

# La ricerca scientifica in Italia per una società sostenibile e sicura

economia  
salute  
ambiente  
cyberspazio  
sicurezza  
alimentazione

  
GRUPPO  
*2003*  
PER LA RICERCA SCIENTIFICA



**ZADIG**  
LO STILE  
DELLA REGIONE



# **La ricerca scientifica in Italia per una società sostenibile e sicura**

**economia, salute, ambiente,  
cyberspazio, sicurezza,  
alimentazione**



Marzo 2019  
Gruppo 2003 per la ricerca scientifica

Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta o trasmessa sotto ogni forma e con qualsiasi mezzo senza autorizzazione a utilizzare i contenuti dell'opera originali. Le richieste di autorizzazione alla riproduzione o alla citazione devono essere inviate a:  
Luca Carra

Gruppo 2003 per la ricerca scientifica  
Via Ampère 59, 20131 Milano - email: [segreteria@gruppo2003.org](mailto:segreteria@gruppo2003.org)

Redazione a cura di Zadig Srl: Luca Carra, Sergio Cima, Paolo Recalcati

© 2019, Zadig Srl, Milano  
Prima edizione marzo 2019  
ISBN 9788887626933

# Indice

<b>PREMESSA</b>	7
<b>SINTESI</b>	13
<b>Parte Prima</b>	13
<b>Parte Seconda</b>	15
<b>PARTE 1</b>	
<b>RICERCA SCIENTIFICA, CRESCITA E BENESSERE</b>	23
<b>Ricerca e Innovazione in Italia</b>	
di <i>Leopoldo Nascia e Mario Pianta</i>	24
Le imprese italiane possono crescere senza tecnologia?	27
La ricerca pubblica può sopravvivere con finanziamenti pubblici insufficienti?	30
Il Paese può funzionare senza università?	32
Si può lasciar crescere ancora il divario territoriale nella ricerca?	33
Il contesto europeo e internazionale	35
<b>Ricerca e Innovazione in Europa</b>	
di <i>Luca Moretti</i>	38
Il nuovo bilancio europeo e la sfida della Brexit	38
Il Programma Quadro Horizon Europe	44
Opportunità per l'Italia - verso il prossimo Programma Quadro	48
Conclusioni	49
<b>PARTE 2</b>	
<b>RICERCA SCIENTIFICA, SOSTENIBILITÀ E SICUREZZA</b>	53
<b>Asimmetria nella valutazione di benefici e rischi dei farmaci</b>	
di <i>Silvio Garattini</i>	54
Introduzione	54
Tossicità	55
Efficacia	59
La spesa farmaceutica	64
Proposte	66

## **La ricerca scientifica come strumento indispensabile per il governo di un sistema sanitario intelligente**

di <i>Luigi Tavazzi</i>	70
La medicina basata sull'evidenza e i suoi limiti	71
L'evoluzione in corso della ricerca clinica: Digital Health e genetica	73
L'incorporazione della ricerca osservazionale	75
Verso la medicina individuale o di precisione	80
La situazione in Italia	87

## **I cambiamenti ambientali indotti dall'uomo e le sfide della ricerca**

di <i>Sandro Fuzzi, Maria Cristina Facchini, Vincenzo Balzani, Pier Mannuccio Mannucci, Riccardo Valentini</i>	91
Benvenuti nell'Antropocene	91
Il cambiamento climatico	95
Cambiamenti globali ed ecosistemi naturali	105
Cambiamenti globali, risorse alimentari e idriche	109
Cambiamenti globali e salute umana	110
Energia per l'astronave Terra	113
Conclusioni	119

## **L'impatto della cybersecurity sull'economia e la democrazia del Paese: il ruolo della ricerca scientifica**

di <i>Marco Conti, Rocco De Nicola, Paolo Prinetto</i>	121
Introduzione	121
Impatto sugli assi portanti della nostra società	125
La ricerca scientifica a garanzia della cybersecurity	130
Azioni abilitanti	131
Tecnologie abilitanti	138
Tecnologie da proteggere	144
Conclusioni	148

## **La ricerca scientifica contribuisce alla sicurezza collettiva: il caso della dinamica delle folle**

di <i>Nicola Bellomo, Livio Gibelli, Valentina Romano</i>	156
Folla e comportamenti razionali e irrazionali	157
Ruolo dei modelli matematici	159
Due tipi di sicurezza	162
Finanziamenti e nuove professionalità	164
Conclusioni	168

## **Nutrizione sostenibile per la salute dell'uomo e del pianeta**

di <i>Mauro Serafini, Daniele Del Rio, Maurizio Battino</i>	169
Bisogni nutrizionali e nutrizione personalizzata	170
Alimenti funzionali e salute	173
Nutrizione ecosostenibile	179
Insetti edibili	184
Gli sprechi alimentari	187

<b>AUTORI</b>	191
---------------	-----

# Premessa

Investire in ricerca è una delle strade maestre per far ripartire l'economia e l'innovazione nel Paese. Il diffuso disinteresse verso la ricerca in Italia dura almeno da un decennio. Va ricordato infatti che il nostro Paese stagna da anni intorno a un investimento in ricerca dell'1,2-1,3% sul prodotto interno lordo, in compagnia di Spagna, Paesi balcanici e dell'Est europeo, e ben staccata da Francia, Gran Bretagna e Nord Europa. Siamo quindi lontani sia dalla media del finanziamento UE del 2%, che dalla media dei Paesi OCSE del 2,4%, e a meno della metà del valore minimo del 3% consigliato dalla Commissione Europea per assicurare la crescita e la creazione di un meccanismo virtuoso di indotti positivi. Per non parlare della Germania, che vuole portare il proprio investimento in Ricerca e sviluppo dal 3 al 3,5% del prodotto interno lordo, lanciandosi all'inseguimento di Svizzera, Giappone, Svezia e Austria (dal 3 al 3,5%) e di Israele e Corea del sud (4,5%).

Non va meglio se consideriamo il numero dei ricercatori italiani rispetto agli altri Paesi, anche limitandoci a quelli più vicini. Con 4,9 ricercatori ogni mille lavoratori, il nostro Paese ne ha poco meno della metà della media dei Paesi dell'OCSE (8,2), e meno della Spagna (6,6), e ovviamente di Paesi come la Germania (9), Gran Bretagna (9,2) e Francia

(10). Coerentemente, siamo gli ultimi in Europa riguardo alla percentuale di laureati tra i giovani fra i 25 e i 34 anni: solo il 26%.

Il Gruppo 2003 per la ricerca scientifica è nato come libera associazione di ricercatori *highly cited* proprio per fare comprendere ai politici e più in generale a tutta l'opinione pubblica che l'unico modo per rilanciare il Paese è credere nella ricerca, investire in essa, estendere l'istruzione superiore e universitaria. Solo in questo modo si può riavviare il motore inceppato della nostra crescita e del nostro benessere.

Per questo il gruppo propone ormai da tempo di dare priorità a una strategia che porti molto rapidamente l'Italia a investire in Ricerca e sviluppo almeno il 2-2,5% del PIL, creando anche le opportune facilitazioni ai privati per aumentare il loro contributo, in Italia particolarmente basso. Tutti i centri di ricerca italiani devono prima di tutto poter contare su una dotazione adeguata per sviluppare le loro linee di ricerca, che spesso riescono ad essere ancora competitive in ambito internazionale grazie all'impegno quasi volontario dei giovani che ancora credono nel loro lavoro e che, peraltro, vengono pagati circa la metà dei loro colleghi all'estero. È necessario creare un ambiente fertile di innovazione locale ("ricerca diffusa") finanziando non solo i gruppi di eccellenza già consolidati (che spesso già riescono ad attrarre finanziamenti dalla Commissione Europea) ma anche i gruppi giovani e promettenti, che non hanno ancora la solidità e l'autorevolezza per poter aspirare a un finanziamento internazionale. Solo così si creerà un ecosistema favorevole all'innovazione e capace di attrarre talenti dall'estero.

Un'altra misura che ci sembra necessaria è creare una Agenzia nazionale della ricerca, che manca solo in Italia, che coordini e rilanci i finanziamenti competitivi ai singoli ricercatori e ai gruppi di ricerca

mediante un rigoroso sistema di valutazione gestito dagli scienziati stessi e non dai politici.

È per questo motivo che abbiamo deciso come Gruppo 2003 di scrivere un Libro Bianco per far capire meglio l'importanza della cultura scientifica. Abbiamo scelto il tema della sicurezza che, in tutti i sondaggi, risulta essere la principale preoccupazione dell'opinione pubblica. Questo, nonostante di decennio in decennio tutti i principali parametri del benessere collettivo sembrano migliorare, facendoci vivere in un'epoca relativamente fortunata, dove grazie allo sviluppo tecnologico, ai vaccini e agli altri strumenti della medicina e della sanità pubblica l'umanità ha raddoppiato la speranza di vita alla nascita rispetto alla metà dello scorso secolo, è progredita nel benessere economico e nel welfare, nei tassi di istruzione, nello sviluppo della democrazia e nella crescita culturale, almeno alle nostre latitudini.

Tuttavia sarebbe un errore sottovalutare il bisogno di sicurezza dei cittadini. Nella moderna "società del rischio", venute meno altre più pressanti preoccupazioni, emerge l'esigenza di maggiori tutele, la vita acquista un valore maggiore che nel passato e, al tramontare di antiche minacce, altre si affacciano: dalla crisi economica e l'approfondirsi di disuguaglianze all'interno delle nazioni e fra di esse, al terrorismo figlio dell'instabilità del quadro internazionale; dai rischi informatici ai danni iatrogeni della medicina; dal dispiegarsi dell'epidemia di sovrappeso e obesità che richiama a modifiche negli stili di vita e a una corretta alimentazione, alla sicurezza dell'ambiente che pone nuovi interrogativi alle nostre società del benessere. Anche la sicurezza fisica, come dimostrano incidenti dovuti ad assembramenti pubblici come la recente tragedia della discoteca di Corinaldo, o il crollo del ponte Morandi a Genova, reclamano la nostra attenzione.

Il Libro Bianco serve quindi a esplorare in che modo la ricerca scientifica possa meglio comprendere queste nuove emergenze e accrescere il livello di sicurezza della popolazione con risposte razionali, frutto non di parole d'ordine, proclami e nemici immaginari, ma di un solido patrimonio di pratiche sperimentali messe a punto proprio in Italia mezzo millennio fa. E possa l'Italia giocare la sua parte nei nuovi entusiasmanti sviluppi dell'intelligenza artificiale, della genomica, della difesa dell'ambiente e del territorio, della nutrizione sostenibile e in tutti gli altri settori della ricerca di base e applicata.

Horizon 2020 è infatti il più grande Programma Quadro di finanziamento in Europa per la ricerca e lo sviluppo che, con una dotazione finanziaria complessiva di circa 80 miliardi di euro, a partire dal 2014 ha già approvato quasi 20 mila progetti, per un valore complessivo di oltre 30 miliardi di euro.

Ricerca e Innovazione sono essenziali in Europa per rispondere alle nuove necessità del contesto internazionale. Tra queste, il tema della sicurezza dei cittadini ha assunto negli ultimi anni una particolare rilevanza. Molte incertezze sono legate all'instabilità dei Paesi vicini e al mutamento delle forme di radicalizzazione, violenza e terrorismo. La ricerca aiuta a identificare le nuove minacce alla sicurezza e a capire il loro impatto sulla società. Contribuisce inoltre a creare nella società fiducia nell'innovazione tecnologica: soluzioni innovative possono mitigare i rischi per la sicurezza in modo più efficace.

L'Unione Europea ha dimostrato la sua attenzione al tema inserendo il tema della sicurezza sia nel settimo Programma Quadro, sia in quelli successivi. Questo programma ha un ruolo chiave sul tema ricerca, poiché promuove progetti di ricerca che creano innovazione coinvolgendo gli utilizzatori finali sin dalla fase di concezione dell'idea. I progetti di ricerca lasciano spazio all'iniziativa della comunità scientifica, devono

essere interdisciplinari e in grado di rispondere in modo integrato alle sfide sociali, essere orientati al mercato e prevedere un piano di sfruttamento dei risultati, individuare l'impatto dei risultati attesi dal punto di vista tecnologico, economico, ambientale e sociale.

Il Gruppo 2003 ritiene che le competenze scientifiche presenti nella nazione siano in grado di fornire un contributo importante a livello europeo, ma per far questo è necessario che il nostro Paese ritrovi la fiducia nella scienza, la alimenti con la formazione e adeguati investimenti, la sorregga come una delle sfide fondamentali del nostro secolo.

