [11] European Academies Science Advisory Council (EAS AC). Decarbonisation of transport: options and challenges, https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Decarbonisation_of_Transport/EASAC_Decarbonisation_of_Transport_FINAL_March_2019.pdf (accessed 7/2019).
- [12] Hasse C. Scale-resolving simulations in engine combustion process design based on a systematic approach for model development. Int J Engine Res 2016; 17: 44-62.
- [13] Berkeley J. The death of the internal combustion engine, The Economist, 12 August 2017, <https://www.economist.com/leaders/2017/08/12/the-death-of-the-internal-combustion-engine>.
- [14] Auto Tech Review. Internal combustion engine 4.0, <https://autotechreview.com/technology/internal-combustion-engine-4-0> (accessed 8/2019).

“L'articolo esprime esclusivamente le opinioni personali dell'autore e non la posizione ufficiale di qualsiasi ente ad egli riconducibile”.

GUIDO SACCONI

Nato a Napoli il 15 novembre 1977, laureato in ingegneria chimica nel 2004 presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II, ha conseguito un master in comunicazione e divulgazione scientifica nel 2006 e un dottorato di ricerca in ingegneria dei materiali e delle strutture nel 2008 presso la medesima istituzione accademica. Nel 2012 è stato assunto presso l'Unità di Propulsione del Centro Italiano Ricerche Aerospaziali (CIRA) dove attualmente lavora nel laboratorio di Tecnologie per l'Esplorazione dello Spazio. Per quanto attiene all'attività di ricerca, si occupa di numerosi progetti di rilevanza nazionale e internazionale, specialmente sul tema della combustione e sui materiali innovativi per missioni di esplorazione e colonizzazione lunare e marziana. Per quanto riguarda l'attività di divulgazione scientifica, ha partecipato nel 2007-2008 al comitato di redazione della rivista Trasferimento Tecnologico ed è attualmente Segretario/Tesoriere dell'associazione Amici di Città della Scienza, in collaborazione con la quale organizza non di rado seminari culturali su temi inerenti specialmente alla chimica e ai materiali. È inoltre, membro del Comitato di Redazione della rivista quadrimestrale Analysis di proprietà dell'Associazione Nazionale Professionale per la Ricerca - ANPRI. Infine, è autore di numerose pubblicazioni su riviste scientifiche di settore e ha partecipato a svariati congressi internazionali.

Graduated in chemical engineering in 2004 from the University of Naples Federico II, he also received a master's degree in science communication and popularization in 2006 and a PhD in materials and structures engineering in 2008. In 2012, he was employed at the Propulsion Unit of the Italian Aerospace Research Center (CIRA) where he currently works in the Space Exploration Technologies laboratory. He has been involved in numerous projects of national and international relevance, especially on the topic of combustion and innovative materials for lunar and Martian exploration and colonization missions. He is a member of the Editorial Board of the journal Analysis of the National Professional Association for Research - ANPRI. Finally, he is the author of numerous publications in relevant scientific journals and has participated in numerous international conferences.

Contatti

guidosaccone77@gmail.com

LA POSIZIONE DELLA VERITÀ NELLA SCIENZA: LA NECESSITÀ DI NUOVI STRUMENTI PER GESTIRLA

Franco Pavese

Riassunto

È indubitabile che in un mondo dominato da un'espansione della informazione, il confine tra scienza e divulgazione/giornalismo/politica si è fatto sempre più indefinito. In questo contesto, paradossalmente, si è fatta sempre più labile la posizione della verità (anche) nella scienza. Certamente l'incertezza fa nascere dubbi. Dato che in scienza il dubbio non ha cittadinanza, gli scienziati si accontentano di decisioni intersoggettive, convenzionalmente basate su dati e sull'accettazione della posizione scientifica corrente, posizione a cui è ovviamente associata una incertezza. Ma anche i dati sono evidenze la cui oggettività è contaminata: prima dalla componente soggettiva della loro raccolta e poi dalla loro interpretazione in fase di analisi. Invece, da un po' di tempo, è nato quello che viene considerato un nuovo strumento di conoscenza basato sui dati, il "dataismo", basato a sua volta sulle scienze informatiche: l'articolo commenta questi che sono considerati i nuovi strumenti per giungere a conoscere la posizione della verità scientifica.

Abstract

In a world today dominated by an extraordinary expansion of knowledge, the boundary between science and popularisation/news/politics is more and more uncertain. In such a situation, the position of truth is paradoxically becoming increasingly doubtful, even in science. The uncertainty associated to knowledge is the obvious origin of doubts, but science aims at stating reliable positions, though the latter can only be inter-subjective, i.e. based on the current prevalent position(s) in the scientific Community. The full process is based on data, but also data are not exempt from uncertainty. In recent times, however, a new discipline has born based on Big Data, called "dataism", based on informatics science, assumed to become the new tool to proceed toward better knowledge and a better approach to truth, even replacing traditional science analysis methods. The paper comments some puzzling aspects of that expectation.

Parole chiave: Verità, Oggettività, Incertezza, Big Data, Intelligenza artificiale, Dataismo.

Keywords: Truth, Objectivity, Uncertainty, Big Data, Artificial Intelligence, Dataism.

È indubitabile che in un mondo dominato da un'espansione della informazione, il confine tra scienza e divulgazione/giornalismo/politica si è fatto sempre più indefinito. In questo contesto, paradossalmente, si è fatta sempre più labile la posizione della verità (anche) nella scienza, dove l'opinione si chiama posizione, che si suppone fondata ... anche se opinabile! Il titolo che ho scelto per queste riflessioni è una parafrasi della recente scelta della più autorevole Commissione del BIPM, quella sul metodo scientifico, la JCGM-WG1: GUM per definire un termine scientifico di base, la incertezza di misura: "Measurement uncertainty: doubt about a true value of the measurand that remains after making a measurement".

Questo fatto nell'ambiente metrologico è stato clamoroso, al punto che la seconda Commissione BIPM per importanza, quella di terminologia, la JCGM-WG2:VIM, nella recente bozza di revisione VIM del 2023 non l'ha accettato ed ha lasciata invariata la definizione: "Parameter characterizing the dispersion

of the values being attributed to a measurand, based on the information used", relegando, per buon vicinato, quella dell'altra Commissione in una "NOTE 2 Measurement uncertainty can be interpreted as doubt about a true value of the measurand that remains after making a measurement".

Certamente l'incertezza fa nascere dubbi, sin dal Socratico "io so di non sapere", che, come già si vide allora, non salva nemmeno il corpo nonché l'anima dello scienziato. Ma tant'è, come facciamo a sciogliere i dubbi se, come ha detto Kuhn, non sappiamo dove sta la verità? Come ho già illustrato in un precedente articolo su Analysis (2022, n.2) riguardo al clima, dato che in scienza il dubbio pro reo non ha cittadinanza, gli scienziati si accontentano di cogitazioni intersoggettive, convenzionalmente basate sull'accettazione della posizione scientifica corrente che riscuote una ragionevole maggioranza di consensi nella Comunità, posizione a cui è ovviamente associata una incertezza, specialmente quando fondata su osservazioni spe-

rimentali ossia sull'analisi dei dati raccolti.

A voler rimanere ancorati con i piedi per terra, cioè, con riferimento alla posizione kantiana che non ci sono modi, neppure per gli scienziati, per superare l'intermediazione delle facoltà umane (nemmeno con le loro invenzioni, ultima oggi la IA), anche i dati sono evidenze la cui oggettività è contaminata: prima dalla componente soggettiva della loro raccolta e poi dalla loro interpretazione in fase di analisi.

Il moderno metodo scientifico riguardo alla previsione si chiama valutazione del rischio, in linea generale visto come l'inverso dell'incertezza della conoscenza ottenuta attraverso i dati; usando un altro termine: valutazione della qualità dei dati, che porta al grado di fiducia da attribuire all'informazione che noi consideriamo trasmessaci da essi, specie nel prendere conseguentemente (future) decisioni. Dunque, i dubbi si concretizzano nell'assegnare un grado di fiducia all'informazione (sempre parziale) di cui siamo in possesso. Il metodo scientifico si prefigge di valutare ciò in modo razionale – cioè, fondato sui correnti strumenti mentali di un umano dotato di sensi “standard” nell'analisi di un $\phi\alpha\iota\nu\acute{o}\mu\epsilon\nu\omicron\nu$ – assegnando valori (numerici e non) a parametri delle grandezze di valutazione scelte ad hoc. Da tempo uno dei criteri fondamentali, un mantra ritenuto importante dalla scienza e dal suo principale strumento quantitativo, la statistica per ottenere una buona valutazione del grado di informazione dei dati, è la loro numerosità.

Dunque, la disponibilità di dati ripetuti è essenziale. Si hanno due situazioni distinte, una quando il misurando è stabile nel tempo ed una per un misurando con un andamento. Esse devono essere considerate separatamente.

(A) Serie di dati per un misurando stabile

Questi sono dati ripetuti in senso stretto nel linguaggio scientifico, e pur tuttavia la stabilità non può mai essere assoluta (valori ripetuti identici sono generalmente soltanto valori numerici espressi con un numero di cifre insufficienti). Dunque, vi è sempre una dispersione, spesso casuale, dei valori nella serie (al massimo essa è irrilevante ai fini della loro valutazione), cioè l'informazione è fornita con una incertezza statistica, che però non è nemmeno quella totale delle osservazioni sotto esame. Infatti, solo una analisi completa del processo che ha generato quei dati può fornire una stima di quelli addizionali che sono chiamati fattori sistematici di incertezza (il bias inglese).

(B) Serie di dati di un misurando variabile nel tempo

Il misurando è intrinsecamente variabile e la principale ragione della variabilità deterministica dei dati (e della possibile autocorrelazione della serie). Tuttavia, la componente statistica prima definita in (A) è sempre presente in aggiunta anche in questo caso, per cui una funzione matematica di interpolazione, che è di natura deterministica, non è sufficiente a rappresentare l'andamento dell'insieme dei dati in modo completo. Infatti, ad esempio, l'incertezza dei dati impedisce la possibilità di inferire un andamento strettamente univoco. Inoltre, come già detto prima, l'esame dell'andamento non consente di per sé di valutare la presenza di fattori sistematici di errore e la loro influenza: l'incertezza valutata con l'interpolazione consente di valutare solo la riproducibilità dei dati, non la loro accuratezza.¹

Definiti questi aspetti metodologici principali, torno al punto principale: qualità vs quantità dei dati ponendo tre domande principali:

1. con lo sviluppo dei calcolatori numerici, e negli ultimi 20 anni della crescita vertiginosa della loro velocità e della capacità delle memorie di immagazzinare dati, si è assistito ad una crescita enorme del numero di dati disponibili. Ciò ha fatto sì che qualunque tipo di informazione può oggi disporre di un numero enorme di valori misurati: ma ciò consente anche una migliore informazione?
2. lo sviluppo dell'informazione globale con Internet ha poi consentito di aumentare enormemente la sua copertura spaziale e temporale, in entrata ed in uscita verso gli utenti: ciò consente una migliore informazione?
3. gli argomenti di cui l'informazione è composta sono aumentati anch'essi in modo esponenziale e si sono resi disponibili a tutti: ciò consente una migliore informazione?

È nato un nuovo settore dell'informazione, chiamato Big Data, ed una nuova disciplina, il “dataismo”. Ciò di basa sulla credenza o l'idea che l'intero universo sia o stia diventando governato dal flusso dei dati mediante algoritmi (altro magico termine moderno), contenenti in sé il fondamento della verità, quando non essendo essi stessi considerati la verità – nel campo delle misure l'argomento è già stato trattato sulla Rivista Tutto-Misure (2022 n.1).

Nella sua forma estrema il dataismo intende sostituire la scienza tradizionale ed i suoi metodi, affidando piuttosto le certezze all'enorme quantità dei dati:

una sostituzione della quantità alla qualità, in grado, affermano, di sostituire e rendere inutile la loro stessa analisi. Ciò si nota già in una vastissima bibliografia particolarmente vasta di autori provenienti da Nazioni di recente presenti nell'area scientifica.