Nicola Bellomo

*Presidente Gruppo 2003 per la ricerca scientifica*



# Sintesi

## Parte Prima

### **Ricerca e Innovazione in Italia**

*di Leopoldo Nascia e Mario Pianta*

Lo sviluppo economico dipende in larga parte dalla ricerca scientifica e dalle sue innovazioni tecnologiche, come hanno sottolineato di recente le Accademie delle Scienze dei Paesi dei G7 nel documento "Nuova crescita economica: il ruolo di scienza, tecnologia, innovazione e infrastrutture". È illusorio quindi pensare che il Paese possa competere in campo europeo e internazionale, garantendo tassi positivi di crescita e di benessere diffuso senza il contributo della ricerca - in particolare pubblica - che produce innovazione. Da un confronto con la Germania si nota l'aggravarsi del divario del nostro Paese in termini di attività di ricerca, performance innovative e crescita del valore aggiunto.

L'Italia soffre inoltre di un deficit di formazione superiore, con un tasso di laureati molto inferiore alla media europea (24% vs una media del 50%). Questo fa sì che il nostro Paese non riesca spesso a offrire ai suoi giovani sbocchi professionali competitivi, costringendoli a emigrare. Problema, quello dell'emigrazione qualificata, probabilmente più grave

dell'immigrazione oggi al centro dell'attenzione politica. Un altro elemento che impedisce all'Italia di reggere la competizione internazionale nel nuovo quadro dell'economia della conoscenza è il divario fra il Nord e il Sud del Paese. Per quanto riguarda la ricerca scientifica, in alcune regioni settentrionali l'Italia si situa a livelli di eccellenza internazionale, mentre nelle regioni meridionali non riesce a decollare. Diventa quindi urgente, anche per motivi economici, ricostruire ed espandere le capacità di Ricerca e Innovazione dell'Italia.

## **Ricerca e Innovazione in Europa**

di *Luca Moretti*

L'appartenenza all'Unione Europea è per l'Italia e per gli altri Paesi una garanzia anche nel campo della ricerca. Prima con l'ottavo Programma Quadro (Horizon 2020), e dal 2021 con il nono Programma Quadro (Horizon Europe), il sistema europeo della ricerca è un complemento essenziale per la sicurezza dei sistemi di ricerca nazionali. Lo è soprattutto per l'Italia, che ha smesso da almeno dieci anni di investire nell'università e nella ricerca. Un forte programma di sostegno europeo alla ricerca è essenziale per cementare l'unità dell'Europa, favorire la crescita e contribuire alla qualità delle decisioni politiche.

Rispetto al programma Horizon 2020, la proposta per il nuovo Programma Quadro delineata dalla Commissione Europea è più ambiziosa nei finanziamenti (quasi 100 miliardi di euro nel settennio) e più orientata all'innovazione che alla ricerca di base, in particolare nei settori chiave dell'intelligenza artificiale e la robotica, la genomica e la difesa ambientale, l'economia circolare e la sicurezza. Il dibattito attuale su Horizon Europe vede da una parte Paesi come la Germania e la Francia più propensi a sostenere un'innovazione fortemente competitiva e orientata al mercato, e dall'altra Paesi (in particolare i nuovi stati membri) che puntano a una visione più incrementale dell'innovazione e a

un riequilibrio delle eccellenze. Sul futuro del nuovo bilancio pluriennale e del programma scientifico gravano però le incognite della Brexit e delle altre tendenze euroscettiche, e di come queste si tradurranno nei risultati delle elezioni europee e negli orientamenti della nuova Commissione Europea.

## **Parte Seconda**

### **Asimmetria nella valutazione di benefici e rischi dei farmaci**

di *Silvio Garattini*

I farmaci costituiscono una parte rilevante del mercato della medicina. La gran parte della strategia di ricerca farmacologica orientata all'uso clinico è gestita dall'industria privata. Inevitabilmente ne deriva che il rationale che la muove sia fondato sull'enfasi sui benefici e sul ritorno economico, e che intere aree patologiche vengano trascurate perché economicamente non interessanti. Inoltre, la gestione della comunicazione è pressoché interamente aziendale, quindi modulata di conseguenza. Non va dimenticato, peraltro, che non esiste farmaco che non comporti rischi di effetti collaterali. Una moderna cultura del farmaco dovrebbe incorporare l'indagine sulla sicurezza nelle prime fasi della ricerca con indagini in grado di differenziare benefici e rischi in base ai diversi segmenti della popolazione e alle differenze di genere; allestire un efficace sistema di sorveglianza; promuovere una ricerca indipendente che si affianchi a quella con finalità commerciali; finanziare le reali innovazioni terapeutiche riformando la rimborsabilità dei farmaci da parte del Sistema sanitario nazionale alla luce delle prove di reali benefici terapeutici delle nuove molecole rispetto a quelle già in uso.

## **La ricerca scientifica come strumento indispensabile per il governo di un sistema sanitario intelligente**

di *Luigi Tavazzi*

Lo sviluppo della clinica nell'ultimo secolo ha poggiato sulla medicina basata sulle evidenze, fondate sull'implementazione sistematica di metodologie rigorose. Tuttavia, complessità e costi degli aspetti normativi e operativi, conclusioni applicabili individualmente con margini anche elevati di incertezza su benefici, rischi e specificità diagnostica, pongono l'esigenza di andare oltre il modello seguito fin qui. La ricerca sanitaria moderna può sfruttare le nuove risorse della digitalizzazione sistematica dei dati personali dei pazienti, di tecnologie raffinate e dell'intelligenza artificiale per costruire nuovi paradigmi di diagnosi e cura personalizzate, che costituiscano la piattaforma di un "Sistema sanitario intelligente" (*learning health system*). Scopo è la evoluzione digitale profonda dei Sistemi sanitari basata sui Big Data, ma orientata a un approccio medico individualizzato (*precision medicine*). Negli Stati Uniti è in corso da una decina d'anni una rivoluzione pianificata nella ricerca clinica associata all'analisi massiva di dati genomici, epigenomici, proteomici, socioeconomici della popolazione americana i cui dati clinici e biologico-strumentali sono raccolti e gestiti anche a fini di ricerca (con fondi ad hoc). Ciò consentirà non solo cure più personalizzate, innovative e sicure, ma anche una nuova classificazione delle malattie non più su base fenotipica ma genomica, e la generazione di nuove diagnosi e terapie più mirate. Se confrontato con quanto accade negli Stati Uniti e in altri Paesi, il cosiddetto progetto di "sanità digitale" avviato in Italia negli ultimi anni è orientato a finalità più che altro amministrative/gestionali e non di ricerca, non è dotato di risorse economiche adeguate (esclusivamente pubbliche, a saldo zero) ed è gestito da burocrati e non da medici ricercatori.

## **I cambiamenti ambientali indotti dall'uomo e le sfide della ricerca**

di Sandro Fuzzi, Maria Cristina Facchini, Vincenzo Balzani, Pier Mannuccio Mannucci, Riccardo Valentini

Il tema della sicurezza è diventato centrale anche in campo ambientale. La ricerca scientifica ha infatti focalizzato la propria attenzione sui drammatici cambiamenti che stanno interessando il clima, l'inquinamento, la riduzione della biodiversità e lo spreco di risorse non rinnovabili.

Da almeno dieci anni la comunità internazionale dei climatologi, grazie all'intenso lavoro di revisione della letteratura compiuto dall'IPCC, ha stabilito che il cambiamento climatico in atto è *inequivocabilmente* di origine umana (con le crescenti emissioni dei gas serra e il consumo di suolo forestale), e che è necessario fermare entro la fine del secolo tali emissioni in modo da stabilizzare le concentrazioni di gas serra entro le 400-450 parti per milione (*ppm*) e l'aumento di temperatura media del pianeta entro e non oltre i 1,5-2 °C rispetto all'inizio dell'era industriale. Le condizioni attuali del pianeta configurano il passaggio da un'era di relativa stabilità che negli ultimi diecimila anni ha consentito il fiorire delle civiltà umane, noto come Olocene, nella nuova era dell'Antropocene, in cui l'uomo è in grado di modificare il funzionamento del pianeta. Gli effetti del cambiamento climatico sono molteplici, dall'impoverimento degli ecosistemi alla salute umana. In molte regioni del globo i cambiamenti del regime delle precipitazioni e il ritirarsi dei ghiacciai stanno alterando le risorse idriche di acqua dolce costituendo un ulteriore impatto su agricoltura e allevamento che utilizzano circa il 70% delle risorse idriche a livello globale. Le emissioni in atmosfera da combustibili fossili presentano un conto pesante anche sotto il profilo della salute umana: il Global Burden of Diseases indica infatti che 4,2 milioni di morti all'anno sono attribuibili all'inquinamento dell'aria, cui si aggiungono circa 3 milioni di morti/anno per l'inquinamento *indoor*: gli uni e gli altri soprattutto a carico dei Paesi in via di sviluppo. La sfida

posta dall'Accordo di Parigi del dicembre 2015 di ridurre drasticamente le emissioni da combustibili fossili è enorme e implica un'azione simultanea da parte della maggioranza dei Paesi per un riorientamento dell'economia e dell'intera società. Sotto il profilo dell'energia, prima fonte di emissioni seguita da agricoltura, industria e trasporti, è necessario procedere rapidamente verso una riconversione verso fonti alternative che azzerino le emissioni di gas climalteranti.

## **L'impatto della cybersecurity sull'economia e la democrazia del Paese: il ruolo della ricerca scientifica**

*di Marco Conti, Rocco De Nicola, Paolo Prinetto*

La sicurezza delle comunicazioni digitali e di ciò che sarà nei prossimi anni l'internet delle cose e l'intelligenza artificiale è in testa alle classifiche delle preoccupazioni pubbliche. Il lavoro, l'economia, gli scambi, il tempo libero delle persone si svolgono infatti già oggi per buona parte online, senza che vi sia in realtà una consapevolezza e un controllo individuale di tale dimensione. Si pone quindi il problema di come difendere il cosiddetto cyberspazio dalle minacce e dagli attacchi che, attraverso codici malevoli, sono in grado di portare a compimento truffe, ma anche di rubare dati sensibili e strategici per le aziende e di interferire financo con la stabilità finanziaria, l'ordine pubblico e la vita democratica di un Paese. Spesso l'anello debole della catena di controllo, per esempio a livello aziendale, è costituito dal fattore umano. Tuttavia, la ricerca scientifica può garantire un buon livello di cybersecurity attraverso la protezione di tecnologie strategiche con l'uso di azioni e "tecnologie abilitanti". Una di queste, ad esempio è l'utilizzo di sistemi di cifratura e l'adozione di blockchain per aumentare la sicurezza delle comunicazioni e transazioni, ma anche nuove architetture di rete, software e hardware resistenti agli attacchi. La pubblica amministrazione, così come le aziende e l'industria, si stanno dotando di competenze per

difendere la propria sicurezza digitale. Tuttavia, gli investimenti privati, se confrontati con altre realtà, sono ancora esigui. Sul fronte pubblico una recente legge ha disegnato una struttura di analisi e difesa che si articola in diversi centri. La ricerca scientifica gioca un ruolo fondamentale in questo ambito, si pensi ad esempio allo sviluppo di tecnologie quantistiche a sicurezza intrinseca, ma le risorse per ora sono scarse: serve quindi un grande piano di investimenti che consenta all'Italia di allestire nuovi programmi di ricerca e formazione, preparare piani di assunzione di personale qualificato che già oggi non è rinvenibile facilmente in Italia, e trattenere nel nostro Paese cervelli in fuga per mancanza di prospettive economiche e di carriera.

### **La ricerca scientifica contribuisce alla sicurezza collettiva: il caso della dinamica delle folle**

*di Nicola Bellomo, Livio Gibelli, Valentina Romano*

Anche l'incolumità fisica delle folle durante assembramenti pubblici, in ambienti confinati in caso di emergenze o in occasioni di attacchi terroristici in luoghi pubblici rappresenta un motivo di preoccupazione. È interessante sapere che anche in questi contesti in cui sono in gioco la *safety* (sicurezza passiva delle strutture) e la *security* (sicurezza attiva a protezione di eventuali attacchi o disordini), la ricerca scientifica può dare un contributo determinante nel salvare molte vite. È il caso di studi europei, condotti anche da ricercatori italiani, che hanno visto l'applicazione di modelli matematici per studiare il comportamento della folla in caso di emergenza. Tipicamente, in questi casi di panico indotto, la folla prende decisioni istintive cercando la via di fuga più prossima, accelerando il passo, possibilmente evitando nella fuga ostacoli fisici e scegliendo itinerari con meno persone. Il panico da emergenza fa scattare però anche l'istinto di seguire la massa, e con ciò creando proprio quegli addensamenti di persone che rallentano la fuga e spesso

provocano incidenti in una escalation di stress. La modellizzazione matematica delle traiettorie, oltre ad aver meglio chiarito queste fasi, offre strumenti concettuali per possibili soluzioni da applicare nelle procedure di sicurezza, come la disposizione ottimale su base geometrica delle vie d'uscita, la presenza di personale facilmente riconoscibile da seguire ecc. Il tema della sicurezza fisica e della dinamica delle folle è ben presente alle autorità, anche per quanto riguarda le potenzialità della ricerca scientifica. Tanto che la Commissione Europea dedica nell'attuale Programma Quadro un capitolo di finanziamenti dedicato. La situazione italiana in questo settore è caratterizzata dalla presenza di elevate competenze, costrette tuttavia spesso a spostarsi in centri di ricerche o aziende all'estero per avere possibilità di carriera. È quindi urgente che l'Italia riconosca l'importanza di sostenere il mondo della ricerca anche in questo ambito, perché soluzioni innovative nel campo della *safety* e della *security* sono prerequisito di un maggior senso di benessere da parte della popolazione e di notevoli risparmi economici. Per far questo è fondamentale che il sistema italiano della ricerca e dell'università si doti di maggiori risorse e di quegli essenziali supporti amministrativi e organizzativi ai ricercatori che vogliono competere su progetti europei e internazionali.

## **Nutrizione sostenibile per la salute dell'uomo e del pianeta**

*di Mauro Serafini, Daniele Del Rio, Maurizio Battino*

In senso moderno, il concetto di sicurezza alimentare va inteso non solo come quantità di acqua e alimenti, in adeguate condizioni igieniche, sufficienti a soddisfare il bisogno energetico, ma anche come alimentazione sostenibile, in grado di fornire alimenti funzionali e a basso impatto ecologico per il benessere dell'uomo e del pianeta. La sostenibilità nutrizionale si basa su alcuni cardini quali la preservazione della biodiversità, la sicurezza alimentare, la riduzione degli sprechi, il

basso impatto ecologico del cibo e la funzionalità degli alimenti, rafforzando il concetto che la salute dell'uomo non può essere svincolata dalla salute del pianeta. Fino ad oggi la scienza della nutrizione ha prodotto raccomandazioni per una dieta sana ed equilibrata valida per un teorico "consumatore medio". Tuttavia, è ormai evidente come la risposta del nostro organismo al consumo di alimenti sia suscettibile alla variabilità fra individui. Negli ultimi anni il mondo della ricerca scientifica si sta muovendo sempre più verso una nutrizione personalizzata, tesa ad apportare il massimo beneficio sulla base delle caratteristiche individuali, fornendo raccomandazioni individualizzate per genotipi, metabolismi, difese immunitarie e microbiota differenti, che determinano risposte diverse agli stessi alimenti. Lo studio delle diete e stili di vita nelle cosiddette *Blue Zones* in cui si sono osservate popolazioni particolarmente longeve, fa emergere tipi di dieta ideale (come quella mediterranea o asiatica) entrambe a base vegetale e ricche di sostanze bioattive in grado di esercitare un effetto funzionale sull'organismo, ma anche nuovi *super food*, soggetti a un marketing aggressivo da parte delle aziende, spesso non supportati da solide evidenze scientifiche nell'uomo. È fondamentale sottolineare che gli alimenti funzionali non sono né farmaci né integratori e che il loro consumo, anche se in grado di dare un contributo concreto alla salute, non deve prescindere da uno stile di vita sano accompagnato da attività fisica costante.

Lo stato di crisi ambientale del pianeta richiede infine un'analisi del cibo anche sotto il profilo del suo impatto ecologico. La ricerca in questo campo è ancora agli albori, ma conferma che una dieta ricca di alimenti di origine animale ha effetti negativi sull'emissione di gas serra, sull'impronta idrica ed ecologica. In quest'ottica si inserisce lo studio degli insetti ad uso alimentare, ricchi di proteine e nutrienti a basso impatto ambientale. Infine va sottolineato il drammatico problema dello spreco alimentare, pari a quasi un terzo del cibo prodotto. Considerando i cibi

principali imputati dell'epidemia di obesità in corso (zuccheri, grassi animali, alcolici, ecc.) si può anche calcolare uno spreco alimentare metabolico dovuto agli scorretti stili alimentari e associato all'obesità, pari a 141 miliardi di tonnellate di cibo sprecato. La sfida dei prossimi anni per la comunità scientifica sarà concentrata sulla capacità di aumentare le conoscenze dei rapporti tra dieta, salute e ambiente. Gli sforzi futuri dovrebbero essere incentrati su una comunicazione basata su solide prove sperimentali derivanti da studi sull'uomo, che si prefigga l'obiettivo di educare la popolazione a un consumo alimentare funzionale, salutare e a basso impatto ambientale.

# **Parte 1**

## **Ricerca scientifica, crescita e benessere**

## **Ricerca e Innovazione in Italia**

*di Leopoldo Nascia e Mario Pianta*

Il sistema italiano di Ricerca e Innovazione si trova a un punto di svolta. Gli ultimi dieci anni di crisi hanno ulteriormente aggravato le debolezze tradizionali legate alle limitate attività tecnologiche del Paese. Tali debolezze sono note da anni: bassa intensità di R&S, specializzazione produttiva in settori maturi, poche grandi e medie imprese, scarsa presenza nei settori dell'alta tecnologia, acquisizione di molte aziende italiane nei settori più innovativi da parte di gruppi multinazionali stranieri, difficoltà a finanziare le spese per l'innovazione, bassa spesa pubblica per R&S e per l'università, modesta percentuale di laureati nella popolazione, forte polarizzazione territoriale tra alcune aree tecnologicamente avanzate nel Nord Italia e il resto del Paese.

Gli effetti della crisi hanno introdotto ulteriori elementi di fragilità nel sistema: le imprese hanno subito perdite consistenti di produzione e la riduzione degli investimenti ha indebolito le capacità del Paese; spesso l'introduzione delle innovazioni è stata ritardata in attesa di una ripresa della domanda che solo da poco ha registrato qualche aumento. I centri decisionali e le attività di ricerca di molte imprese sono stati trasferiti all'estero, le politiche di austerità hanno ridotto la spesa pubblica per la ricerca e l'università, da anni migliaia di giovani ricercatori e laureati altamente qualificati lasciano il Paese per cercare lavoro all'estero. Il risultato del "decennio perduto" è un ulteriore indebolimento strutturale del sistema di Ricerca e Innovazione dell'Italia.

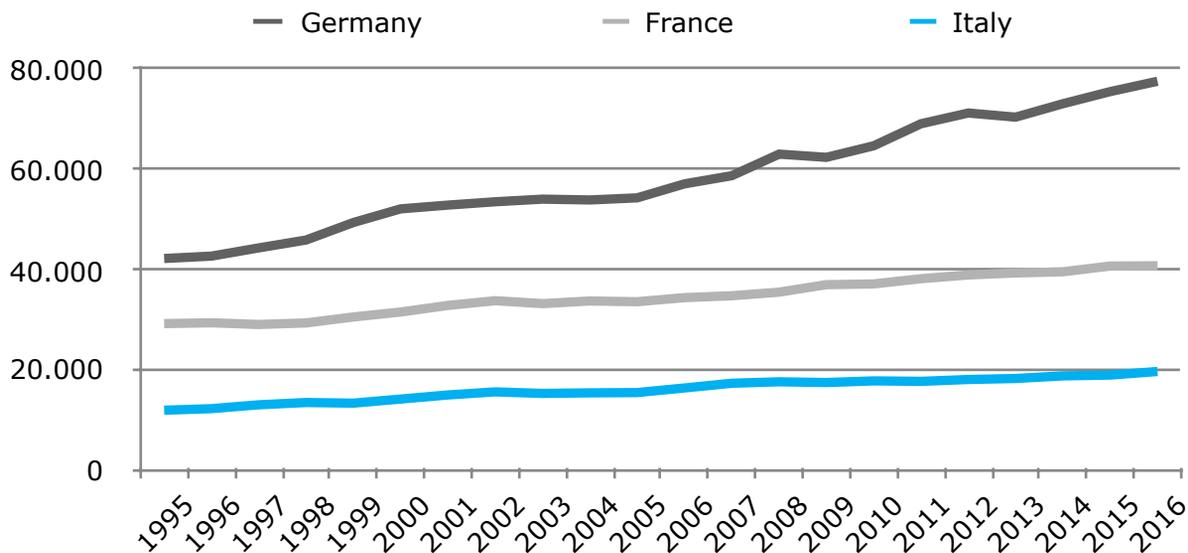
Negli ultimi due anni le politiche per Ricerca e Innovazione hanno registrato alcuni sviluppi con l'approvazione, tardiva, del Programma

nazionale della ricerca 2015-2020, il lancio di Industria 4.0, l'estensione degli incentivi fiscali per la R&S privata per il periodo 2015-2020, la strategia di specializzazione intelligente nazionale, i finanziamenti per le università meritevoli in base ai risultati della valutazione della qualità della ricerca.

Tuttavia, la crescita della spesa totale per R&S è stata modesta e l'ammontare delle risorse pubbliche è stato notevolmente ridotto dall'inizio della crisi: dal 2008 al 2016 la spesa pubblica per R&S è diminuita in termini reali del 20% e dal 2008 al 2014 la spesa pubblica per le università statali è stata ridotta del 14%.

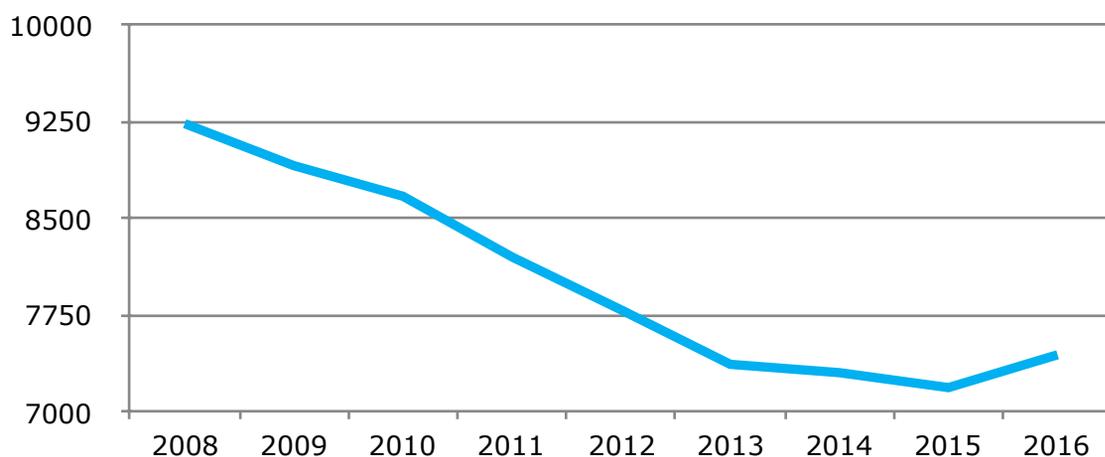
La figura 1 mostra l'andamento della spesa totale per R&S in Italia, Francia e Germania in termini reali tra il 1995 e oggi. La divaricazione delle attività è diventata significativa con un ritardo italiano che si va allargando.

**Figura 1.** Spesa totale per R&S in Italia, Francia e Germania, anni 1995-2016, in milioni di euro in PPS, prezzi anno 2005. (Fonte: Eurostat).



La figura 2 mostra la caduta degli stanziamenti di spesa pubblica per R&S che risente direttamente delle politiche di austerità introdotte nell'ultimo decennio e che è alla radice dell'aggravarsi del ritardo italiano in questo campo. Con la crisi, il divario con i maggiori Paesi europei si è ulteriormente ampliato per molti indicatori quali la spesa privata in R&S, il numero di studenti dell'università e i laureati.

**Figura 2.** Gli stanziamenti pubblici per la R&S in Italia, anni 2008-2016, in milioni di euro in PPS, prezzi 2005. (Fonte: Eurostat).



Oltre alla scarsità di risorse, le recenti politiche per la ricerca e l'innovazione presentano alcuni aspetti problematici. Non esiste una politica della domanda pubblica che sostenga la ricerca e gli investimenti innovativi delle imprese. Gli incentivi per la ricerca e l'acquisto di nuovi macchinari restano misure "orizzontali", che mantengono il modello di politica industriale degli ultimi decenni, inadeguato a indirizzare le imprese ad acquisire le competenze tecnologiche per competere in settori chiave. Le politiche recenti per l'università e il programma Industria 4.0 hanno quantomeno individuato aree prioritarie su cui concentrare le risorse, ma si rivolgono a un numero troppo ristretto di imprese già attive nel campo dell'innovazione digitale. Insieme alle politiche recenti per

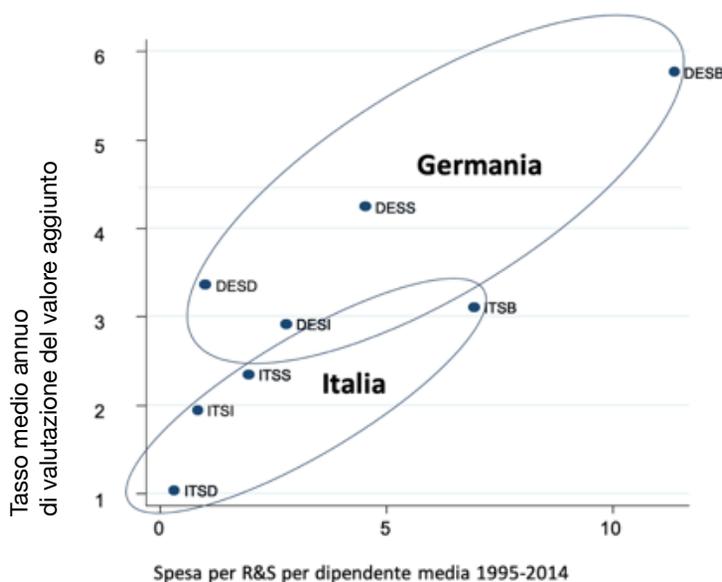
l'università esse possono alimentare la polarizzazione del sistema, rafforzando poche eccellenze ma lasciando scivolare indietro il resto del sistema. Da questa analisi della politica di Ricerca e Innovazione dell'Italia scaturiscono quattro interrogativi.