Considero il fatto molto grave e gravido di conseguenze letali per la (nostra?) cultura scientifica futura. C'è infatti la presunzione di riuscire a compensare l'incertezza propria di tutte le informazioni umane con la quantità dei dati, senza nemmeno la valutazione della loro qualità, un abbaglio fatale nella comprensione del significato statistico di una massa di informazione: non è aumentando la quantità dei dati che l'incertezza tende a zero! Infatti, non è nemmeno sempre vero che diminuisca e che l'affidabilità aumenti. Nuovamente si possono distinguere due casi:

(a) più dati sono raccolti in un intervallo di tempo corto rispetto all'estensione nel tempo della raccolta complessiva riguardante il fenomeno. In questo caso è probabile che tutti i fattori di influenza sul risultato tendano a rimanere più stabili rispetto alla durata della costante di tempo tipica del cambiamento del fenomeno. Perciò una ripetizione della misura è significativa solo quando si eccede largamente la costante di tempo del sistema: i big data sono pressoché inutili.

(b) più dati sono raccolti, distribuiti su (quasi) tutto l'arco di tempo considerato. In questo caso, in prima approssimazione quello che conta è l'andamento osservato del fenomeno, la cui espressione funzionale non richiede normalmente un'enorme quantità di campionamenti, mentre i dettagli sono in genere già sufficientemente descritti dalla acquisizione a breve termine. Quindi il vantaggio portato dai big data è sostanzialmente minimo.

Riassumendo: non c'è vantaggio nell'informazione contenuta in una breve sequenza solo perché più densa di dati; per una serie (temporale) estesa di dati, in genere c'è qualche vantaggio, ma quello che conta di più per l'aumento dell'informazione è la ripetizione a distanza di tempo delle serie di misure. Comunque, la ripetizione delle misure (più misure) rende dal punto di vista statistico più ripetibile il valor medio, ma non più preciso, cioè, aumenta la fiducia nella stabilità nel tempo del valore del misurando, ma, ripeto, senza una specifica analisi rimangono ignote le cause sistematiche della sua imprecisione.

Quanto detto sinora porta in molti campi ai ragionevoli dubbi che ho già espresso nel campo climatico nel citato mio precedente articolo su Analysis, campo in cui il dataismo è stato ampiamente usato. Ma, può essere considerato come una nuova disciplina scientifica?

Ricapitolando: secondo il dataismo:

- l'intero mondo è inteso come rappresentato da un flusso di dati;

- i dati resi disponibili dalla moderna tecnologia sono ritenuti necessari e sufficienti a procurare una esaustiva ed accurata rappresentazione della realtà (verità?) del mondo;
- i dati diventano le uniche informazioni valide di fiducia incondizionata e costituiscono le uniche basi dei giudizi umani che giornalmente possono essere espressi;
- la intelligenza artificiale è ritenuta capace di superare l'intelletto umano in tale rappresentazione/descrizione della realtà.

È una nuova forma di "oggettivismo": il credere nell'esistenza oggettiva (cioè, nella verità) di ciò che gli umani percepiscono (o è utile e sufficiente che essi percepiscano), e che oggi ciò sia reso possibile agli umani da una tecnologia affrancata(-bile) dal controllo umano (anche se pur sempre creata dagli umani).

È questo un interessante, e nuovo direi, argomento di discussione filosofica, ma personalmente dubito che possa innovare il metodo scientifico se non marginalmente, e certamente non nella direzione di rendere obsoleto il concetto di incertezza nella conoscenza umana, e quindi obsoleti i suoi metodi scientifici di analisi.

Il confine – che è la fascia chiamata incertezza – tra vero e falso tende anzi ad essere reso più ampio se la verità della valanga delle informazioni disponibili è resa più incerta dalle umane capacità di valutarla: o riteniamo che il concetto di verità sia assoluto? O che in futuro un algoritmo, supposto perfetto sebbene sia un prodotto umano, possa sostituirsi al giudizio umano e non solamente che quest'ultimo venga assistito dall'algoritmo? Tutto ciò comunque riguarda non solo la scienza delle misure, ma tutta la conoscenza scientifica in generale e la sua utilizzazione nelle previsioni e nelle decisioni.

Bibliografia

- Anderson A.C., "The end of theory: the data deluge makes the scientific method obsolete", *Wired*, 2008. <https://www.wired.com/2008/06/pb-theory>
- Pavese F. "On the degree of objectivity of uncertainty evaluation in metrology and testing" *Measurement* 2009 42 1297-1303.
- Hilbert M., López P. (2011). "The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information". *Science*. 332 (6025): 60-65. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011Sci...332...60H>. doi:10.1126/science.1200970
- Pavese F., P. De Bièvre: "Fostering diversity of thought in measurement", in *Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing X* (F. Pavese, W. Bremser, A.G. Chuvnovkina, N. Fischer, A.B. Forbes, Eds.) vol.10, Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences vol. 86, World Scientific, Singapore, 2015, pp 1-8. ISBN: 978-981-4678-61-2, ISBN: 978-981-4678-62-9(ebook).
- Harari Y.N., *Homo Deus: A Brief History of Tomorrow*. London,

UK: Vintage, Penguin Random House, 2016.

- De Mauro T., Greco M., Grimaldi M. (2016), "A Formal Definition of Big Data Based on its Essential Features", *Library Review*, 65 (3) pp.122–135, doi: 10.1108/LR-06-2015-0061.
- Mari L., Petri D., "The Metrological Culture in the Context of Big Data: Managing Data-Driven Decision Confidence", *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine* 20 (5), 4-20, 2017, doi:10.1109/MIM.2017.8036688
- Pavese F., "On the classification in random and systematic effects", in "Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing XI" (A.B. Forbes, N.F. Zhang, A.G. Chunovkina, S. Eichstädt, F. Pavese, Eds.), vol. 11, Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences vol. 89, World Scientific, Singapore, October 2018, pp. 58-69.
- Petri D., "Big Data, Dataism and Measurement", *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine* May 2020, 1094-6969/20.
- Morice C.P., Kennedy J.J., Rayner N.A., Winn J.P., Hogan E., Killick R.E., Dunn R.J.H., Osborn T.J., Jones P.D., Simpson I.R., "An Updated Assessment of Near-Surface Temperature Change From 1850: The HadCRUT5 Data Set", *J. of Geophysical Research: Atmospheres* 126 (3), 2021. doi: <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>
- Pavese F., "Decisions at the time of Big Data", *Global Journal of Science: Frontier Research (A)* 23 (7) 1-7 (2023).
- Pavese F., "Big Data and Dataism: some metrological reflections", in "Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology and Testing" (A.B. Forbes, A. Bosnjakovic, S. Eichstädt, J. Alves e Sousa, F. Pavese, eds.) vol. 13, Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences, World Scientific, Singapore, 2024, pp. 119-129, in stampa.

Note

¹ Tale essenziale limitazione non è riconosciuta, ad esempio, nel dato pubblicato da IPCC dell'aumento della temperatura superficiale media terrestre a cui è assegnata un'incertezza di $\approx \pm 0,1$ °C, pur essendo esso basato sulle stazioni meteo del WMO, il quale assegna a tutte loro una *accuratezza* di $\pm 0,5$ °C per tener conto anche delle componenti sistematiche.

FRANCO PAVESE

Nato nel 1942 a Torino, si è laureato in ingegneria al politecnico di Torino nel 1966 e ha svolto la propria attività di ricercatore presso l'IMGC-CNR dal 1967. Dal 1991 è stato direttore di ricerca presso lo stesso Istituto fino al 2008. Poi ha svolto varie attività di ricerca e di consulenza. Principali campi di attività. Metrologia termica (in particolare della temperatura), termodinamica, chimica-fisica dei gas criogenici, ingegneria criogenica (sensori, materiali, superconduttori ad alta temperatura), strumenti matematici e statistici in metrologia e scienza delle misure, nomenclatura in fisica chimica e unità di misura metrologiche.

Born in Turin in 1942, he is graduated in engineering from Turin Polytechnic in 1966 and has been a researcher at IMGC-CNR since 1967. From 1991 until 2008, he was research director at the same institute. Since then he has been involved in various research and consultancy activities. Main fields of activity. Thermal metrology (in particular temperature), thermodynamics, chemico-physics of cryogenic gases, cryogenic engineering (sensors, materials, high-temperature superconductors), mathematical and statistical tools in metrology and measurement science, nomenclature in chemical physics and metrological units.

Contatti

frpavese@gmail.com

IL MANAGEMENT DELLA “SCIENCE COMMUNICATION” (SCICOM)

Carmelo Cannarella, Valeria Piccioni

Riassunto

La “Comunicazione della Scienza” (SciCom) è un settore analitico e operativo estremamente complesso e particolarmente sensibile soprattutto a seguito della pandemia da Covid-19 e dell’esplosione pervasiva dei social networks. I ricercatori appaiono sempre più spesso non solo come consulenti, come divulgatori o nei talk show, ma anche come promotori di prodotti negli spot pubblicitari sui media convenzionale e sui social. La SciCom si trova quindi a fare i conti con la realtà di un pubblico sempre più articolato e diversificato sottoposto a effetti critici: dalle questioni della “fiducia” o meno nella scienza fino alla percezione errata della conoscenza scientifica e alla diffusa diffusione di informazioni fuorvianti e distorte. Questa vera e propria disciplina può quindi fornire importanti contributi per superare la sfiducia del pubblico, per sfatare le fake news e la pseudoscienza per migliorare l’alfabetizzazione scientifica e consentire ai cittadini di essere adeguatamente informati all’interno di società sempre più complesse. Gestire la SciCom richiede pertanto competenze e professionalità specifiche che devono tener conto anche del notevole cambiamento nella natura della produzione della conoscenza e della evoluzione delle comunicazioni e proliferazione delle fonti di informazione.

Abstract

“Science Communication” (SciCom) is an extremely complex and particularly sensitive analytical and operational sector, especially after the Covid-19 pandemic and the pervasive explosion of social networks. Researchers increasingly appear not only as consultants, as disseminators or on talk shows, but also as product promoters in commercials in conventional media and on social media. SciCom therefore has to deal with the dynamics of an increasingly complex and diversified public subjected to critical effects: from the question of “trust” in science to the misperception of scientific knowledge and the widespread dissemination of misleading and distorted information. This analytical field can therefore provide important contributions to overcome public mistrust, to dispel fake news and pseudoscience, to improve scientific literacy and allow citizens to be adequately informed within increasingly complex societies. Managing SciCom therefore implies specific skills and expertise which must also take into account the remarkable changes in the nature of knowledge production and the evolution of communications and proliferation of information sources.

Parole chiave: *Comunicazione della scienza, management, divulgazione.*

Keywords: *Science communication, management, divulgation.*

1. Introduzione

In questi ultimi anni, anche come effetto della pandemia COVID, il ruolo della scienza e della ricerca, e soprattutto le modalità con cui la scienza e la ricerca comunicano le loro attività e i loro risultati, hanno assunto un significato del tutto peculiare. Al di là del grande dibattito che si è creato intorno al problema dell’integrità e trasparenza della scienza, al problema dell’affidabilità dei messaggi a contenuto scientifico ed al problema delle “fake news”, quello che si è delineato è che la comunicazione della scienza è divenuta da una parte una vera e propria area di ricerca e dall’altra un settore di attività pratica che necessita di specifici interventi, strumenti e strategie di management. Con particolare riferimento a questo secondo campo di intervento, si delineano alcune rilevanti domande operative come, ad esempio, cosa sia esatta-

mente la comunicazione della scienza, oppure come si distingua la comunicazione della scienza dalla più generale “public awareness”, oppure ancora come differisca da altre iniziative che mirano ad aumentare la comprensione di determinati temi scientifici, la diffusione della cultura scientifica o incrementare la generale alfabetizzazione scientifica.

La “Science Communication” (SciCom) oggi è diventata un vero e proprio *must* sotto molteplici punti di vista basti pensare ad esempio alla sempre più marcata presenza della scienza nella pubblicità (sottoforma di ricercatori o presunti tali) per convincere i consumatori dell’efficacia del prodotto che stanno promuovendo (ad esempio alimenti, cosmetici, prodotti legati alla salute, ecc.). Allo stesso tempo le attività SciCom e di divulgazione sono diventate elementi chiave ad esempio all’interno dei progetti di ricerca europei per la diffusione e condivisione dei risultati

della ricerca, si comprende agevolmente come questa dimensione operativa abbia assunto il ruolo di pilastro strategico critico per le stesse attività degli enti e degli istituti di ricerca.

Nel frattempo il dilagare sempre più capillare a livello planetario dei social media e la diffusione della “scienza aperta” hanno trasformato completamente il concetto stesso di comunicazione della scienza e le sue strategie. Il moltiplicarsi delle piattaforme ha causato una omni-direzionalità del processo di comunicazione non solo con l’incremento notevole del numero dei destinatari della comunicazione, ma anche di coloro (non sempre dei comunicatori scientifici o degli attori della ricerca) che intervengono attivamente, e talvolta prepotentemente, nel processo comunicativo. Non si può oggi non tenere quindi conto del ruolo e della funzione degli *influencer* e del fatto che troviamo temi di carattere scientifico condivisi e dibattuti su Twitter o su Facebook.

D’altro canto, se da un lato una maggiore apertura e condivisione dei risultati della ricerca scientifica sono in linea di principio auspicabili, dall’altro proprio l’esperienza del periodo della pandemia del Covid ci ha fatto capire la problematicità della diffusione incontrollata di preprints che ha provocato discussioni pubbliche online connesse a dati discutibili e spesso ancora da verificare. Tutto questo solleva importanti domande su come mitigare i problemi legati alla disinformazione o alla creazione di quelle ondate di sfiducia dell’opinione pubblica nei confronti della scienza con le relative implicazioni su come la movimentazione delle conoscenze scientifiche verso la società possano in qualche modo influenzare la creazione di processi decisionali adeguatamente e debitamente informati.

Date queste caratteristiche appare chiaro che la SciCom diventa un settore operativo critico e sensibile che implica delle precise strategie, strumenti e interventi manageriali connesse ad altrettante competenze e professionalità.

2. Definire il concetto di “Science Communication”

Da un punto di vista prettamente operativo, in passato si è fatto tradizionalmente riferimento alla “Science Communication”(SciCom) come un mezzo per incoraggiare la generalità indifferenziata dei ricercatori a condividere i risultati del loro lavoro con il mondo esterno, con il largo pubblico, con i decisori politici o con enti finanziatori. Inoltre la SciCom è stata tipicamente concepita come l’attività dei comunicatori professionisti (giornalisti, addetti all’informazione pubblica, o alcuni scienziati con particolari doti comunicative) o semplicemente come la promozione

della comprensione pubblica della scienza che diventa un elemento essenziale per i cittadini in una società fortemente dipendente dalla scienza e dalla tecnologia.

La SciCom finisce spesso per essere genericamente considerata uno strumento operativo della Cultura Scientifica (CS) in un senso molto esteso o un mezzo destinato ad incrementare la “Consapevolezza Pubblica della Scienza” (ConsPS) o la “Comprensione Pubblica della Scienza” (ComPS). Il problema è che alla fine tutti questi termini finiscono con l’essere considerati interscambiabili contribuendo ad ingenerare un certo alone di genericità e confusione.

Eppure riuscire a comprendere gli ambiti di una disciplina che si lega a quali elementi della conoscenza della scienza hanno “valore” nel processo di costruzione, trasmissione e condivisione del messaggio comunicativo scientifico è uno step essenziale considerando come oggi, all’interno della nostra società, un gran numero di decisioni individuali, collettive e politiche sono legate in qualche modo proprio alla scienza e alla tecnologia. Inoltre, la mancanza di una definizione precisa su ruolo e funzione della SciCom non aiuta di certo a definire quel confine critico fra scienza e pseudoscienza all’interno di quel flusso incontrollato di informazioni che arrivano quotidianamente sugli smartphone.

Per addivenire ad una definizione di “Comunicazione della Scienza” bisogna quindi partire dalla definizione per lo meno di queste due parole: “comunicazione” e “scienza”. Si tratta in realtà di due termini molto difficili da definire con precisione. Basti pensare che le attività di comunicazione dirette al grande pubblico si presentano molto complesse anche perché altamente contestuali soprattutto nell’attuale realtà dell’esplosione dei social network e del fenomeno dell’infodemia.

Per quanto riguarda la definizione del concetto di “comunicazione”, si ricorre spesso a *modelli lineari semplici* di comunicazione che presuppongono l’idea di un trasferimento dell’informazione dal mittente al destinatario attraverso un mezzo; si fa anche riferimento a *modelli di diffusione generalizzata* che si basano sulla propagazione estesa di informazione che in qualche modo filtra all’interno dei gruppi sociali e della società nel suo complesso. È abbastanza evidente che modelli di questo tipo mal si adattano alla figura della SciCom poiché essa è fortemente legata a determinati contesti e ai gruppi cui la SciCom fa riferimento e agli strumenti che vengono impiegati.

In particolare nella comunicazione della scienza connessa al pervasivo mondo dei social media, sarebbe poi opportuno sfatare il preconcetto secondo cui il mezzo, lo strumento è neutro, mentre gli effetti che esso produce dipendono dall’uso che se ne fa; que-

sto giusto per parafrasare l'arcinota affermazione di Marshall McLuhan: "The medium is the message".

Avere quindi una comprensione approfondita del contesto, delle caratteristiche degli strumenti adottati e del messaggio, nonché dei significati connessi all'oggetto della comunicazione scientifica è un passo essenziale per comprendere da un lato la complessità e la specificità della SciCom e dall'altro le sue possibilità e potenzialità di essere adeguatamente efficace.

Sulla base di queste premesse, la comunicazione può essere pertanto definita come "la pratica di produrre e negoziare *significati*, una pratica che avviene sempre in specifiche condizioni sociali, culturali, tecnologiche e politiche".

Altrettanto complesso è addivenire ad una definizione precisa di Scienza, una questione che meriterebbe un'approfondita riflessione che non può essere effettuata in questa sede. Tuttavia, proprio per le finalità di questo scritto si può fare riferimento alla definizione proposta dal Panel on Public Affairs dell'American Physical Society:

"La scienza è l'impresa sistematica di raccogliere conoscenza sul mondo e di organizzare e condensare tale conoscenza in leggi e teorie verificabili".

Inoltre si aggiunge che: *"il successo e la credibilità della scienza sono ancorati alla volontà degli scienziati di esporre le proprie idee e risultati a test e repliche indipendenti da parte di altri scienziati"*.

Se si mettono in relazione queste definizioni emerge chiaramente il ruolo critico non solo del rapporto fra scienza e comunicazione ma anche quello fra scienza, comunicazione e *pubblico* all'interno del quale si crea un flusso di informazioni. Tale reticolo di relazioni non è a senso unico poiché, essendo appunto "context specific", presenta un complesso network di livelli e di interrelazioni dinamiche in cui intervengono tanti attori e soggetti, o gruppi di attori e soggetti, su vari luoghi di generazione, fruizione e comunicazione di informazione. La complessità di questi network è dovuta quindi da un lato dal fatto che la creazione di un

flusso di SciCom prevede innanzitutto un coinvolgimento di vari ricercatori da parte dei mediatori/facilitatori e dell'altro dal fatto che il cosiddetto "pubblico" non è un'entità anonima e generalizzata, ma presente delle caratteristiche specifiche.

Pertanto il classico modello "a due stadi" (figura 1) tradizionalmente presente nella letteratura in materia, è indubbiamente molto pratico ma appare nello stesso tempo altrettanto inadeguato e inappropriato alla realtà attuale decisamente molto complessa e delicata da un punto di vista comunicativo. La SciCom non può essere immaginata e gestita come un semplice flusso o come un processo di trasferimento lineare che parte dai ricercatori e arriva al pubblico gestito da facilitatori/divulgatori (attraverso i media): bisogna tenere conto non solo del contesto in cui questi processi si svolgono e delle caratteristiche degli strumenti adottati, ma anche delle caratteristiche dei soggetti coinvolti.

Il processo comunicativo svolge quindi una funzione di incrocio, di snodo fra soggetti molto diversi fra loro all'interno di un contesto dinamico con il ricorso a strumenti comunicativi specifici. Inoltre non bisogna dimenticare che da un lato il pubblico (in senso ampio) non sa molto di scienza, ma è anche vero che dall'altro che gli scienziati non sanno molto del pubblico.

In questa epoca poi di ampia affermazione dei media digitali e online, che hanno assunto un posto molto più rilevante nel campo della comunicazione di massa, la stessa nozione di "pubblico" è infatti divenuta più liquida ed incerta: basta pensare al fatto che sempre più frequentemente si ricorre alla nozione di "utenti". Il ricorso al termine "utenti" denuncia sostanzialmente uno spostamento di prospettiva dell'idea di comunicazione come concetto sociologico o anche politico a quello più prettamente tecnologico e informatico. Ad esempio, il concetto di "interattività", utilizzato per descrivere l'interazione uomo-computer, viene oggi impiegato anche per descrivere processi di comunicazione mediati tra individui e gruppi.

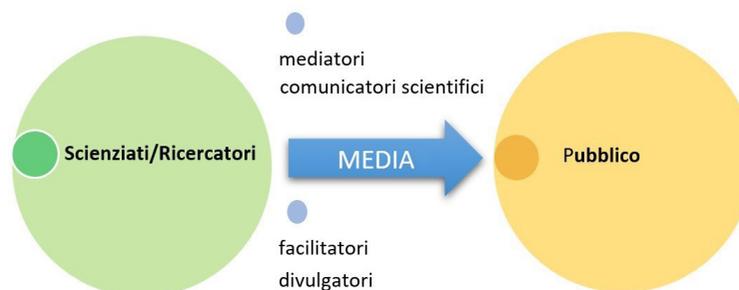


Fig. 1. Il modello "a due stadi".

Interattività, utenti, social networks e media online, un concetto di pubblico estremamente fluido, tutto questo spinge al ricorso di modelli di trasmissione delle conoscenze specialistiche che tenga conto delle percezioni e della comprensione dei settori della popolazione a cui ci si rivolge (“modello educativo”). La debolezza del modello di trasferimento unidirezionale di informazioni basato su una relazione unilaterale tra comunicatore e ricevente è apparsa in modo evidente soprattutto nel caso della comunicazione medica e sanitaria. Non tenere in debita considerazione il contesto sociale dell’informazione, senza comprendere il problema delle capacità e possibilità di adattamento della platea dei riceventi, rischia di trasformare la comunicazione in un monologo piuttosto che un dialogo fra gruppi di interesse e componenti differenziate di un “pubblico” estremamente articolato.

Sulla base delle considerazioni fin qui evidenziate si potrebbe pertanto definire la SciCom come “*un insieme complesso di processi attraverso i quali la cultura e la conoscenza della scienza vengono assorbite nella cultura della comunità più ampia implicando aspetti culturali immateriali della comunicazione della scienza e identificando inoltre la comunicazione scientifica come un processo continuo, piuttosto che come un’attività lineare e una tantum*”.

3. Il Management della SciCom

Al di là delle varie teorie sulla comunicazione o sul ruolo della scienza nella società (ad esempio il “Mode 2”) quello che l’esperienza quotidiana può indicare è la crescente presenza pubblica della scienza nei più svariati contesti e nelle più varie tribune: troviamo infatti ricercatori e scienziati coinvolti come esperti, divulgatori, intrattenitori, polemisti, moderatori, testimoni negli spot pubblicitari, ecc... nelle sedi più disparate con un livello elevato di “spettacolarità” che viene loro richiesto, cosa che talora prevale anche sulle singole capacità, competenze ed esperienze professionali. Questo è stata certamente anche la conseguenza dell’irrompere sulla scena pubblica in modo prepotente di temi come l’energia, il cambiamento climatico e rischi pandemici che hanno costretto la scienza ad esporsi in un confronto diretto e palese con l’etica, l’economia e rilevanti decisioni politiche all’interno di un “dibattito pubblico”. Il problema è che oltretutto questo dibattito non si è svolto all’interno di aule accademiche, “specialistiche” o circoscritte, né tantomeno esclusivamente all’interno di uno studio televisivo, ma si è spostato sui social networks dove la sua amplificazione può essere estremamente più ampia e la sua manipolazione

ne e strumentalizzazione più incontrollata.