### Le imprese italiane possono crescere senza tecnologia?

Nonostante la presenza di un gruppo significativo di imprese innovative capaci di esportare, l'economia italiana è caratterizzata da un ampio numero di micro imprese e di piccole imprese con limitatissime attività di R&S. La concentrazione industriale nelle attività tipiche del "Made in Italy" è generalmente associata ad attività a bassa e media tecnologia. Rispetto ai principali Paesi dell'UE la struttura economica dell'Italia continua a registrare una scarsa presenza nei settori ad alta tecnologia. Ci si può chiedere se queste caratteristiche delle aziende italiane rappresentino un limite strutturale alle possibilità di crescita economica.

**Figura 3.** Spesa per R&S e crescita del valore aggiunto nell'industria manifatturiera in Germania (DE) e Italia (IT), 1995-2014.

Settori Pavitt rivisti: SB industrie basate sulla scienza; SS produttori di macchinari; SI industrie ad alta intensità di scala; SD settori tradizionali.



È interessante il confronto tra Germania e Italia riguardo all'evoluzione di lungo termine dell'intensità di ricerca e di crescita economica. La figura 3 mostra la spesa in R&S per dipendente e la crescita del valore aggiunto reale nei settori industriali per il periodo 1995-2014.

I settori manifatturieri sono stati aggregati in: settori basati sulla scienza, produttori di macchinari, a intensità di scala e settori tradizionali. Da tale figura si nota un doppio divario tra Italia e Germania, in qualche modo rappresentativo del contrasto più ampio tra centro e periferia dell'Europa. Il divario nella spesa per R&S per dipendente mostra il ritardo delle imprese italiane rispetto a quelle tedesche in tutti i settori. In particolare, nel settore basato sulla scienza le imprese italiane registrano un'intensità di spesa per R&S pari a circa la metà delle imprese tedesche; tale divario si ritrova in tutte le aggregazioni settoriali. Le imprese tedesche investono in ricerca molto di più delle imprese italiane anche nei settori tradizionali, nonostante questi siano al centro della specializzazione produttiva italiana.

Un secondo divario riguarda la crescita: il tasso di crescita del valore aggiunto reale in Germania è sempre due o tre volte maggiore dell'Italia. L'evidenza empirica mostra come la tecnologia sia importante per la crescita di entrambi i Paesi data la chiara relazione positiva fra gli investimenti in ricerca e crescita, ma Germania e Italia sembrano muoversi in due contesti differenti. In Germania le imprese nei settori basati sulla scienza, grazie a investimenti massicci per R&S, hanno registrato una crescita media vicina al 6% annuo da circa due decenni - una crescita vicina al livello dei Paesi dell'Asia orientale. I settori industriali tedeschi con le peggiori *performance* crescono al 3%, una crescita maggiore dei settori con le migliori *performance* in Italia. Tali dinamiche divergenti segnalano l'emergere di una nuova gerarchia nella tecnologia e nell'industria, e pongono importanti questioni sulla coerenza e coesione dell'economia europea.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Celi G., *et al.*, *Crisis in the European Monetary Union. A Core-Periphery Perspective*, 2018 Routledge, London.

La questione se le imprese italiane possano sopravvivere e crescere senza puntare in maniera adeguata su investimenti in tecnologia è diventata di drammatica attualità. In realtà già oltre vent'anni fa, nel 1996, sostenevamo che "stiamo affrontando un indebolimento della base tecnologica dell'industria italiana, che aumenta il divario tra gli indicatori tecnologici (...). Con tale dinamica l'Italia perde terreno rispetto al circolo virtuoso tra tecnologia, crescita e occupazione comune ad altri Paesi avanzati".<sup>2</sup>

All'indomani della crisi valutaria del 1992 e della ripresa basata sulle esportazioni grazie a un deprezzamento del 30% del tasso di cambio della lira, abbiamo sostenuto che "la svalutazione, la crescita trainata dalle esportazioni, il consolidamento nei settori industriali tradizionali e la riduzione del peso della tecnologia possa essere considerato un effetto della mancata espansione della presenza italiana nei settori ad alta tecnologia negli anni Ottanta". Il risultato è stato che "tra il 1980 e il 1994, l'occupazione nell'industria è diminuita di 1,4 milioni di posizioni lavorative, quasi un quarto del totale. Dopo la recessione degli anni Novanta, l'effetto combinato della fragilità tecnologica dell'industria, delle innovazioni *labour saving*, della divisione internazionale della produzione e della concorrenza in mercati più aperti potrebbe comportare un impatto ancora più profondo sul declino della produzione industriale e dell'occupazione in Italia".<sup>3</sup>

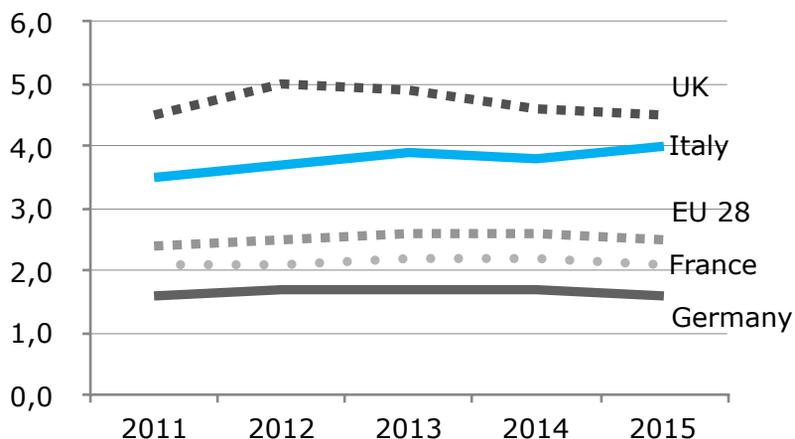
---

<sup>2</sup> Pianta M., "L'innovazione nell'industria italiana e gli effetti economici e occupazionali", *Economia e Politica Industriale*, 1996; 89: 261-280; pp. 275-276.

<sup>3</sup> Ibid., p.276. Si veda anche Lucchese M., Nascia L., Pianta M., "Industrial policy and technology in Italy", *Economia e Politica Industriale - Journal of Industrial and Business Economics*, 2016; 43, 3: pp.233-260, DOI 10.1007/s40812-016-0047-4

## La ricerca pubblica può sopravvivere con finanziamenti pubblici insufficienti?

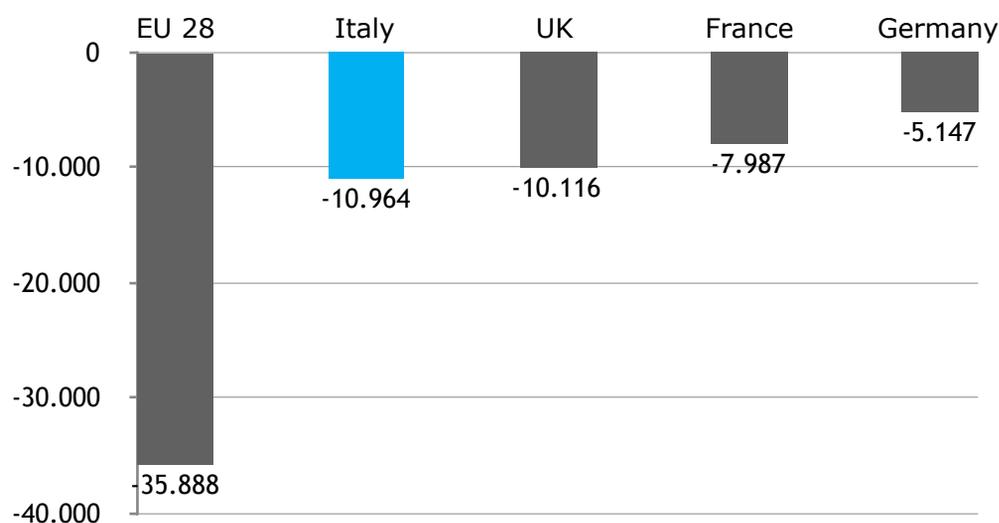
Nell'ultimo decennio il sistema pubblico di Ricerca e Innovazione è stato indebolito dalle politiche di austerità che hanno colpito la spesa pubblica anche in questo settore. I fondi per l'università, gli enti pubblici di ricerca e il finanziamento della R&S privata e dell'innovazione evidentemente non rientravano tra le priorità politiche degli ultimi governi. La diminuzione del 19% in termini reali tra il 2008 e il 2016 degli stanziamenti pubblici per la ricerca - documentata nella precedente figura 2 - non trova eguali in Europa (a parte le economie in crisi, come la Grecia). Tale riduzione della ricerca pubblica e delle attività universitarie ha aggravato il rischio di perdere la massa critica necessaria per garantire qualità alla scienza e alla tecnologia. Paradossalmente i tagli hanno colpito proprio nel periodo in cui i ricercatori italiani, in gran parte delle università pubbliche, hanno registrato un elevato miglioramento della produzione scientifica. Come mostrato nella figura 4 la produttività scientifica in l'Italia, misurata dal numero di articoli scientifici (e/o dalle citazioni ricevute) per milione di spesa in R&S, è elevata e in crescita; questo è uno dei pochi indicatori in cui il Paese si trova dietro al Regno Unito e davanti alla Francia e alla Germania.



**Figura 4.** La produttività scientifica nei maggiori Paesi Ocse, anni 2011-2014. Numero di pubblicazioni scientifiche per spesa in R&S. Spese in milioni di dollari USA parità di potere d'acquisto anno 2010. (Fonte: ANVUR 2016, p.30).

Tuttavia con il sistema di ricerca pubblica in declino e con un numero elevato di professori universitari prossimi alla pensione, non compensato da un *turnover* adeguato, il successo scientifico italiano potrebbe essere solo temporaneo, con la prospettiva di svanire nei prossimi anni per il ridimensionamento del sistema pubblico data la scarsità di risorse. Tale contesto sta generando un'emigrazione di massa dei ricercatori più giovani, documentato dalle figure 4 e 5.

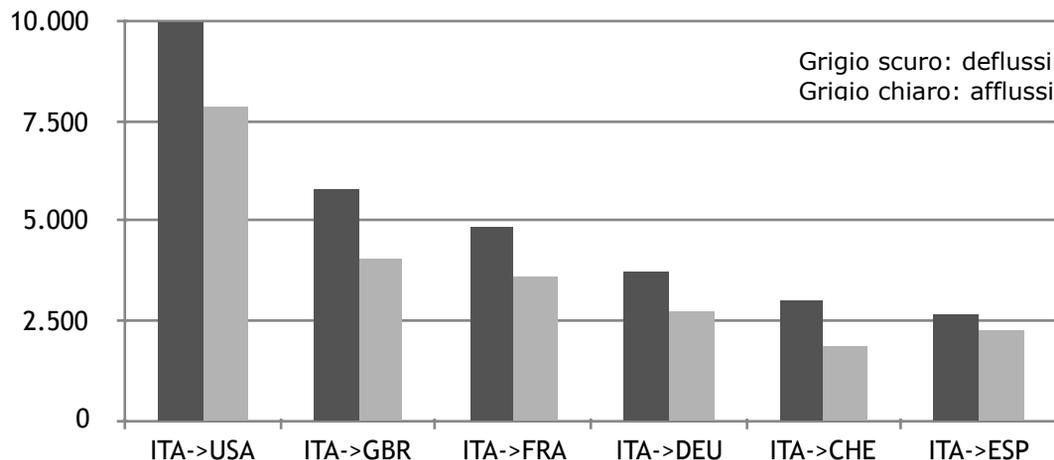
**Figura 5.** Flussi internazionali di autori scientifici, anni 2002-16. (FONTE: OECD 2017, p. 128, [https://doi.org/10.1787/sti\\_scoreboard-2017-17-en](https://doi.org/10.1787/sti_scoreboard-2017-17-en)).



L'Italia è il Paese europeo con la più alta emigrazione all'estero di ricercatori nell'ultimo decennio; i ricercatori e il personale altamente qualificato vanno verso altri Paesi dove le opportunità di lavoro e i fondi di ricerca sono migliori e dove il merito ottiene un maggior riconoscimento all'interno delle università.

Rovesciare il declino della ricerca pubblica e i flussi in uscita dei ricercatori italiani sono due priorità essenziali per la politica di ricerca del Paese.