Queste premesse fanno emergere la complessità della gestione della comunicazione della scienza che presuppone pertanto un’attenta analisi (anche per prevenire pericolosi boomerang) che implica molteplici opzioni: si delinea quindi uno spettro considerevole di situazioni in cui il pubblico ha un ruolo attivo e può essere più o meno informato, più o meno capace di ricevere i messaggi della comunicazione scientifica e nello stesso tempo di plasmarli.

In questo ambito devono essere preliminarmente evidenziate due variabili distinte:

- l’*interesse* da parte del pubblico per la scienza
- la *comprensione* da parte del pubblico della scienza

Queste due variabili possono agire contemporaneamente ma a livelli profondamente diversi: all’interno di un determinato gruppo ci può essere un elevato livello di interesse per alcuni temi scientifici ma a fronte di bassi livelli di *comprensione* della scienza. Il problema è che, nel mondo reale, di fronte ad una platea generalizzata di individui questi livelli possono variare notevolmente. Questo vuol dire che bisogna avere come riferimento:

- la *consapevolezza pubblica della scienza* che mira a stimolare la coscienza e atteggiamenti (o opinioni) positivi nei confronti della scienza;
- la *comprensione pubblica della scienza*, che, come suggerisce il nome, si concentra sulla comprensione della scienza, dei suoi contenuti, processi e fattori sociali;
- l’*alfabetizzazione scientifica* che in realtà è la *situazione ideale* in cui le persone sono consapevoli, interessate e coinvolte, si formano opinioni e cercano di comprendere la scienza;
- la *cultura scientifica* che è un *ambiente* a livello sociale che apprezza e sostiene la scienza e l’alfabetizzazione scientifica. Ha ovviamente importanti risvolti sociali.

Si tratta in pratica di 4 pilastri che si fondono e si coagulano nella più articolata dimensione della Comunicazione della Scienza ma che spesso, a meno che non ci si rivolga a gruppi target ben definiti ed individuati, costituiscono degli elementi difficili da quantificare.

Quello che però rimane indispensabile affermare è che la gestione della Comunicazione della Scienza, implicando il ricorso a competenze, media, attività e strategie finalizzate a generare una o più risposte individuali e/o collettive nei confronti del messaggio scientifico deve fare riferimento a 5 leve ovvero:

- la *Consapevolezza*, inclusa la familiarità con i nuovi aspetti della scienza;

- *l'Apprezzamento* della scienza anche come intrattenimento, performance o arte (Art&Science);
- *l'Interesse*, con un coinvolgimento anche emotivo nei confronti della scienza o nella sua comunicazione;
- *le Opinioni e idee*, formazione, modificazione o conferma di atteggiamenti o schemi mentali legati alla scienza;
- *la Comprensione della scienza*, dei suoi contenuti, dei processi e dei fattori sociali.

Questo significa che, ancor prima di individuare e coinvolgere ad esempio professionisti della scienza, mediatori, facilitatori, comunicatori o influencer “giusti” per sviluppare un processo di SciCom, è indispensabile “inquadrare il messaggio” per mettere correttamente a fuoco i contenuti scientifici e di ricerca: non basta fare riferimento alle proprie skills scientifiche o doti di intrattenitore per catturare l'attenzione del pubblico, ma analizzare attentamente le caratteristiche del contesto per comprendere quali frame sono più idonei ed efficaci per quel pubblico di riferimento. Un frame inadeguato può finire con il non attivare una o più delle 5 leve summenzionate e quindi può generare un effetto contrario. Se non si mettono in moto ad esempio l'apprezzamento, la comprensione o la consapevolezza è molto probabile che gli individui faranno riferimento a “scorciatoie mentali” ovvero a reazioni emotive spesso in condizioni di assenza di conoscenza. Questo avviene anche perché gli individui sono tendenzialmente attratti da fonti di notizie che confermano e rafforzano le loro credenze preesistenti: ciò può diventare un aspetto critico solo pensando alla notevole frammentazione dei media e la presenza pervasiva di notizie ideologicamente tendenziose che il più delle volte contraddicono direttamente il consenso scientifico.

Tutto questo evidenzia come la comunicazione della scienza si muova sempre su una sorta di campo minato soprattutto quando si ha che fare con le generazioni più giovani perché non solo sono più esposti a fonti di informazioni spesso di dubbia qualità, diverse dai media mainstream, ma anche perché necessitano di iniziative coinvolgenti specifiche al loro linguaggio e alle loro “curve dell'attenzione”.

4. La dimensione operativa della SciCom

La frammentazione delle fonti di informazione, il sempre maggiore coinvolgimento della scienza nei processi decisionali politici ed economici, il progressivo sfumarsi dei confini fra ricerca pubblica e quella

privata, la frammentazione dell'audience, ecc. implicano lo sviluppo di rapporti sempre più complessi fra istituzioni e centri di ricerca, media e diversificazione delle tipologie di “pubblico” con rilevanti implicazioni nella delicata dimensione della “fiducia nella scienza”. Un processo di comunicazione della scienza deve avere quindi degli obiettivi e presupposti chiari che si devono legare alla complessità e alla varietà del messaggio scientifico.

Ogni tipo di pubblico è diverso, non solo dal punto di vista ad esempio demografico, economico, sociale o di genere, ma anche rispetto alla conoscenza di base. Bisogna pertanto esaminare in modo critico da un lato quali aspetti del patrimonio scientifico che si vuole condividere è più adatto al pubblico di destinazione: dall'altro è necessario avere una visione chiara di quanto può essere più o meno *complesso* il contenuto delle informazioni che devono essere condivise. Un messaggio troppo complesso (sia da un punto di vista espositivo che di contenuti) può diventare incomprensibile, quindi inutile e/o controproducente.

Ciò implica la messa a punto di una strategia capace di raggiungere più segmenti di pubblico target in modo fondamentalmente *credibile*: un flusso di SciCom basato su articoli sottoposti a *peer review* è ottimale per interfacciarsi con la comunità scientifica, ma altri tipi di audience potrebbero avere notevoli difficoltà per interpretare questo materiale. In questo caso possono essere utili ad esempio delle infografiche o dei comunicati stampa che possono agevolare la comprensione senza minare la credibilità scientifica dei contenuti.

La SciCom dovrebbe essere quindi correlata ad un “paesaggio tridimensionale di comunicazione scientifica” (figura 2) basati sulla complessità, cultura scientifica, interesse. Questi scenari devono essere capaci di includere anche contesti di apprendimento scientifico informali al cui interno si delineano delle “zone” ad altitudine differenziata in base alla competenza scientifica individuale o di gruppo ove le informazioni si muovono più o meno agevolmente sia in modo superficiale che sotterraneo. Le differenti altitudini, che talvolta si manifestano come vere e proprie montagne, dipendono anche dal grado di interesse e dalla complessità degli argomenti scientifici.

Le competenze servono per scalare queste montagne; i media sono le scale per scalare queste montagne; i comunicatori della scienza sono coloro che aiutano a scalare queste montagne. La comunicazione scientifica, utilizzando determinati media, deve tener conto delle caratteristiche di questo paesaggio e dei flussi comunicativi che si svolgono al suo interno.

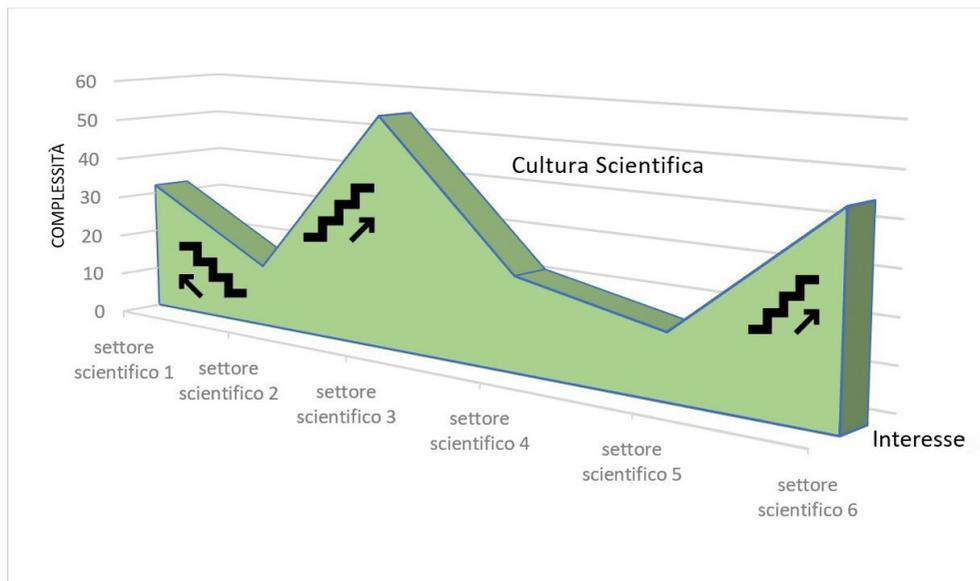


Fig. 2. I paesaggi tridimensionali di comunicazione scientifica.

La definizione di questi paesaggi dinamici evidenzia anche il fatto che la comunicazione scientifica non sempre genera di per sé un aumento immediato dell'alfabetizzazione scientifica. Molte persone magari sperimenteranno un maggiore *interesse* o un cambiamento di atteggiamento nei confronti della scienza che potrebbe portare solo in un secondo momento a una migliore alfabetizzazione scientifica. Inoltre gli scienziati o i ricercatori non sono in cima alle montagne e il pubblico in fondo: con questa visione la comunicazione scientifica infatti non può funzionare. Con l'attuale iperspecializzazione scientifica l'ignoranza su un particolare ambito della scienza è quasi altrettanto grande tra gli scienziati che lavorano in un altro ambito quanto lo è tra il largo pubblico. Questo approccio illustra in modo plastico come il "profilo montuoso" di una persona o di un determinato target di destinatari della SciCom (ovvero il grado di alfabetizzazione, in una varietà di ambiti) è *unico* ma tenderà a cambiare nel corso del tempo perché, anche in modo "sotterraneo", l'apprendimento è un processo articolato, complesso e continuo; le conoscenze in senso molto ampio si sviluppano e si evolvono fino ad arrivare a valutare aree diverse della conoscenza in modi nuovi.

Questi contesti ovviamente richiedono il coinvolgimento di alcuni strumenti operativi:

- *Competenze*: le competenze personali sono le risorse intangibili per gestire la SciCom a livello pubblico e interpersonale per deline-

are, organizzare e facilitare le attività scientifiche. Ciò è indispensabile per organizzare e presentare eventi scientifici ed esposizioni interattive, lavorare con il pubblico in situazioni virtuali o ad esempio museali. In questo ambito serve anche sviluppare capacità organizzative, di lavoro di squadra, amministrative, finanziarie, di progettazione e di realizzazione.

- *Media e attività*: bisogna avere un'adeguata dimestichezza con un'ampia varietà di media e attività per soddisfare l'esteso ventaglio di esigenze, stili di apprendimento, background sociali ed educativi del contesto di riferimento sia attraverso canali di comunicazione formale (eventi dimostrativi e/o divulgativi nelle scuole, visite ai laboratori, performance, science fairs and exhibitions, ecc.) sia informale (post, video, clip, ecc.).
- *Sistema di valutazione di impatto*: è necessario definire un sistema di valutazione dell'efficacia della strategia e degli strumenti di SciCom adottate sulla base di una stima delle variazioni nella:
 1. consapevolezza
 2. gradimento
 3. interesse
 4. idee
 5. comprensione

5. Conclusioni

Rendere la scienza più familiare alle persone che non sono scienziati significa contribuire a rendere la scienza parte della nostra cultura quotidiana.