**Figura 6.** I flussi degli autori scientifici tra l'Italia e gli altri Paesi, anni 2006-2016. (Fonte: OECD 2017, p. 129, [https://doi.org/10.1787/sti\\_scoreboard-2017-17-en](https://doi.org/10.1787/sti_scoreboard-2017-17-en)).



## Il Paese può funzionare senza università?

La diminuzione dei finanziamenti pubblici alla ricerca pubblica ha condotto a un crollo delle risorse destinate alle università - meno 14% in termini reali tra il 2008 e il 2014 - e alla riduzione del personale di ruolo degli atenei - meno 20% tra il 2009 e il 2016. La crisi del 2008 abbinata al taglio dei fondi pubblici ha portato alla riduzione delle iscrizioni nelle università italiane con una contrazione del 20,4% tra l'anno accademico 2003-2004 e il 2014-2015. Solo negli ultimi anni le iscrizioni sono tornate timidamente ad aumentare, con l'eccezione degli atenei del Mezzogiorno. L'indebolimento del sistema universitario si ripercuote anche sulla quota di cittadini con istruzione universitaria. I dati dell'OCSE mostrano come, nel 2017, l'Italia possedeva una quota del 26,8% di giovani tra 25 e 34 anni con un diploma universitario, uno dei valori più bassi tra i Paesi dell'Unione Europea, inferiore alla Francia (44,3%), alla Spagna (42,6%) e alla Germania (31,3%).<sup>4</sup>

<sup>4</sup> OECD - *Education at a glance 2018*, OECD, 2018, Paris.

L'istruzione e la qualità della forza lavoro rischiano di cadere in un circolo vizioso tra:

- una struttura economica in cui prevalgono le tecnologie medio-basse;
- una modesta domanda di lavoro per laureati da parte delle imprese;
- una produttività stagnante per la combinazione di bassa tecnologia e scarse competenze del personale, con un divario in termini di innovazione e competitività rispetto ai principali Paesi europei;
- un ulteriore arretramento delle attività economiche con perdita di posti di lavoro e salari stagnanti.

La precarizzazione del lavoro può essere vista come un modo per adattarsi a tali dinamiche discendenti con una ricerca di competitività di prezzo basata su costi del lavoro sempre più bassi - al contrario della competitività tecnologica tipica dei Paesi europei più avanzati - con uno spostamento verso bassi livelli di istruzione, bassa produttività, bassi salari e lavori precari. L'impatto negativo che una tale traiettoria di lavoro flessibile e precario può avere sulle prestazioni dell'innovazione è già stato studiato da molti autori.<sup>5,6</sup>

### **Si può lasciar crescere ancora il divario territoriale nella ricerca?**

Il divario regionale nella ricerca e nell'innovazione in Italia è l'immagine speculare della divergenza tra l'Italia e i Paesi europei più avanzati. L'ultimo decennio ha visto un peggioramento delle disparità regionali a causa di diversi fattori. La recessione ha colpito in particolare le regioni

---

<sup>5</sup> Cirillo V., *et al.*, (2017). "Labour market reforms in Italy: evaluating the effects of the Jobs Act", *Economia Politica*, 2017; 34, 2: 211-232.

<sup>6</sup> Cetrulo A., *et al.*, "Weaker jobs, weaker innovation. Exploring the temporary employment-product innovation nexus", Scuola Superiore Sant'Anna, *ISIGrowth Working Paper*, 6/2018.

del Centro Italia e il Mezzogiorno con una perdita di capacità tecnologica e produttiva. Nelle regioni più povere l'innovazione è stata scoraggiata dalla domanda stagnante; le attività di Ricerca e sviluppo si sono concentrate nelle regioni settentrionali più forti; le politiche di spesa pubblica in R&S, i finanziamenti pubblici alle università e gli incentivi fiscali alle imprese hanno contribuito ad ampliare le disparità regionali. Alcune regioni del Nord, in particolare la Lombardia e l'Emilia Romagna, possiedono standard di Ricerca e Innovazione all'altezza dei Paesi europei più avanzati, e sono sempre più integrate in sistemi produttivi e tecnologici internazionali. Le altre regioni settentrionali e centrali hanno perso terreno nelle loro capacità di ricerca, innovazione e produzione; il divario con il Mezzogiorno è diventato sempre maggiore. Ci si potrebbe chiedere se una base territoriale troppo limitata per le attività di Ricerca e Innovazione possa essere un fattore limitante di fronte alla necessità di una massa critica sempre più grande necessaria per la competizione nella ricerca e nell'innovazione in Europa. Un'eccessiva dipendenza da pochi centri di eccellenza di R&S, di ricerca accademica e innovazione integrata nelle reti globali potrebbe ridurre la diffusione della conoscenza nell'economia e il trasferimento tecnologico alle imprese, limitando il contributo potenziale della ricerca allo sviluppo locale. Viceversa, una più ampia presenza regionale di R&S e di capacità innovative consentirebbe una diversificazione delle competenze, delle specializzazioni e delle attività economiche, consolidando un sistema di innovazione più robusto e articolato.

La concentrazione degli sforzi di R&S nelle principali regioni settentrionali ha messo in moto un grande flusso migratorio interno di studenti universitari, di laureati in cerca di occupazione, di lavoratori altamente qualificati e di ricercatori. Da un lato tale fenomeno favorisce le regioni più forti, ma d'altra parte riduce la qualità del lavoro e le competenze disponibili nelle regioni "periferiche", con una caduta delle *performance*

complessive. Una nuova politica diventa urgente per riequilibrare le asimmetrie territoriali, per prevenire un'ulteriore polarizzazione e un fattore di indebolimento del sistema di Ricerca e Innovazione italiano.

## **Il contesto europeo e internazionale**

Queste sfide per la politica italiana non dovrebbero essere viste solo in un contesto nazionale. All'interno dell'Europa, c'è un crescente dibattito sul futuro della politica europea della Ricerca e Innovazione, con opinioni divergenti sulle priorità e sugli strumenti politici da adottare in Horizon Europe, il successore del programma europeo di ricerca Horizon 2020. Da un lato, vi è la pressione per concentrare le risorse dell'UE nei principali attori e nei settori di maggiore forza, con il rischio di peggiorare le divergenze in materia di Ricerca e Innovazione in Europa.<sup>7</sup> Dall'altro lato è stata proposta una nuova strategia basata su programmi di Ricerca e Innovazione "mission-oriented", che riflettano più ampie priorità economiche, sociali e ambientali.<sup>8</sup>

A livello internazionale, un importante contributo è venuto dalle Accademie delle Scienze dei Paesi del G7 che nel 2017 hanno prodotto la dichiarazione congiunta "Nuova crescita economica: il ruolo di scienza, tecnologia, innovazione e infrastrutture".<sup>9,10</sup> Il documento invita i governi a: "i) espandere gli investimenti e le capacità nelle scienze e nelle

---

<sup>7</sup> Come argomentato dal Rapporto Lamy. Lamy Report (2017) Lab-Fab-App - "Investing in the European future we want". Report of the independent High Level Group chaired by Pascal Lamy, European Commission, DG Research and Innovation, 2017.

<sup>8</sup> Mazzucato M., "Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union. A problem-solving approach to fuel innovation-led growth", European Commission, DG Research and Innovation, 2018, Brussels.

<sup>9</sup> G7 Science Academies - New economic growth: the role of science, technology, innovation and infrastructure, 2017 Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.

<sup>10</sup> Quadrio Curzio A., "The G7 of Scientific Academies: meetings and role", *Economia Politica*, 2017; 34, 3: 361-362.

tecnologie precompetitive; ii) aumentare gli investimenti in infrastrutture - sia tangibili che intangibili - che contribuiscono allo sviluppo inclusivo e al progresso scientifico e tecnologico; iii) promuovere lo sviluppo di capacità per progettare, ingegnerizzare, produrre e fornire prodotti e servizi basati su nuove conoscenze scientifiche e tecnologiche; iv) promuovere l'accesso aperto - soggetto a norme appropriate in materia di proprietà intellettuale - ai progressi scientifici e tecnologici, impedendo nel contempo l'emergere di pratiche monopolistiche; v) condividere pratiche efficaci in politiche e programmi che promuovono l'innovazione, la diffusione tecnologica e lo sviluppo efficiente delle infrastrutture (...); vi) assicurare che vengano adottati appropriati quadri di *governance*, in modo che i benefici della scienza e della tecnologia siano pienamente realizzati, mantenendo la fiducia pubblica".<sup>11</sup>

La dichiarazione sostiene che "sono necessari livelli crescenti di investimenti pubblici e privati nel campo della scienza e della tecnologia per affrontare le sfide di una crescita sostenibile e inclusiva" e che "le attuali lacune negli sforzi di R&S rendono più difficile l'accesso, l'adozione e l'espansione della conoscenza e dell'innovazione, limitando la realizzazione dei loro benefici. Le politiche pubbliche dovrebbero riconoscere il ruolo chiave che le spese per il progresso e la diffusione della conoscenza, della cultura, dell'istruzione superiore e dell'innovazione possono svolgere nel sostenere una crescita socioeconomica di alta qualità e che tali benefici superano molte preoccupazioni a breve termine per il bilanciamento delle finanze pubbliche". A tal fine, le Accademie G7 sostengono che "i governi possono svolgere un ruolo importante nello stimolare la nuova domanda

---

<sup>11</sup> G7 Science Academies, 2017, p. 1.

attraverso programmi di ricerca pubblica mirati, appalti per i servizi pubblici e investimenti pubblici nelle infrastrutture".<sup>12</sup>

Per quanto riguarda le imprese, la dichiarazione delle Accademie delle Scienze sostiene che "negli ultimi anni, molte imprese hanno realizzato investimenti limitati in ricerca e tecnologia - che richiedono lunghi orizzonti di investimento - e hanno favorito rendimenti di breve termine da attività finanziarie, presentando così un'ulteriore minaccia alla crescita economica. Le politiche pubbliche potrebbero incoraggiare gli investimenti delle imprese con orizzonti temporali più lunghi, sostenendo anche progetti ad alto rischio".<sup>13</sup>

Queste argomentazioni sono state sviluppate dalle Accademie delle Scienze del G7 "in linea con l'Obiettivo 9 dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile, che consiste nel "costruire infrastrutture resilienti, promuovere un'industrializzazione inclusiva e sostenibile e promuovere l'innovazione". All'indomani della crisi economica del 2008 che ha rallentato la crescita mondiale, dobbiamo fare in modo che gli investimenti in scienza, tecnologia, innovazione e infrastrutture mostrino il loro contributo alla crescita mondiale sostenibile e inclusiva".<sup>14</sup>

Gli argomenti della dichiarazione delle Accademie delle Scienze del G7 forniscono un quadro particolarmente appropriato per una strategia a lungo termine che combini investimenti privati e politiche pubbliche per ricostruire ed espandere le capacità di Ricerca e Innovazione dell'Italia.

---

<sup>12</sup> G7 Science Academies, 2017, p. 2

<sup>13</sup> Ibid., 2017.

<sup>14</sup> G7 Science Academies, 2017, p. 1.

## **Ricerca e Innovazione in Europa**

di *Luca Moretti*

A giugno 2018 la Commissione Europea ha presentato al Parlamento e al Consiglio Europeo la proposta per il prossimo Programma quadro per Ricerca e Innovazione che, con una dotazione finanziaria di quasi 100 miliardi di euro, ci accompagnerà dal 2021 al 2027. Si tratta di un'opportunità importante sia per il futuro dell'Europa nel suo complesso, sia per l'Italia e il suo noto deficit di investimenti in ricerca. Come vedremo, l'investimento che si prefigura per il prossimo settennio non ha soltanto un significato scientifico: esso fa parte di un bilancio molto ambizioso che rappresenta – se così si può dire – una scommessa esistenziale per l'Europa, turbata in tempi recenti da tensioni e tentazioni di disimpegno da parte di alcuni Paesi. Anche per l'economia il nuovo Programma Quadro rappresenta l'occasione di consolidare le basi per una nuova imprenditorialità capace di reggere il passo della attuale competizione internazionale.