La comunicazione scientifica (SciCom), per anni nel nostro Paese snobbata e sottovalutata, ha assunto in questi ultimi anni un ruolo critico in molti campi e molti livelli: dal dibattito politico alla pubblicità. Inoltre anche all'interno delle attività di enti ed istituti di ricerca nonché in programmi di finanziamento e nei progetti europei si richiede di prestare particolare attenzione alle modalità con cui la scienza viene comunicata al pubblico. È evidente che non si può più limitare questa disciplina alla realizzazione di manifestazioni divulgative scientifiche o alla redazione di comunicati stampa anche perché si richiede oggi di produrre in questo campo risultati concreti anche con effetti di medio-lungo periodo che pertanto possono diventare difficili da riconoscere e valutare.

Comunicare la Scienza è un compito complesso e ricco di sfaccettature di cui, in questa sede, abbiamo potuto fornire solo alcune brevi considerazioni. Tanti sono i livelli analitici e operativi coinvolti, molte le implicazioni di cui tenere conto.

Lo SciCom manager è chiamato quindi a sviluppare e a mettere in campo strumenti, strategie ed azioni capaci di stimolare e suscitare consapevolezza, gradimento, interesse, formazione delle opinioni/idee e comprensione della scienza in quanto indicatori rilevanti dell'efficacia della comunicazione scientifica.

Per conseguire questi obiettivi sono necessarie competenze ed esperienze specifiche che devono tener conto anche del notevole cambiamento nella natura della produzione della conoscenza e della evoluzione delle comunicazioni e proliferazione delle fonti di informazione.

Lo SciCom manager ha una responsabilità cruciale poiché è chiamato a contribuire a rendere chiari e condivisi assunti e attività di ricerca scientificamente solide e fondate: questo è un compito molto delicato per assicurare e difendere l'autorevolezza alla produzione scientifica in tempi molto "sensibili" per la scienza già solo considerando l'esposizione dei ricercatori (anche mediatica) alle epidemie, alle crisi finanziarie, agli eventi naturali legati al cambiamento climatico, allo sviluppo di nuovi farmaci, ecc. In breve: tutto questo implica una comunicazione della scienza gestita professionalmente. Non comunicare o comunicare male può implicare conseguenze imprevedibili non solo in termini di spreco di tempo e risorse, ma anche in termini di erosione della fiducia e di credibilità nei confronti della scienza.

Bibliografia

- Arroyo, M. D. (2013). Scientific language in skin-care advertising: Persuading through opacity. *Revista española de lingüística aplicada*, (26), 197-214.
- Bray, B., France, B., & Gilbert, J. K. (2012). Identifying the Essential Elements of Effective Science Communication: What do the experts say? *International Journal of Science Education*, Part B, 2(1), 23-41. <https://doi.org/10.1080/21548455.2011.611627>
- Bray, B., France, B., & Gilbert, J. K. (2012). Identifying the essential elements of effective science communication: What do the experts say?. *International Journal of Science Education*, Part B, 2(1), 23-41.
- Bums, T. W., O'Connor, D. J. & Stocklmayer, S. M. (2003). Science communication: A contemporary definition. *Public Understanding of Science*, 12(2), 183-202.
- Einsiedel, E. (2000). Understanding 'publics' in public understanding of science. In M. Dierkes & C. von Grote (Eds.). *Between understanding and trust - The public, science and technology*. London, New York: Routledge. 205-215.
- Fischhoff, B. (2019). Evaluating science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(16), 7670-7675.
- Fraser, N., Brierley, L., Dey, G., Polka, J. K., Pálffy, M., Nanni, F., & Coates, J. A. (2021). The evolving role of preprints in the dissemination of COVID-19 research and their impact on the science communication landscape. *PLoS biology*, 19(4),
- Logan, R. A. (2001). Science mass communication: Its conceptual history. *Science Communication*, 23(2), 135-163.
- Nane, G. F., van Schalkwyk, F., Dudek, J., Torres-Salinas, D., Costas, R., & Robinson-Garcia, N. (2021). The role of scientific output in public debates in times of crisis: a case study of the reopening of schools during the COVID-19 Pandemic. In *Pandemic communication and resilience* (pp. 307-329). Cham: Springer International Publishing.
- Nane, T., Robinson-Garcia, N., Schalkwyk, F. van, & Torres-Salinas, D. (2021). COVID-19 and the scientific publishing system: Growth, open access and scientific fields. SocArXiv. <https://doi.org/10.31235/osf.io/ntrp>
- Pitrelli, N., Manzoli, F., & Montolli, B. (2006). Science in advertising: uses and consumptions in the Italian press. *Public Understanding of Science*, 15(2), 207-220.
- Riise, J. (2008). Bringing Science to the Public. In D. Cheng, M. Claessens, T. Gascoigne, J. Metcalfe, B. Schiele, & S. Shi (Eds.), *Communicating Science in Social Contexts: New models, new practices* (pp. 301-309). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8598-7_18
- Torres-Salinas, D., Docampo, D., Arroyo-Machado, W., & Robinson-Garcia, N. (2023). The Many Publics of Science: Using Altmetrics to Identify Common Communication Channels by Scientific field. *arXiv preprint arXiv:2304.05157*.
- Trench, B. (2008). Towards an analytical framework of science communication models. *Communicating science in social contexts: New models, new practices*, 119-135.
- Trench, B., & Bucchi, M. (2010). Science communication, an emerging discipline. *Journal of science communication*, 9(3), C03.
- Van Schalkwyk, F., & Dudek, J. (2022). Reporting preprints in the media during the COVID-19 pandemic. *Public Understanding of Science*, 31(5), 608-616. <https://doi.org/10.1177/09636625221077392>

CARMELO CANNARELLA

Primo tecnologo presso l'Istituto per i Sistemi Biologici (ISB) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Possiede competenze consolidate nel campo del management e aspetti organizzativi della ricerca. Si occupa, sia a livello operativo che di ricerca, di analisi, definizione e sviluppo di soluzioni organizzativo-gestionali per ottimizzare l'efficienza e l'efficacia delle strutture organizzative anche applicate al trasferimento tecnologico, alla movimentazione di innovazione e conoscenza, alla divulgazione e disseminazione. Si occupa anche dello studio, analisi e implementazione di strumenti e strategie di comunicazione, divulgazione e promozione. È autore di numerose pubblicazioni e articoli su queste tematiche.

Senior technologist at the Institute for Biological Systems (ISB) of the National Research Council (CNR). He has established skills in the field of management aspects of research. He deals, both at an operational and research level, with the analysis, definition and development of management solutions to optimize the efficiency organizational structures, also applied to technology transfer, innovation and knowledge handling, and dissemination. He also deals with the study, analysis and implementation of communication, dissemination and promotion tools and strategies. He is the author of numerous publications and articles on these topics.

Contatti

carmelo.cannarella@cnr.it

VALERIA PICCIONI

Prima tecnologa presso l'Istituto per i Sistemi Biologici (ISB) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Si occupa di aspetti organizzativi e gestionali, relativamente ai quali ha realizzato numerosi articoli, con particolare riferimento agli aspetti normativi nonché di trattamento dati, strumenti e strategie di comunicazione, divulgazione e promozione.

Senior technologist at the Institute for Biological Systems (ISB) of the National Research Council (CNR). She deals with organisational and management aspects; she has written numerous articles, with particular reference to regulatory aspects as well as data processing, communication tools and strategies, dissemination and promotion.

Contatti

valeria.piccioni@cnr.it

RIPARTENZA DEL NUCLEARE CIVILE NEL MONDO

Ettore Ruberti

Riassunto

Uno dei problemi più critici attuali delle società contemporanee è costituito dal fabbisogno energetico, attualmente soddisfatto per l'84% a livello mondiale attraverso la combustione di carbone, petrolio e gas. Nel medio termine l'unica alternativa all'utilizzo dei combustibili fossili sembra essere rappresentata dal nucleare da fissione. Ma per l'uso di energia da fonte nucleare è necessario tener conto dei potenziali pericoli interessanti l'intera biosfera. Conseguentemente, una corretta gestione del patrimonio naturale non può prescindere dall'attenta considerazione dello "stato dell'arte" di tale attività.

Abstract

One of the most critical problems facing contemporary societies today is the need for energy, 84% of which is currently met worldwide through the burning of coal, oil and gas. In the medium term, the only alternative to the use of fossil fuels seems to be nuclear fission power. But the use of nuclear energy must consider the potential dangers to the entire biosphere. Therefore, proper management of the natural heritage cannot disregard careful consideration of the 'state of the art' of this activity.

Parole chiave: *fabbisogno energetico, carbone, petrolio, gas, energia nucleare, patrimonio naturale.*

Keywords: *energy needs, coal, oil, gas, nuclear energy, natural heritage.*

1. Introduzione

Uno dei problemi più critici e pressanti del mondo contemporaneo è costituito dal fabbisogno energetico, attualmente soddisfatto per l'84% a livello mondiale attraverso la combustione di carbone, petrolio (con i suoi derivati) e gas (principalmente metano). È evidente che tutto ciò può essere causa di crisi geopolitiche, di inquinamento sia atmosferico che idrico e terrestre, di forte impatto sul piano sanitario e di incremento dell'effetto serra. Se oltre alla crescita dei consumi, che avviene in particolare nei Paesi in via di sviluppo (PVS), si considera anche l'esaurimento dei giacimenti di più facile accesso, diviene altrettanto chiaro che la problematica energetica si acuirà nel futuro in maniera esponenziale. Le fonti definite alternative o rinnovabili, come il solare fotovoltaico, il solare termico e l'eolico, sono da considerarsi integrative in quanto caratterizzate da bassa intensità energetica e da intermittenza nella disponibilità. L'idroelettrico è stato sviluppato dove si poteva, a volte con rilevante impatto ambientale (si veda, in proposito, quanto avvenuto in Cina ed in Sud America). Il geotermico offre qualche possibilità di incremento. La fusione, se

andrà tutto secondo le previsioni, sarà disponibile fra circa 50 anni. Le altre fonti (sfruttamento delle maree, ecc.) sono attualmente solo allo stadio di impianti dimostrativi. L'unica alternativa all'utilizzo massiccio dei combustibili fossili è dunque rappresentata dal nucleare da fissione, sebbene questo negli ultimi decenni sia stato demonizzato dall'opinione pubblica a causa degli eventi prima di Three Mile Island negli USA e poi di Chernobyl in Ucraina e di Fukushima in Giappone, che lo hanno interessato in senso negativo. Poiché l'attività produttiva di energia da fonte nucleare è obbligata a tener conto di potenziali pericoli interessanti non soltanto le società umane, ma l'intera biosfera che ne permette l'esistenza, risulta evidente come una corretta gestione del patrimonio naturale non possa prescindere dall'aver costantemente chiaro lo "stato dell'arte" di tale attività. E il senso del presente articolo va appunto in questa direzione.