### **Il nuovo bilancio europeo e la sfida della Brexit**

La dotazione finanziaria del programma Horizon Europe (94 miliardi proposti), è necessariamente legata all'approvazione del Quadro finanziario pluriennale 2021-2027 proposto dalla Commissione al Consiglio Europeo. La proposta per i prossimi sette anni è particolarmente ambiziosa e deve affrontare la difficile sfida di "fare di più con meno" (con l'uscita del Regno Unito). Ci si aspetta che l'Unione Europea svolga un ruolo più importante in nuovi ambiti d'intervento, come la migrazione, la sicurezza interna ed esterna o la difesa, mantenendo al contempo un ruolo di rilievo sulla scena mondiale. Questi

obiettivi devono essere raggiunti con una dotazione complessiva destinata a diminuire con l'uscita del Regno Unito. La proposta di bilancio, piuttosto ambiziosa se comparata a quella corrente è quindi concepita in vista di una futura Europa a 27 e in uno scenario globale in mutamento. Si attesta su 1.279,4 miliardi di euro di impegni, ovvero l'1,114% del Reddito nazionale lordo degli stati membri,<sup>1</sup> laddove il bilancio attuale è pari allo 0,98. Si è quindi superata la soglia psicologica dell'1%. Tenuto conto del disimpegno UK, che rappresenta quasi il 13% del budget (più o meno 13 miliardi di euro nell'attuale budget europeo), occorrerà un grande sforzo dei 27 Paesi per colmare questo vuoto, ma soprattutto servirà una piena condivisione delle priorità politiche dell'UE proposte nel nuovo bilancio.<sup>2</sup>

Al centro del dibattito emergono alcune questioni fondamentali tra loro correlate. Prima di tutto quale debba essere la finalità del bilancio europeo, e quindi come garantire che la spesa gestita dall'Europa produca risultati aggiuntivi per i cittadini europei rispetto alle politiche nazionali. Ne consegue che la domanda di fondo sia come ripartire il bilancio dell'UE per assicurare che le risorse siano destinate ai bisogni della società civile. La risposta dell'esecutivo comunitario è schematizzata nella figura 1 che segue.

---

<sup>1</sup> In economia il Reddito nazionale lordo (RNL) di un Paese viene calcolato sommando al Prodotto interno lordo (PIL), o sottraendo da esso, vari flussi di reddito tra Paesi.

<sup>2</sup> Con l'uscita del Regno Unito, l'UE perderà un partner di eccellenza per le sue politiche e i suoi programmi ma anche un grande contributore finanziario. Questo evento potrà costituire un momento di riflessione dell'UE sul proprio ruolo, sulla modernizzazione del bilancio e sulle misure idonee ad evitare un effetto emulazione della scelta UK.

**Figura 1.** Quadro Finanziario Pluriennale 2021-27 (Credit: Commissione Europea).



Rispetto all'esercizio precedente e in linea con i tentativi di modernizzazione, il Capitolo III "Agricoltura e risorse naturali", pur restando la seconda voce del bilancio per quantità di fondi allocati è stato ridotto, anche se 10 miliardi di Horizon Europe sono già destinati a ricerca in Agricoltura proprio in direzione di un budget più innovativo. Come sempre la Politica di Coesione (Capitolo II) è la voce più consistente del bilancio, anche se ci saranno maggiori obblighi di indirizzare parte delle risorse a infrastrutture di ricerca (sulla scorta della Smart Specialization Strategy). Ricerca e Innovazione (Capitolo 1) hanno avuto un incremento sia in termini di budget sia di rilevanza strategica e, come sempre, costituiscono la terza voce del bilancio europeo. Sotto lo stesso capitolo sono stati collocati gli strumenti a favore delle PMI (il Single Market che sostituisce COSME), il programma di Investimenti strategici (meglio noto come Piano Juncker) e lo Spazio, settore in cui

l'Italia gioca un ruolo di primo piano e che, con l'uscita del Regno Unito, potrà costituire un'opportunità ancora maggiore. C'è inoltre da ricordare che nel Capitolo V (Sicurezza e Difesa), ci sono ingenti risorse per la ricerca in questi settori, che si aggiungono a quelle già destinate alla sicurezza *dual use*<sup>3</sup> per scopi civili in Horizon Europe.

Resta fermo che il budget complessivo e la sua ripartizione riportati nella figura 1 costituiscono solo la proposta della Commissione, e che saranno gli Stati membri nei prossimi mesi a definire la dotazione e l'allocazione delle risorse nei sette capitoli. Come anticipato in premessa, lo scenario nel quale questo negoziato avverrà è tutt'altro che roseo. Ci sono infatti molti governi agitati da crescenti sentimenti sovranisti ed euroscettici, che non nascondono la tentazione di seguire la stessa strada del Regno Unito o che comunque considerano l'UE una sorta di menù dove scegliere solo alcune "portate", perdendo di vista il principio di sussidiarietà che è il fondamento dell'idea dell'Unione Europea. Assisteremo quindi al consueto scontro tra i Paesi "rigoristi" favorevoli a ridurre la percentuale di contributo al budget, come Belgio, Danimarca, Paesi Bassi, Svezia (in sostanza quelli che investono di più e quindi più vicini al capitolo Competitività), Paesi "like minded" inclini a mantenere lo status quo (tradizionalmente Francia, Germania e Italia) e gli "amici della Coesione" (tipicamente i nuovi entrati). Tutti comunque si affanneranno a congetturare se ci sarà maggiore ritorno rinforzando la Politica Agricola e la Coesione (che sono ad allocazione prestabilita) o la Competitività (che è per sua natura con ritorno incerto). Con queste premesse, alle quali si aggiunge l'incognita Brexit, non è affatto certo che dimensione finale assumerà entro la fine del 2019 il Quadro finanziario pluriennale 2021-2027. Lo scenario è reso ancor più incerto dalle elezioni europee di

---

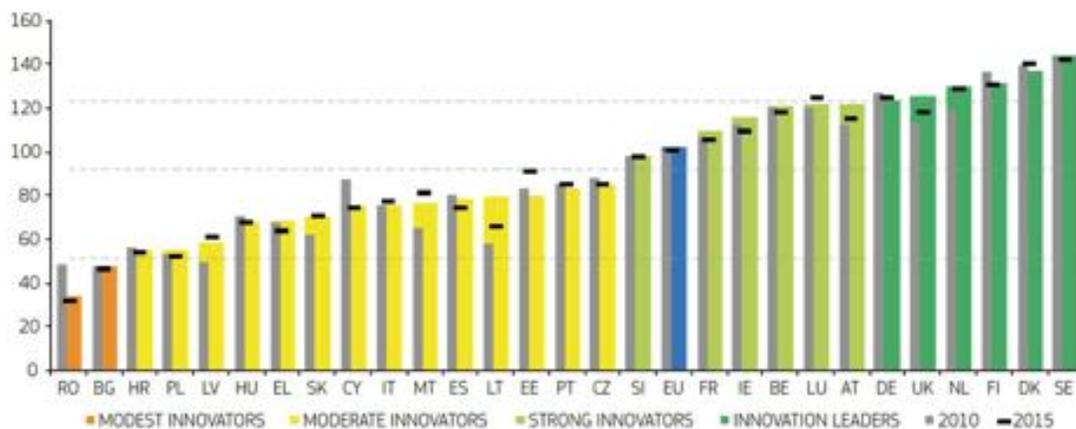
<sup>3</sup> Sono considerati beni e tecnologie duali quelli utilizzabili in applicazioni civili ma anche nella produzione, sviluppo e utilizzo di beni militari. Si differenziano dai materiali d'armamento in quanto non sono appositamente progettati per uso militare. Fonte MISE.

metà 2019 che potrebbero restituirci un Parlamento profondamente modificato negli equilibri e permeato di quelle derive sovraniste che non aiutano il progetto europeo.

Un altro elemento che possiamo identificare come critico in questa fase di negoziato è la perdurante dicotomia tra i due blocchi di Paesi, riconducibili agli EU 15 (i vecchi Stati membri) e gli EU 13 (i nuovi entrati). Questa spaccatura, nella visione del nuovo Programma Quadro Horizon Europe, si sostanzia con un maggiore o minore favore alla dimensione dell'eccellenza scientifica (della quale sono paladini gli EU 15) e a un maggiore o minore ricorso a misure di riequilibrio delle eccellenze<sup>4</sup> spinte con decisione dai nuovi Stati membri.

L'evidenza di questo gap è fornito da un indicatore complesso adottato dall'UE – l'European Innovation Scoreboard – che analizza la performance degli Stati membri, e li aggrega in 4 categorie in funzione delle capacità in Ricerca e Innovazione. Come si evince dalla figura 2, gli EU 15 (con eccezione della Slovenia) si trovano nel blocco dei Paesi sotto-performanti (*modest o moderate innovators*), in compagnia di Italia, Portogallo e Spagna. E comunque al di sotto della media UE.

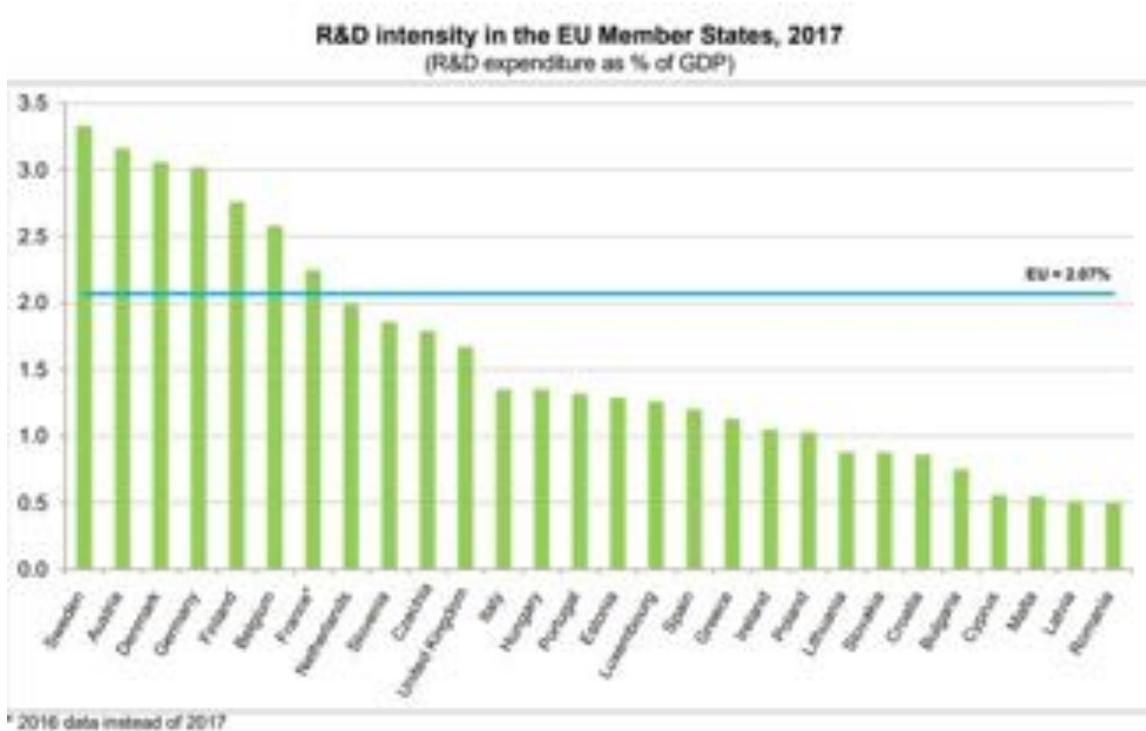
**Figura 2.** Fonte: European Innovation Scoreboard 2018.



<sup>4</sup> Misure volte a: "widening participation and spreading excellence".

Se confrontiamo i dati della figura 2 con gli investimenti nazionali in Ricerca e Innovazione (figura 3), emerge chiaramente che le due dimensioni sono per lo più sovrapponibili e i Paesi a bassa capacità innovativa sono gli stessi che investono meno in Ricerca e Sviluppo.

**Figura 3.** Fonte: EUROSTAT.



Se aggiungiamo poi la terza dimensione, ovvero le capacità dei 28 Paesi di recuperare fondi e progetti da Horizon 2020, ancora una volta i conti tornano e il ranking della figura 4 rispecchia gli investimenti e l'intensità in Ricerca e sviluppo.