2. La posizione dell'Italia

Malgrado gli anni trascorsi, non sempre è possibile incontrare nei media una narrazione attendibile

ed esaustiva di ciò che è realmente accaduto nei tre siti citati nel titolo di questo articolo. Tanto per dare un esempio, non sempre è stato messo in evidenza il fatto che la catastrofe di Chernobyl del 1986 non derivò da un incidente nella centrale, ma da un improvvido esperimento. La narrazione, inoltre, è stata spesso fatta con toni e risvolti di carattere “terroristico”, contribuendo in tal modo a generare e diffondere nel vasto pubblico, e in particolare in quello italiano, una reazione di rifiuto nei confronti di qualsiasi intento di produzione energetica tramite la fissione dell’atomo. Anche sulla base dei risultati del referendum popolare sul tema tenutosi nel 1987, il nostro Paese ha deciso di attenersi ad un programma energetico fondato unicamente sull’uso massiccio del gas naturale, imponendo altresì una moratoria di cinque anni, che poi sono divenuti 34, nell’utilizzo delle quattro centrali nucleari di cui disponeva: quelle di Trino Vercellese in Piemonte, di Caorso in Emilia, di Latina nel Lazio e di Sessa Aurunca sul Garigliano in Campania. Per quanto riguarda il referendum, d’altra parte, è da ricordare che esso non metteva in discussione la produzione energetica tramite fissione nucleare, in quanto l’articolo 75 della Costituzione vieta esplicitamente di sottoporre a quesito referendario materie frutto di accordi internazionali (il motivo per cui non abbiamo votato per l’euro!) ma proponeva tre quesiti che spesso sono stati definiti come piuttosto nebulosi e di non facile comprensione perfino per gli stessi addetti ai lavori. I quesiti, in effetti, riguardavano: 1) l’abrogazione o meno delle norme che consentivano al Comitato Interministeriale per la HEY Programmazione Economica (CIPE) di decidere sulla localizzazione delle centrali, nel caso non lo avessero fatto le Regioni nei tempi previsti; 2) l’abrogazione o meno dei compensi ai Comuni che accettavano i grandi insediamenti energetici nucleari o a carbone; 3) l’abrogazione o meno della norma che consentiva all’ENEL di partecipare ad accordi internazionali per la costruzione e la gestione di centrali nucleari all’estero. E tutto ciò nonostante che (a) la prima Conferenza Nazionale sull’Energia avesse raccomandato il contrario, (b) che l’allora Presidente del Consiglio, Bettino Craxi, avesse rassicurato la Comunità Europea sul non abbandono della produzione elettrica tramite l’energia nucleare; e che (c) la moratoria introdotta avesse di fatto convertito l’energia elettrica generata tramite fissione in un prodotto di importazione – dalla Francia, dalla Slovenia e dalla Svizzera – per una percentuale di circa il 14% dell’energia annualmente consumata in Italia. A completamento del quadro, può infine essere ricordato il fatto che in Italia ancora non è stato scelto un sito appropriato per lo smaltimento delle scorie radioattive – non solo quelle prodotte dalle centrali energe-

tiche, ma anche quelle di provenienza industriale ed ospedaliera; e ciò malgrado a tale proposito si abbiano a disposizione sia tecnologie ormai mature e ben collaudate, sia pregevoli studi da parte dell’Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA) e dell’Istituto Superiore per la Protezione dell’Ambiente (ISPRA). Ma torniamo ai tre siti sopra menzionati ed analizziamone, sia pure brevemente dato lo spazio riservato all’articolo, ciò che effettivamente vi è accaduto.

3. Quello che è veramente accaduto negli USA a Three Mile Island

A tutt’oggi, il più grave incidente nucleare verificatosi negli USA rimane quello della centrale di Three Mile Island, ubicata nell’isola omonima lungo il Fiume Susquehanna nel territorio di Londonderry a sud di Harrisburg, capitale dello Stato di Pennsylvania. Il 28 marzo del 1979, in uno dei suoi due reattori si verificò il blocco di una valvola del circuito secondario di refrigerazione che provocò la mancanza di alimentazione ai generatori di vapore. Questo fatto fece fermare il circuito primario di raffreddamento del “nocciolo” (l’erogatore dell’energia nucleare) per cui si ebbe un aumento di pressione che portò al blocco della valvola di sicurezza, e quindi – come previsto dalle norme relative a qualsiasi tipologia di centrale nucleare eccettuate quelle RBMK (dal russo Reaktor Bolshoi Moshchnosty Kanalny, che significa “reattore di grande potenza a canali”) – all’arresto dei generatori di emergenza ed all’inserimento delle barre di controllo. Sebbene la mancata apertura della valvola di rilascio abbia danneggiato anche l’interno dell’impianto, i tecnici non ebbero modo di accorgersene in quanto la strumentazione non includeva un indicatore del funzionamento della stessa. In definitiva, la parziale fusione del “nocciolo” del reattore rese quest’ultimo inutilizzabile e consentì il rilascio di 480 PBq. Nel Sistema Internazionale Pesì e Misure, il Becquerel (Bq) rappresenta l’unità di misura dell’attività di 1 radionuclide al secondo, non assorbito, mentre il PicoBecquerel (PBq) e il GigaBecquerel (GBq) corrispondono rispettivamente ad 1 bilionesimo e ad 1 miliardo di Bq. Si parlò allora del pericolo derivante dalla presenza di idrogeno, ma questo non rappresentò un problema poiché gli addetti provvidero puntualmente ad espellerlo dal reattore tramite un meccanismo a valvola. Dopo decenni da quanto avvenuto allora, sappiamo che l’incidente non produsse effetti letali né all’interno né all’esterno della centrale.

4. Quello che è veramente accaduto a Chernobyl nell'ex-URSS

Costruita nel 1970 in epoca sovietica nei pressi di Prypjat', nell'attuale Ucraina, la centrale di Chernobyl era nata dalla scelta di una tecnologia indirizzata anche a fini militari in quanto idonea a produrre, oltre che energia elettrica, plutonio per testate nucleari. Originariamente era dotata di quattro reattori RBMK, cioè, appartenenti ad un tipo che era impiegato solo all'interno dell'URSS, mentre nei Paesi satelliti di quest'ultima venivano utilizzati impianti di tipo VVER (Vodo-Vodyano Energetichesk Reaktor) a bassa potenza, simili a quelli occidentali ad acqua pressurizzata. Il reattore RBMK 1.000, a tubi in pressione, moderato a grafite e refrigerato ad acqua leggera bollente, ha una potenza complessiva di 3.200 MW termici che permettono di produrre 1.000 MW elettrici. Il disaccoppiamento delle funzioni di moderatore, affidate alla grafite, da quelle del refrigerante, affidate all'acqua leggera (che contenendo idrogeno funge anche da assorbitore di neutroni), può generare instabilità intrinseca: nel senso che alla mancanza d'acqua si accoppia un aumento della reattività del sistema (coefficiente di vuoto positivo). I reattori di tipo occidentale, ad acqua bollente (Boiled Water Reactor: BWR) e ad acqua pressurizzata (Pressured Water Reactor: PWR) affidano invece all'acqua entrambe le funzioni (moderazione e raffreddamento), tanto che in mancanza d'acqua la reazione nucleare si arresta. Il "nocciolo" del reattore RBMK è costituito da un grande cilindro in blocchi di grafite dal diametro di 12 m e dall'altezza di 7 m. Nella matrice in grafite sono disposti, secondo un reticolo regolare, i canali per l'inserimento delle barre di controllo ed i canali di potenza, tubi in lega di zirconio nei quali sono contenuti gli elementi di combustibile. È in tali elementi, costituiti da fasci di barrette cilindriche in lega di zirconio contenenti pasticche (pellets) di biossido di uranio arricchito al 2%, che ha luogo la reazione di fissione a catena dell'uranio, con produzione di neutroni veloci e di calore. L'acqua, spinta dalle pompe di circolazione, scorre nei canali di potenza dal basso verso l'alto alla pressione di circa 70 kg/cm² ed affluisce nel "nocciolo" alla temperatura di 270 °C. Uscendo dal medesimo, l'acqua è inviata a quattro grandi separatori di vapore, dai quali la frazione liquida torna a fluire nei canali di potenza mediante le pompe di circolazione, mentre il vapore è convogliato ad azionare due gruppi turbina-alternatore da 500 MWe ciascuno. Il vapore esausto scaricato dalle turbine viene condensato e l'acqua risultante, preriscaldata, è rinviata al separatore di vapore tramite le pompe di alimentazione. Quando il reattore è a regime la grafite ha una temperatura

media di 600 °C e punte di 700 °C, valori molto elevati in quanto superiori alla soglia di reazione aria-carbonio e prossimi alla soglia di reazione acqua-carbonio. Le caratteristiche costruttive di questo tipo di reattore rendono possibile, anche durante il funzionamento, il ricambio degli elementi combustibili attraverso una gigantesca macchina di carico e scarico alta 35 m ed ubicata nella hall superiore del reattore. Tale hall è coperta da una struttura a capriata che, ovviamente, non può essere considerata un sistema di contenimento. Al contrario, le centrali occidentali dispongono di un vero e proprio edificio di contenimento fatto da strati di cemento al boro ed acciaio in grado di resistere anche alla caduta di un aereo o ad un terremoto. Quanto accadde nella notte fra il 25 ed il 26 aprile 1986 nell'unità 4 della centrale nucleare di Chernobyl, fu nel corso di un esperimento (si parla infatti di "esperimento di Chernobyl") volto a verificare la possibilità di alimentare i sistemi di sicurezza durante il rallentamento del turbogeneratore successivo al distacco dalla rete. Tale prova fu affidata ad un tecnico non specializzato; inoltre, sia durante la fase preparatoria dell'esperimento che nel corso della sua realizzazione furono commessi numerosi errori di manovra e gravi violazioni a precise norme procedurali. Se le fasi iniziali del disastro sono imputabili a questi aspetti, il suo sviluppo incontrollato è invece da collegare alle caratteristiche di instabilità intrinseca a questa tipologia di reattore (particolarmente a bassa potenza) e determinata da un elevato coefficiente positivo di reattività e dalla mancanza di un edificio di contenimento. Più in dettaglio, si può osservare che il reattore era venuto a trovarsi in una situazione di massima instabilità in quanto le barre di controllo non erano nella posizione prevista (cioè 6-8 barre inserite contro il numero minimo di 30 previsto) ed in tutto il circuito di raffreddamento si erano determinate condizioni prossime alla saturazione. L'improvviso arresto di quattro pompe di circolazione nel momento di attuazione dell'esperimento determinò quindi una produzione di vapore molto rapida e, conseguentemente, un fulmineo aumento di potenza del reattore dovuto alla sua instabilità intrinseca (coefficiente di vuoto positivo). La produzione di vapore in alcune zone del "nocciolo" causò poi l'introduzione di una forte quantità di reattività positiva, tale da portare il reattore "pronto critico" alla rottura di alcuni canali di raffreddamento ed a far sbalzare di posizione la piastra-schermo superiore. Quest'ultimo evento, documentato dalle fotografie scattate dagli elicotteri, impedì alle barre di controllo di inserirsi e, tranciando tutti i canali di potenza, generò una nuova iniezione di reattività. In seguito ad una serie di reazioni chimiche esplosive, si verificarono infine distruzioni delle strut-

ture del reattore, l'espulsione di blocchi di grafite e di pezzi di combustibile, l'innesco di una serie di incendi nell'area degli edifici della centrale e l'incendio della grafite del reattore esplosa. La combustione della grafite (ne bruciò il 10%) produsse una colonna di fumo che si elevò fino a 1.200 metri di quota, dove i venti, sempre presenti a quelle altezze, contribuirono a disperdere la radioattività sull'Europa. Per quanto concerne le conseguenze sulla popolazione, i dati più attendibili sono quelli pubblicati nel rapporto del Chernobyl Forum, un incontro internazionale promosso nel 2003 dall'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA), al quale parteciparono varie Agenzie delle Nazioni Unite come l'Organizzazione per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO), l'Ufficio per il Coordinamento degli Affari Umanitari (OCHA), il Programma delle Nazioni Unite per lo sviluppo (UNDP), il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP), il Comitato scientifico delle Nazioni Unite per lo Studio degli Effetti delle Radiazioni Ionizzanti (UNSCEAR), l'Organizzazione Mondiale per la Sanità (WHO), la Banca Mondiale, la Russia, la Bielorussia e l'Ucraina. Una sintesi di tale rapporto è consultabile nel sito del web <http://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html>. In estrema sintesi, i morti accertati nel corso degli eventi furono: 3 lavoratori della centrale (2 a causa dell'esplosione ed 1 per trombosi coronarica); 28 soccorritori per le radiazioni assorbite e 19 per cause legate alle radiazioni (3 dei quali per leucemia); 15 persone, fra la popolazione maggiormente esposta, per tumore alla tiroide. Relativamente alle morti presunte, ma non rilevabili statisticamente, si ricordano: 2.200 su circa 200.000 liquidatori; 160 su circa 116.000 evacuati; 1.600 persone in aree a stretto controllo su circa 270.000. Infine, fra la popolazione residente a largo raggio nella zona irradiata da 37 kBq/m² (kiloBecquerel per metro quadro) in su, il numero dei morti è incerto ma valutabile in circa 5.000 su 5 milioni. Mentre per i dati sui lavoratori e sui soccorritori non ci sono discussioni, per quelli sui morti presunti esistono stime diverse che hanno portato ad accese contestazioni, in particolar modo da parte del Partito Verde europeo e dei vari gruppi ambientalisti. Va sottolineato, ancora, che molti dati sostenuti dai mass media e dalle fonti su Internet sono da ritenersi inattendibili in quanto non basati su un qualunque criterio di stima. In questo contesto si aggiunge anche che alcuni ricercatori hanno recentemente diffuso notizie allarmanti circa la presenza di lupi provenienti da Chernobyl, e quindi ritenuti radioattivi (o mutanti), a circa 300 km di distanza. Oltre a ricordare che gli altri tre reattori della centrale hanno continuato a funzionare fino all'anno 2.000, si evidenzia che il grado di radioattività locale è oggi sceso a

livello di non pericolosità (anche se il terreno contaminato non potrà essere utilizzato per agricoltura e allevamento) e che la centrale è stata coperta da un nuovo "sarcofago" in acciaio in grado di resistere per almeno un secolo.