**Figura 4.** Posizionamento degli EU 28 in Horizon 2020 – Fonte: Ecorda Nov 2018.

Country	Participations from a Country		EU Financial Contribution for Participants from a Country	
	No.	%	euro	%
DE- Germany	11.858	12,08%	5.821.190.384	15,79%
UK - United Kingdom	11.375	11,59%	5.221.968.863	14,16%
ES - Spain	10.095	10,29%	3.314.862.174	8,99%
FR - France	9.505	9,69%	3.985.393.106	10,81%
IT - Italy	9.290	9,47%	3.050.563.144	8,27%
NL - Netherlands	6.090	6,21%	2.792.824.900	7,58%
Be- Belgium	4.403	4,49%	1.768.288.915	4,80%
SE - Sweden	2.961	3,02%	1.296.505.538	3,52%
EL - Greece	2.741	2,79%	819.249.090	2,22%
AT - Austria	2.715	2,77%	1.035.320.963	2,81%
DK - Denmark	2.210	2,25%	941.546.672	2,55%
PT - Portugal	2.117	2,16%	576.524.944	1,56%
FI - Finland	1.906	1,94%	799.693.805	2,17%
IE - Ireland	1.593	1,62%	632.102.436	1,71%
PL - Poland	1.542	1,57%	339.421.668	0,92%
CZ - Czech Republic	964	0,98%	225.375.228	0,61%
HU - Hungary	841	0,86%	216.275.561	0,59%
RO - Romania	833	0,85%	128.855.601	0,35%
SL - Slovenia	797	0,81%	208.992.588	0,57%
CY - Cyprus	480	0,49%	140.316.772	0,38%
BG - Bulgaria	469	0,48%	69.180.834	0,19%
EE - Estonia	443	0,45%	129.355.629	0,35%
HR - Croatia	420	0,43%	61.812.276	0,17%
SK -Slovakia	396	0,40%	88.389.401	0,24%
LT - Lithuania	329	0,34%	49.331.801	0,13%
LU - Luxembourg	300	0,31%	92.581.545	0,25%
LV - Latvia	290	0,30%	52.272.470	0,14%
MT - Malta	135	0,14%	21.676.113	0,06%

## Il Programma Quadro Horizon Europe

A un primo sguardo, la proposta del nuovo programma sembra ricalcare la struttura dell'attuale Horizon 2020, in linea con la filosofia *evolution not revolution* sostenuta nei mesi scorsi dal Commissario per la ricerca Carlos Moedas. In realtà il nuovo Programma Quadro cambia profondamente in funzione dell'agenda europea, senz'altro più incline che in passato a sostenere la parte di ricerca più vicina al mercato che quella precompetitiva e a produrre effetti più immediati su crescita e

occupazione. Peraltro, è tutta l'attuale Commissione Juncker (e non soltanto il portafoglio ricerca) ad essere decisamente orientata verso il ritorno economico e la razionalizzazione finanziaria e legislativa. Non è un caso se tutte le attività dei Commissari Europei sono state vincolate all'approvazione dei due Vicepresidenti, responsabili per *better spending* (Jyrki Katainen) e *better regulation* (Frans Timmermans). Di fatto, ogni dossier proposto dai vari servizi della Commissione deve preventivamente rispondere alle domande: a) quanto costa e che ritorno genera all'UE; b) è necessario uno strumento legislativo?

Il Commissario alla ricerca Moedas ha rilevato che in Europa c'è molta ricerca di qualità ma poca innovazione dello stesso tenore, e solo poche imprese da un miliardo di dollari - le cosiddette *unicorn* - sono nate in Europa. La volontà della Commissione è quindi di facilitare il potenziamento delle imprese accompagnandole in questo percorso anche con strumenti finanziari. A questo programma si potrebbe obiettare che le condizioni quadro europee non sono favorevoli a questo processo dai punti di vista normativo, burocratico e finanziario, e che per molti commentatori non pare appropriato investire di queste aspettative un programma europeo destinato alla ricerca. Di questo argomento si era già discusso nel 2014 durante il semestre di presidenza italiana del Consiglio dell'UE<sup>5</sup> e si evidenziò la necessità di affrontare in primo luogo le condizioni di contorno per favorire l'innovazione. Grazie a una efficace attività di lobby a Bruxelles, questi temi sono prepotentemente entrati nell'agenda dell'UE e "la nuova Agenda per Ricerca e Innovazione"<sup>6</sup> che i capi di Stato e di governo hanno adottato lo scorso 16 maggio a Sofia, in occasione del Vertice informale sotto la presidenza bulgara, contiene una serie di azioni concrete e alcune indicazioni per il futuro dell'Unione.

---

<sup>5</sup> COM (2014)339 Ricerca e Innovazione come fattori di rilancio della crescita.

<sup>6</sup> [https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/communication-europe-chance-shape-future\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/communication-europe-chance-shape-future_en.pdf)

Tutti concordano sul fatto che investire in Ricerca e Innovazione voglia dire investire nel futuro dell'Europa, competere a livello globale e preservarne il modello sociale. La ricerca migliora la vita quotidiana di milioni di persone in Europa e nel mondo, aiutando a risolvere alcune delle nostre più grandi sfide sociali e generazionali. Anche il Vicepresidente della Commissione Jyrki Katainen, responsabile per l'occupazione, la crescita, gli investimenti e la competitività, ha rimarcato come l'Europa abbia una ricerca di livello mondiale e una solida base industriale, ma che occorra fare molto di più per trasformare questa eccellenza in successo. Nuovi filoni di ricerca (*EC megatrend*) come l'intelligenza artificiale e l'economia circolare stanno portando profondi cambiamenti nella società e nell'economia, e l'Europa deve essere in grado di guidare questa nuova ondata di innovazione se vuole restare competitiva al livello globale.

La risposta a questo invito è stata raccolta dal Gabinetto ricerca con l'ambiziosa proposta di Horizon Europe, che dovrà però fare i conti con l'attuale tiepido sentimento europeo dei 28 Paesi, per conservare il budget di 100 miliardi proposto dalla Commissione. Forse solo Moedas, grazie alla sua profonda esperienza sia politica sia finanziaria,<sup>7</sup> ha intuito la necessità di riforme strutturali nei singoli Stati per sostenere l'innovazione. Il punto dolente è che per Moedas l'innovazione è solo quella *disruptive* e non quella incrementale, sicuramente più consona al tessuto produttivo europeo, con poche eccezioni tra cui Francia e Germania che invece vengono accontentate nella loro iniziativa bilaterale per supportare l'innovazione breakthrough (l'iniziativa francese, annunciata dal presidente Emanuel Macron all'inaugurazione dell'anno accademico alla Sorbona, si chiama JEDI<sup>8</sup>). Ed è proprio per evitare fughe

---

<sup>7</sup> Carlos Moedas ha negoziato con la Troika CE, BCE e FMI le misure UE contro il Portogallo.

<sup>8</sup> <https://www.euractiv.com/section/economy-jobs/news/return-of-the-jedi-european-disruptive-technology-initiative-ready-to-launch/>

in avanti di alcuni Paesi che il commissario Moedas ha ritagliato il futuro European Innovation Council – EIC, che dovrà finanziare le attività vicino al mercato in Horizon Europe - sulle esigenze di chi quel tipo di innovazione è in grado fin da ora di perseguirla e sostenerla.

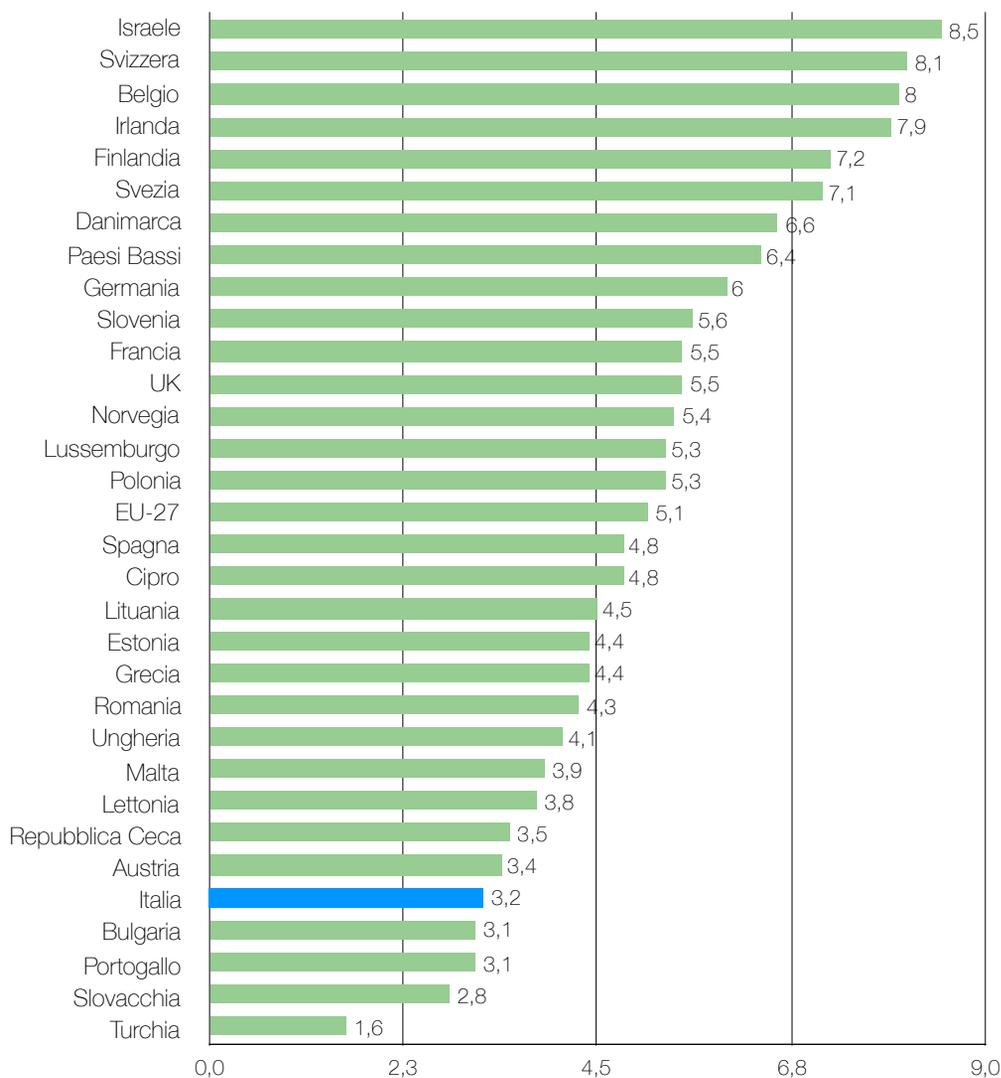
La riflessione è che il programma Horizon Europe nasce viziato da ambizioni che difficilmente troveranno riscontro nella dimensione europea, a causa dei sopra menzionati problemi strutturali-normativi-burocratici e da una modesta cultura del *venture capital*. Resta inoltre il dubbio se un Programma Quadro debba erogare fondi, anche con strumenti finanziari, ad attività molto vicine al mercato, che in caso di beneficiario unico potrebbero configurarsi come aiuto di stato camuffato.

La proposta che ora si trova in negoziato tra i due co-legislatori è purtroppo condizionata da uno scenario EU tutt'altro che agevole e che rischia di dominare il dibattito (che invece dovrebbe essere costruttivo) tra il 28 Stati membri, l'esecutivo UE e il Parlamento. Come avremo modo di vedere più avanti, non si tratta di elementi specifici del settore ricerca, quanto di fondamenti strutturanti dell'UE e che minacciano la sua tenuta.

Tutti i dossier in discussione in ognuna delle filiere del Consiglio, siano esse finanziarie (budget, concorrenza), geografiche (migrazione, rapporti tra i 28 Stati membri e tra UE e Paesi terzi) o tematiche (agenda digitale, energia, trasporti, ambiente, ricerca), sono subordinati ad alcuni elementi dirimenti: la Brexit, la stabilità finanziaria dell'UE, l'euroscetticismo, le future elezioni del Parlamento Europeo e l'insediamento della nuova Commissione Europea. Alcuni di questi elementi sono intrinsecamente legati tra loro e non prescindono dalla posizione, formale e sostanziale, che ciascuno Stato membro sta assumendo nei confronti dell'Europa.

## Opportunità per l'Italia - verso il prossimo Programma Quadro

Dai dati sopra esposti emerge piuttosto chiaramente che l'Italia ha avuto, in Horizon 2020, una performance in linea con il suo impegno in Ricerca e Innovazione, in termini di investimenti e di capacità innovativa. In assoluto giocano a sfavore alcuni elementi: a) l'Italia è un grande contributore al bilancio UE e b) i costi salariali dei ricercatori sono ben al di sotto degli omologhi dei Paesi con i quali ci confrontiamo direttamente; c) la "massa critica" ovvero il numero di ricercatori e scienziati in percentuale alla forza lavoro (vedi figura 5).



**Figura 5.**  
Fonte: Eurostat  
- Scienziati e ingegneri in % della forza lavoro.

Ne consegue che le Organizzazioni di altri Stati membri, ad esempio il CNRS in Francia o il Max Planck in Germania, oltre alle già discusse condizioni di contorno favorevoli, potendo contare su un volume di ricercatori doppio o triplo rispetto a un CNR italiano (e con salari di tutto rispetto), hanno maggiori chance di successo nella programmazione UE. La cartina al tornasole di questa analisi è nella figura 4 dove la Germania, con un numero di partecipazioni poco superiore alla nostra, riporta a casa quasi il doppio di finanziamenti. Gli stakeholder italiani godono in realtà di una eccellente e meritata reputazione e sono spesso richiesti nei partenariati proprio in virtù della qualità che conferiscono al progetto. Dal punto di vista dell'eccellenza quindi non abbiamo avuto debolezze e non ne avremo probabilmente in futuro.

Occorre però tenere in considerazione che il nuovo Programma quadro si sta profilando più verso l'Innovazione che verso la Ricerca: confidando nelle capacità di adattamento del nostro sistema ricerca, sarà necessario sfruttare al meglio i prossimi due anni (e i prossimi bandi pilota di Horizon 2020) per farci trovare pronti al cambio di paradigma.

## **Conclusioni**

È evidente che per mantenere alte le giuste ambizioni di un Paese membro del G7 sono necessari interventi che mettano la ricerca e il relativo capitale umano al centro delle politiche nazionali.