5. Quello che è veramente accaduto a Fukushima in Giappone

Ubicata circa 200 chilometri a nord-est di Tokyo sulla costa affacciata all'Oceano Pacifico, la centrale giapponese di Fukushima consiste di sei reattori nucleari costruiti fra il 1971 e il 1979 su terrapieni di differente altezza: due di essi a 13 m e gli altri quattro a 10 m. Come è noto, il disastro verificatosi l'11 marzo del 2011 fu provocato da uno tsunami (termine giapponese che significa onda del porto) di dimensioni rilevanti. Anche se conosciamo le condizioni necessarie al crearsi di queste onde anomale e le dimensioni che possono raggiungere in località spesso lontane dalla loro area di provenienza (la loro altezza varia a seconda dell'andamento batimetrico della costa), i momenti in cui esse possono formarsi rimangono purtroppo ignoti. Basandosi sui dati storici elaborati statisticamente, i Giapponesi avevano previsto lungo le loro coste barriere di altezze variabili fino a 16 m, ma in alcune insenature l'onda del 2011 raggiunse i 24-30 m, per cui risultò decisamente inarrestabile: tant'è che al medesimo tempo esplosero due centrali di turbogas, bruciò una raffineria e cedette una diga causando la morte di 18.000 persone. A Fukushima era stata realizzata una barriera di protezione dalle onde alta 6,5 m, ma localmente l'onda dello tsunami arrivò quasi a 14 m. Come previsto a livello progettuale, i reattori attivi 1, 2 e 3 si spensero in 20 secondi (gli altri erano stati disattivati per manutenzione). A questo punto la circolazione dell'acqua di raffreddamento doveva essere garantita dai generatori di emergenza alimentati da motori diesel, ma solo quei pochi non sommersi dall'acqua continuarono a funzionare. D'altra parte, lo tsunami travolse i grandi serbatoi di gasolio e distrusse i collegamenti con la rete elettrica. Nei reattori 1, 2 e 3, ormai privi del raffreddamento di emergenza, la temperatura salì fino a 900-1.000 °C e le barre di zircalloy (la lega di cui sono fatti gli elementi di combustibile contenitori del pellet di uranio e plutonio) iniziarono ad ossidarsi liberando grandi quantità di idrogeno. In condizioni normali l'acqua si scinde in idrogeno e ossigeno a 3.500 °C ma, in presenza del catalizzatore zirconio, la scissione avviene a 800 °C. Per impedire l'aumento della pressione nel contenitore del "nocciolo" dei reattori, i tecnici decisero di liberare il vapore contenente idrogeno ed i prodotti di fissione

più volatili. L'idrogeno è 14,4 volte più leggero dell'aria, e in condizioni normali si sarebbe disperso, ma in questo caso si raccolse nella parte superiore degli edifici dei reattori dove si ricombinò con l'ossigeno. Come ben sappiamo fin dai tempi del liceo, al di sopra dei 550 °C la ricombinazione di tali elementi avviene in maniera esplosiva (si parla, infatti, di gas tonante). Le esplosioni che si verificarono, quindi, furono chimiche e non nucleari. Ciò, comunque, portò alla distruzione della parte superiore degli edifici 1, 3 e 4 ed alla liberazione di una nube radioattiva che rese critica una zona di circa 22 km di diametro. La nube si espanse sopra l'Oceano Pacifico in direzione del Nord America e dell'Atlantico. Il massimo registrato in Italia, misurato presso il Centro Ricerche Ambiente Marino dell'ENEA (Pozzuolo di Lerici, SP), fu comunque di un quinto della radiazione di fondo che ci colpisce ogni giorno. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), anche nella zona critica suddetta gli effetti a lungo termine (neoplasie) imputabili alle dosi ricevute non sono risultate rilevabili rispetto alle fluttuazioni statistiche di "fondo" delle patologie oncologiche. Tra gli oltre 33.000 lavoratori impegnati nella centrale prima dell'incidente e nei mesi successivi non sono stati registrati casi di sindrome acuta da radiazioni. Un rischio ipotetico di tiroiditi autoimmuni e di ipotiroidismo è stato riconosciuto in 13 lavoratori con elevata esposizione alla tiroide, mentre non sono stati evidenziati rischi di patologie cardiovascolari da radiazioni. A tutt'oggi nessun caso di neoplasia si è verificato: tra i 174 lavoratori esposti a più di 100 millisievert (Le unità di misura internazionali per la radiazione equivalente e quella efficace che valutano rispettivamente l'effetto e l'entità dei danni provocati su un organismo sono il Sievert (Sv) e il Gray (Gy). Entrambi sono sinonimi del passaggio di un joule di energia per chilo. La dose per evento in cui cominciano ad essere rilevabili i primi sintomi sanitari è di 250.000 Sv (i sottomultipli del Sievert sono il millisievert, un millesimo di Sv e il microsievert, un milionesimo di Sv); tale valore rappresenta il doppio di quanto è consentito in un anno dalla normativa ed esso potrebbe rappresentare un rischio, seppure non immediatamente correlabile. Il riversamento in mare dei liquidi radioattivi, causato in gran parte da errori della società che gestisce gli impianti, la Tokyo Electric Power Company (TEPCO), corrisponde a quello dei liquidi di scarto (il cosiddetto dumping) che fino a poco tempo fa veniva attuato lungo le coste della cittadina di Southampton dalle centrali inglesi, ossia 60.000 tonnellate d'acqua (espressi in volume sarebbero 60.000 metri cubi d'acqua che divisi in contenitori di 2 m di altezza occuperebbero non molto di più di 3 ettari). Per quanto i danni nei pressi della costa di

Fukushima siano stati significativi e le perdite continue impediscano ancora oggi la pesca e l'allevamento, va considerato che l'acqua radioattiva si disperde completamente nell'immensa massa dell'Oceano Pacifico; per cui qualunque notizia relativa ad una sua reale contaminazione (l'aumento della radioattività è trascurabile e, in ogni caso, inferiore alla radioattività del carbonio 14 e potassio 40 naturalmente presenti nel mare) ed all'arrivo di pesce radioattivo (tonni e salmoni) sulle coste occidentali americane è da ritenersi del tutto inattendibile. Secondo un articolo pubblicato sui Proceedings of the National Academy of Science (PNAS), è stato possibile monitorare le migrazioni dei tonni grazie ad una debolissima quantità di radioattività, molto minore comunque di quanto sufficiente a provocare danni biologici. Anche considerando solo la regione in prossimità delle coste di Fukushima, le perdite dei reattori ammontano a meno di una parte su 100.000 della radioattività presente. È vero che alcuni reattori si sono parzialmente fusi, ma i danni, sebbene assai rilevanti, sono rimasti confinati all'interno degli impianti. Sembra infine opportuno sottolineare che le norme di sicurezza introdotte dopo l'incidente di Fukushima non sono state del tutto adeguate alla situazione reale, in quanto hanno reso illegali quantità di radiazioni al di sotto della soglia di pericolo fissata in precedenza ed hanno obbligato una parte della popolazione a spostarsi in altri luoghi. Quest'ultimo aspetto, per quella che gli psicologi definiscono "sindrome da rafforzamento", soprattutto tra gli anziani e le persone affette da patologie pregresse ha provocato diffusi stati d'ansia, malattie psicosomatiche e morti da depressione e da stress.

6. L'odierna ripresa del nucleare

Sulla Terra esiste una radioattività naturale che fin dall'inizio ci ha accompagnato nel percorso evolutivo e che nel tempo è andata addirittura diminuendo. Per fortuna il nostro pianeta è geologicamente attivo ed in grado di fornirci, dal suo interno, molti elementi indispensabili alla vita; se così non fosse, tali elementi si esaurirebbero in circa 300.000 anni ed a popolare il pianeta resterebbero solo i microorganismi estremofili appartenenti agli Archea ed ai batteri. Va aggiunto che nel nostro corpo avvengono mediamente 7.700 decadimenti radioattivi al secondo, la metà dei quali interessanti il potassio, e che riceviamo radioattività dallo spazio, dalla terra, dal cibo, dall'onni-presente radon e persino dalla respirazione. Va inoltre tenuto presente che in molte aree vi sono rocce la cui radioattività naturale è elevata, anche se molto al di sotto del livello in cui si cominciano ad osservare i

primi effetti sulle cellule componenti gli organismi. Per fare un solo esempio: il porfido, che a Roma costituisce la pavimentazione di Piazza San Pietro, ha una radioattività cento volte maggiore di quella attualmente rilevabile a 100 metri dal quarto reattore di Chernobyl. All'opposto di ciò che generalmente si crede, oggi il nucleare non mostra affatto di andare in pensione, ma sembra addirittura entrare in una fase di seconda giovinezza. Nel mondo, infatti, sono in avanzata fase di costruzione ben 53 centrali nucleari in grado di assicurare una potenza elettrica complessiva di 54.094 MWe (56.270, secondo l'AIEA), altre sono in fase di licenziamento e molte in programmazione. Sono inoltre in fase avanzatissima di progettazione, ed in alcuni casi di costruzione, reattori di quarta generazione "autofertilizzanti", ossia capaci di utilizzare gran parte delle scorie prodotte dai reattori delle generazioni precedenti con un rendimento di almeno due ordini di grandezza superiore agli attuali. La prima centrale dotata di questo tipo di reattori e giunta a completare il suo ciclo vitale senza problemi è stata il Superphoenix di Cres Melville, frutto di una cooperazione franco-italo-tedesca. Le poche scorie rimaste possono agevolmente essere distrutte dal Rubbiatron, attualmente allo studio presso il Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA: un reattore collegato con un piccolo acceleratore di particelle che "bombardano" le scorie producendo ulteriore energia ed abbassandone la radioattività. Va altresì aggiunto che i reattori di quarta generazione, lavorando ad alta temperatura, possono produrre idrogeno a costi ragionevolissimi. Se in Europa soltanto la Francia, la Finlandia, la Gran Bretagna ed i Paesi orientali (Bielorussia, Bulgaria, Repubblica Ceca, Romania, Slovacchia, Ucraina e Ungheria) stanno costruendo o hanno in programma nuove centrali, l'uso dell'energia nucleare sta acquistando una posizione di primo piano soprattutto nei Paesi emergenti, Cina in primis. Più in dettaglio, la situazione a livello globale si presenta come segue: - dopo una pausa di tre anni, nel 2019 la Cina ha deciso di costruire da 6 ad 8 centrali all'anno per arrivare a coprire il 10% dei consumi elettrici entro il 2030, partendo dall'attuale 4,9%. Ha rivolto inoltre il suo interesse verso centrali autofertilizzanti HTGR ad alta temperatura, con l'ulteriore obiettivo di produrre idrogeno da utilizzare in campo industriale (vapore per il teleriscaldamento, trasporto su gomma, ecc.); - la Russia sta promuovendo attivamente la costruzione di centrali anche al di fuori dei suoi confini (ad esempio: in Turchia, dove ne sta realizzando una e ne ha previste altre due; in Iran, dove ne è stata terminata una ed un'altra è in costruzione; in Bangladesh), offrendo un portafoglio di opportunità adeguato al livello tecnologico del Paese se cliente: si va dal pacchetto integrale

con addestramento del personale a contratti che prevedono la gestione totale degli impianti. La Russia è anche il Paese dove è maggiormente sviluppato l'uso di piccole centrali offshore ubicate su chiatte e dove la tecnologia delle centrali modulari è molto avanzata; - l'India dispone di 22 reattori in funzione, ne ha 7 in costruzione ed è intenzionata a realizzarne altri 14 poiché, come ha dichiarato il Dipartimento dell'Energia Atomica, "non esiste un sostituto per l'energia atomica particolarmente affidabile". In passato l'India aveva dichiarato di voler raddoppiare la propria capacità nucleare entro il 2031, ipotesi poi ridimensionata a causa dei dubbi sulla fattibilità del progetto espressi dalla Nuclear Power Corporation di tale Paese; - il Pakistan dispone attualmente di 5 centrali (più due in costruzione ed una in progettazione), ma ha annunciato di volerne portare a termine 32 entro il 2050. Si ricorda che questo Paese è stato il primo, fra quelli musulmani, a saper costruire e gestire autonomamente centrali nucleari; - il Giappone, dopo il blocco totale seguito al disastro di Fukushima, ha confermato il nucleare nella propria politica energetica riavviando 9 reattori ed iniziando la costruzione di altri due; questi reattori si aggiungeranno ai 24 impianti già esistenti, per i quali sono in corso adeguamenti alle più severe normative di sicurezza; - altri Paesi come la Corea del Sud, la Thailandia e Taiwan si stanno muovendo verso l'acquisizione di nuove centrali, per cui l'Asia è veramente da considerarsi la protagonista del cosiddetto "rinascimento nucleare". Fra l'altro, la Corea del Sud ha quest'anno inaugurato la prima centrale negli Emirati Arabi Uniti, con il completamento di uno dei quattro reattori previsti a Barakah; - in Africa, dove la Repubblica Sudafricana ha due reattori in funzione e progetta di costruirne altri, numerosi Paesi (tra i quali Egitto e Tunisia) hanno avviato il percorso che li porterà alla realizzazione della loro prima centrale nucleare; - nelle Americhe gli Stati Uniti, l'Argentina ed il Brasile stanno portando avanti la costruzione di un numero limitato di centrali nucleari dato che puntano ancora sui fossili (nel caso degli USA soprattutto sul carbone). Il Canada non ha in programma la costruzione di nuove centrali ma sta ammodernando i reattori CANDU per allungarne significativamente la vita operativa. Secondo l'AIEA, attualmente sono in attività 441 o 442 reattori nucleari i quali, sviluppando una potenza complessiva di 391.665 o 392.150 MWe, contribuiscono per il 10,5 % alla produzione elettrica mondiale. Riguardo al costo dell'energia elettrica prodotta dalle diverse fonti, la tabella redatta dall'U.S. Information Energy Administration relativa al 2019 non necessita di ulteriori commenti. In conclusione, di fronte ai danni sanitari ed ambientali provocati dall'utilizzo massivo dei combustibili fossili (nel solo

2016 l'OMS ha valutato in ben 3,7 milioni le morti in Europa dovute all'inquinamento industriale e la metà delle quali legata all'uso del carbone), la preoccupazione che il nucleare possa rappresentare veramente un pericolo per le società umane e, più in generale, per l'intera biosfera, non può che richiedere di essere ridimensionata.

Bibliografia

- A.A.V.V. (1980), Harrisburg Emergenza Nucleare: Il rapporto americano sull'incidente alla centrale di Three Mile Island. ETAS.
- Batistoni P. (a cura di) (2006), Il Rapporto del Chernobyl Forum. Energia, Ambiente Innovazione, 4: 29-44.
- Ciotti M., Ruberti E. & Manzano J. L. (2016), Nucleare di nuova generazione: i reattori a piombo. Energia, dicembre, 68-74.
- ENEA (www.enea.it) <https://www.iaea.org/topics/chornobyl> U.S. Information Energy Administration (2019).
- Ruberti E. (2017), La situazione energetica italiana Seminario "La scienza al servizio del territorio e del cittadino", Senato della Repubblica Italiana 13 aprile 2017.
- Ruberti E. (2020), Rinascimento nucleare Energia, novembre 2020. On-line.
- Silvestri M. (1968), Il costo della menzogna. Italia nucleare (1945-1968) Einaudi 1968.

ETTORE RUBERTI

È Ricercatore dell'ENEA, Dipartimento FSN-FISS-SNI. I suoi campi di ricerca sono l'evoluzione biologica e l'entomologia applicata. Attualmente dirige il Dipartimento di Biologia ed Ecologia di UNISRITA. È autore di numerosi articoli scientifici e divulgativi. Fra i suoi libri ricordiamo: Etologia: lo studio del comportamento animale; La Biodiversità, una risorsa vitale per l'intera umanità scritto insieme con il compianto professor De Murtas; L'evoluzione dell'evoluzionismo, lo sviluppo della ricerca.

He is a Researcher at ENEA, FSN-FISS-SNI Department. His fields of research are biological evolution and applied entomology. He currently heads the Department of Biology and Ecology at UNISRITA. He is the author of numerous scientific and popular articles. His books include: Etologia: lo studio del comportamento animale; La Biodiversità, una risorsa vitale per l'intera umanità (written with professor De Murtas); L'evoluzione dell'evoluzionismo, lo sviluppo della ricerca.

Contatti

ettore.ruberti@enea.it

Dal 2022 l'ANPRI con il contributo di Analysis organizza gli

Incontri ANPRI = InANPRI

TEMA trattato nel 2022: **Ci sono ancora motivi che sostengono la necessità di norme di stato giuridico per i ricercatori e tecnologi degli Enti Pubblici di Ricerca?**

Incontri ANPRI 2022
Illustrazione, discussione e proposte di idee per la professione di ricercatore

30 maggio 2022

LA STRANA STORIA DELLO STATUS DI RICERCATORE NEGLI EPR...
...dal paragrafo 41 D.lgs. n. 230/2014: qualcosa è cambiato, ma...
14:30 Consegna del Premio Vincenza Calceperla 2021
15:15 Relazione introduttiva Bruno BETRO
15:45 Tavola rotonda aperta
Modera Giovanni GULLÀ
16:45 Sintesi e chiusura

7 giugno 2022

GESTIONE DELL'ORARIO DI LAVORO DEI R&E: INDISPENSABILE UNA NORMA DI STATO GIURIDICO
...può il cartellino rendere più efficaci i risultati della ricerca? ...
15:30/16:00 Relazione introduttiva Giampaolo PULCINI
16:00/17:15 Tavola rotonda aperta
Modera Giovanni GULLÀ
17:15 Sintesi e chiusura

10 giugno 2022

CCNL O NORME DI STATO GIURIDICO PER LA PROFESSIONE DI RICERCATORE E TECNOLOGO?
...quale strumento di regolazione per svolgere al meglio la professione di ricercatore e tecnologo? ...
15:30/16:00 Relazione introduttiva Nicola FANTINI
16:00/17:15 Tavola rotonda aperta
Modera Giovanni GULLÀ
17:15 Sintesi e chiusura

22 giugno 2022

"LA PROFESSIONE DI RICERCATORE EPR IN BILICO TRA LEGGE E CONTRATTO"
...i pro e i contro di due strumenti regolatori, dove...pende la bilancia? ...
15:30/16:00 Relazione introduttiva Liana VERZICCO
16:00/17:15 Tavola rotonda aperta
Modera Giovanni GULLÀ
17:30 Sintesi e chiusura

15 settembre 2022

"FINANZIAMENTO E LIBERTÀ DI RICERCA"
...I fondi non sono tutto, ma servono anche fondi per fare buona ricerca? ...
Relazioni introduttive
15:30/15:50 Antonio PASSERI
15:50/16:10 Simone MACRI
16:10/17:15 Tavola rotonda aperta
Modera Giovanni GULLÀ
17:15/17:30 Sintesi e chiusura

26 ottobre 2022

"MODI DI FINANZIAMENTO DELLA RICERCA E AUTONOMIA DEI RICERCATORI"
...Le modalità di finanziamento possono condizionare l'autonomia del ricercatore? ...
15:30/16:00 Relazione introduttiva Emanuela Reale
16:00/17:15 Tavola rotonda aperta
Modera Giovanni GULLÀ
17:30 Sintesi e chiusura

TEMA trattato nel 2023: **Elaboriamo azioni a sostegno dello Stato Giuridico e per la valorizzazione professionale.**

INCONTRI InANPRI 2023
Elaboriamo azioni a sostegno dello Stato Giuridico e per la valorizzazione professionale

13 GIUGNO 2023

ScienceEurope: Germania ed Italia
...SCIENCEEUROPE E L'ASSOCIAZIONE CHE RAPPRESENTA LE PRINCIPALI ORGANIZZAZIONI DI RICERCA PUBBLICA IN EUROPA ...
...Si descriverà la componente tedesca di ScienceEurope confrontandola con quella italiana ...
10:30 Presentazione e saluti Giovanni GULLÀ
10:45 Relazione introduttiva Maria Paola LOMBARDO
11:15 Tavola rotonda aperta
12:30 Sintesi e spunti di riflessione

27 GIUGNO 2023

Alla ricerca di un ruolo per rappresentanti di Ricercatori e Tecnologi nei Consigli Scientifici di Dipartimento del Consiglio Nazionale delle Ricerche
...IL RACCONTO DI UN'ESPERIENZA...
10:00 Presentazione e saluti Giovanni GULLÀ
10:15 Relazione introduttiva Piergiuseppe DE BERARDINIS
11:00 Tavola rotonda aperta
12:00 Sintesi e spunti di riflessione

12 OTTOBRE 2023

La comunicazione ANPRI sul WEB: stato attuale e prospettive
...LA PAGINA WEB DI ANPRI, CONNESSA A QUELLA DI ANALYSIS, SVOLGE UN RUOLO IMPORTANTE PER LA COMUNICAZIONE DELLE IDEE E DELLE AZIONI DELLA ASSOCIAZIONE. COME SI PUÒ MIGLIORARNE L'EFFICACIA? ...
15:30 Presentazione e saluti Giovanni GULLÀ
15:45 Relazione introduttiva Andrea MASTELLONE
16:30 Tavola rotonda aperta
17:20 Sintesi e spunti di riflessione

...al prossimo InANPRI ... intanto potete vedere/rivedere...

https://www.youtube.com/channel/UCoF8KCEOO_0inJ-uZTxc3Q

...e allora...

The image shows a screenshot of the ANPRI website homepage. The browser's address bar shows 'anpri.it'. The website header includes the ANPRI logo and navigation links: HOME, STORIA RECENTE, LEGGI LE LEGGI, UTILI LETTURE, ATTUALITÀ... S&T, GRUPPI DI LAVORO, SEZIONE CIRA, and a search icon. Below the header, there is a large banner with the ANPRI logo and the text 'Iscriviti all'ANPRI Associazione Nazionale Professionale per la Ricerca'. To the right of the banner, the text 'Iscriviti all'ANPRI' is circled in red. A large red arrow points from the bottom right towards this circled text. Below the banner, there are several smaller articles or news items, including one dated '12 OTTOBRE 2023' and another titled 'LEGGI ANALYSIS'. The Windows taskbar is visible at the bottom of the screenshot, showing the search bar and various application icons.

...vai su **www.anpri.it**