Ci sono elementi che potrebbero tornare utili per sostenere in ogni sede opportuna la necessità di rinforzare l'impegno nazionale in Ricerca e Innovazione, ma anche di dedicare la giusta parte di budget quando si andrà a negoziare a Bruxelles il bilancio UE 2021-27.

**La ricerca ha un ruolo chiave nella creazione di un'Europa unita.** Sono fermamente convinto del ruolo che la ricerca potrebbe svolgere nel

rafforzare la stabilità dell'Unione Europea. Scienziati provenienti da diversi Stati, infatti, cooperano tra loro indipendentemente dalle buone o cattive relazioni tra i rispettivi Paesi. In alcuni casi le relazioni tra team scientifici di differenti Paesi hanno facilitato l'avvicinamento tra i rispettivi governi. La diplomazia scientifica ha contribuito a rafforzare le relazioni tra Paesi, indipendentemente da differenze religiose, politiche o strutturali. A questo fine sarebbe importante concepire la ricerca come elemento centrale dei programmi nazionali e a livello europeo, in termini di importanza e risorse finanziarie.

**In questo momento storico non esiste alternativa all'eccellenza.**

L'eccellenza è una sfida impegnativa, che a volte può sembrare eccessiva o discriminatoria. Tuttavia, è un passaggio inevitabile se l'Europa vuole rimanere tra i centri di ricerca più attraenti e competitivi a livello mondiale. Pertanto, l'eccellenza deve essere promossa come una priorità integrativa e diffusa in tutta Europa con ogni mezzo idoneo, non solo nella qualità della ricerca ma anche negli aspetti gestionali.

**La ricerca può offrire un sostegno alle decisioni politiche.** La ricerca dovrebbe fornire agli organi di governo il supporto scientifico al fine di operare le scelte migliori. Questo ruolo contribuisce a contrastare il clima di disinformazione e impedire interpretazioni dei fatti sociali ed economici non sostenute da evidenze. L'obiettivo della scienza è infatti universale, promuove l'uguaglianza e contrasta le discriminazioni. Sarebbe ottimo se la ricerca potesse offrire il proprio sostegno anche al sistema politico nazionale dell'Unione affinché si adottino decisioni *knowledge based* per affrontare le grandi sfide della società. Pensiamo a grandi temi come quello del cambiamento climatico o dell'Intelligenza artificiale che senz'altro devono essere affrontati sulla base di solide evidenze scientifiche e non sulla scorta di urgenze momentanee.

**La ricerca è fonte di crescita e lavoro qualificato per i Paesi europei.** Troppo spesso la politica ha una finestra temporale breve, e la necessità di rispondere alle esigenze correnti dei cittadini o a urgenze contingenti induce a mettere la ricerca in secondo piano. La ricerca ha infatti per sua natura una visione a lungo termine e questo può tradursi in un disinvestimento pericoloso. Infatti, i risultati ad alto contenuto di ricerca, anche se non immediati, sono duraturi, essenziali, strutturanti. La cosiddetta *knowledge intensive economy* è la soluzione scelta dai Paesi che hanno mantenuto alto il livello di questi investimenti e sono stati quelli più resilienti alla crisi economica.



# **Parte 2**

## **Ricerca scientifica, sostenibilità e sicurezza**

## **Asimmetria nella valutazione di benefici e rischi dei farmaci**

di *Silvio Garattini*

### **Introduzione**

Il termine "sicurezza", utilizzato per i farmaci, è spesso ambiguo. Sicurezza avrebbe il significato di "non generare problemi" che in gergo significano effetti collaterali, per usare un eufemismo in luogo di effetti tossici. Tuttavia, è noto che non esistono farmaci innocui, al contrario tutti i farmaci attivi hanno una contropartita di effetti indesiderabili. Il termine sicurezza va perciò confrontato con il termine "beneficio". Infatti, come per qualsiasi altro intervento, si possono accettare le forme più o meno importanti di tossicità solo in cambio di benefici per la propria salute.

Più che di sicurezza nel prosieguo parleremo del suo opposto, ovvero del rischio di tossicità, un termine negativo che non è molto amato dal mercato dei farmaci. Infatti, quando si studia un nuovo farmaco nelle varie fasi precliniche, i modelli animali sono tutti orientati a valutare il beneficio e solo alla fine dello studio si cerca di valutare la tossicità cronica, spesso in esperimenti di durata relativamente breve, rinviando a tempi successivi la ricerca di tossicità più specifiche, quali ad esempio la mutagenesi, cancerogenesi e le anomalie della riproduzione. Negli studi clinici l'obiettivo è fondamentalmente quello di stabilire i benefici. Infatti, la numerosità del campione viene calcolata per ottenere un dato statisticamente significativo del beneficio atteso e non per valutare il livello di tossicità. Il termine stesso di beneficio viene dilatato per includere parametri che rappresentano un beneficio "surrogato". Infatti,

un farmaco spesso si valuta per la sua capacità di ridurre la pressione, il colesterolo, la glicemia e altri parametri biochimici, assumendo - ma non sempre dimostrando - che questi siano indicatori di vantaggi terapeutici per il paziente. L'impiego di un farmaco non viene sempre valutato per i parametri importanti per la salute quali la morbilità, la mortalità o la qualità di vita. Mentre l'efficacia si ricerca, la tossicità si... attende! Infatti, non esiste un programma specifico di farmacovigilanza attiva; gli effetti tossici vengono raccolti dalle informazioni spontanee di medici, farmacisti, infermieri e pazienti e quindi sono certamente dati sottostimati, soprattutto quando gli effetti tossici avvengono a distanza di tempo rispetto alla somministrazione dei farmaci. La mancanza di sorveglianza sugli effetti tossici rende necessario, anche dopo molti anni dalla commercializzazione il ritiro dei farmaci. È sintomatico che spesso i farmaci vengano ritirati dal commercio dalle industrie anziché dalle autorità regolatorie.<sup>1</sup>

## **Tossicità**

Come già accennato il mercato della medicina tende a privilegiare i benefici. Ad esempio, solo poche riviste si occupano di tossicologia farmaceutica: un'indagine condotta sulle principali riviste mediche mostra che solo l'1,5% degli articoli si occupa delle reazioni avverse. Lo stesso studio della tossicologia è visto come un'attività di ricerca minore. Grande enfasi invece viene data a studi che rilevino qualsiasi beneficio, per quanto piccolo.

La tossicità da farmaci non è affatto trascurabile. Si calcola infatti che negli USA il 70% delle ammissioni ospedaliere siano determinate da pazienti con età eguale o superiore a 65 anni che assumono cinque o più

---

<sup>1</sup> Garattini S., Bertele V., "Benefits, benefits, once more benefits... with no risk? Stop overlooking the harms of medicines", *Eur J Clin Pharmacol*, 2018; 74: 373-5.

farmaci al giorno; mentre in Europa si ritiene che ogni anno vi siano 8,6 milioni di ammissioni ospedaliere dovute alle reazioni avverse da farmaci (Report NHS Scotland). Per quanto riguarda l'Italia gli studi sono poco numerosi e molto incompleti, perché basati essenzialmente su rapporti spontanei. Ad esempio, nel rapporto AIFA<sup>2</sup> su oltre 300 pagine riguardanti spesa e consumo di farmaci non esiste un solo capitolo sulla tossicità dei farmaci. Si menzionano solo alcuni dati indiretti nel rapporto Osmed 2016 che dedica sette pagine agli eventi avversi.

La tendenza attuale a registrare con maggiore rapidità (*fast track*) i farmaci promettenti tende a ritardare la conoscenza degli effetti tossici. Ad esempio dati FDA riportano che per i farmaci approvati precocemente si devono in seguito riportare nella scheda tecnica il 48% in più di effetti collaterali rispetto ai farmaci approvati con i tempi normali. È stato anche riportato che l'utilizzo inappropriato di farmaci aumenta di due volte i ricoveri ospedalieri, con particolare riferimento nei soggetti anziani. I risultati dello Studio REPOSI<sup>3</sup> condotto in Italia sono coerenti con questi dati, dimostrando che soggetti anziani che assumono più di cinque farmaci hanno una mortalità tre volte superiore, spesso dovuta a gravi interazioni tra farmaci. Le reazioni avverse sono di fatto più numerose in rapporto al numero di farmaci assunti.<sup>4</sup>

Poco nota è l'incidenza della tossicità in rapporto con il genere. Un rapporto della FDA indica che gli effetti avversi nelle donne assommavano

---

<sup>2</sup> L'uso dei farmaci in Italia, Osservatorio Nazionale sull'impiego dei Medicinali, 2017, Rome; Osservatorio Nazionale sull'impiego dei Medicinali, 2018.

<sup>3</sup> Franchi C., *et al.*, "Pattern of in-hospital changes in drug use in the older people from 2010 to 2016", *Pharmacoepidemiol Drug Saf*, 2017; 26: 1534-9.

<sup>4</sup> Leelakanok N., *et al.*, "Association between polypharmacy and death: A systematic review and meta-analysis", *J Am Pharm Assoc*, 2017; 57: 729-38 e10.

a 2 milioni quando nel maschio erano limitati a 1,3 milioni.<sup>5</sup> Come accade anche per i benefici, a maggiore ragione per gli effetti tossici molti studi clinici controllati non includono un numero adeguato di donne<sup>6</sup> e perciò spesso non riportano le percentuali di tossicità in rapporto al genere.<sup>7</sup>

Le dosi dei farmaci rispetto al peso corporeo sono in generale più alte nella femmina rispetto al maschio. Questo assieme alle differenze nel metabolismo dei citocromi P450 epatici può essere causa di molti casi di maggior tossicità nella donna.<sup>8,9</sup> Un caso del genere è rappresentato dagli antipsicotici per quanto riguarda reazioni avverse di tipo metabolico.<sup>10</sup>

È interessante dare alcuni esempi di farmaci per cui sono poco propagandati gli effetti tossici. L'enfasi indubbiamente giustificata data ai nuovi medicinali antitumorali che agiscono su base immunitaria non è stata accompagnata da un'adeguata informazione sulle reazioni autoimmunitarie che si evidenziano anche a distanza di tempo.<sup>11</sup> In

---

<sup>5</sup> Nowogrodzki A., "Clinical research: Inequality in medicine", *Nature*, 2017; 550: S18-S9.

<sup>6</sup> Stramba-Badiale M., "Women and research on cardiovascular diseases in Europe: A report from the European Heart Health Strategy (EuroHeart) project", *European Heart Journal*, 2010; 31: 1677-81+81a-81d.

<sup>7</sup> Blauwet L.A., *et al.*, "Low rate of sex-specific result reporting in cardiovascular trials", *Mayo Clin Proc*, 2007; 82: 166-70.

<sup>8</sup> Arzuk E., *et al.*, "Inter-individual and inter-organ variability in the bioactivation of paracetamol by human liver and kidney tissues", *Environ Toxicol Pharmacol*, 2018; 61: 8-17.

<sup>9</sup> Graziani M., Nistico R., "Gender difference in prescription opioid abuse: A focus on oxycodone and hydrocodone", *Pharmacol Res*, 2016; 108: 31-8.

<sup>10</sup> Kraal A.Z., *et al.*, "Sex Differences in Antipsychotic Related Metabolic Functioning in Schizophrenia Spectrum Disorders", *Psychopharmacol Bull*, 2017; 47: 8-21.

<sup>11</sup> Baxi S., *et al.*, "Immune-related adverse events for anti-PD-1 and anti-PD-L1 drugs: systematic review and meta-analysis", *BMJ*, 2018; 360: k793.

seguito all'impiego di questi farmaci, il WHO ha riportato 101 casi di miocardite fulminante.<sup>12,13</sup>

Sempre per dare alcuni esempi, senza essere esaustivi, si possono anche ricordare farmaci che hanno effetti avversi molto gravi rispetto alla loro reale utilità. Fra gli uricosurici, il febuxostat, pur non essendo più attivo dei farmaci già disponibili come l'allopurinolo, induce un aumento del 22% della mortalità da tutte le cause e una mortalità cardiovascolare del 32% più alta.<sup>14</sup> Gli antagonisti dell'endotelina, utilizzati per la terapia dell'ipertensione polmonare, inducono un aumento del 60% di malattie cardiovascolari e dell'80% dell'anemia<sup>15</sup> rispetto ai controlli.

Gli estrogeni associati ad alcuni progestinici come il levonorgestrel aumentano del 26% la probabilità di avere un embolismo polmonare.<sup>16</sup>

I farmaci antidepressivi, urologici e antiparkinson che esercitano effetti anticolinergici aumentano la probabilità di demenza senile anche se somministrati 20 anni prima.<sup>17</sup>

---

<sup>12</sup> Johnson D.B., *et al.*, "Immune Checkpoint Inhibitor Toxicity in 2018", *JAMA*, 2018; 320: 1702-3.

<sup>13</sup> Moslehi J.J., *et al.*, "Increased reporting of fatal immune checkpoint inhibitor-associated myocarditis", *Lancet*, 2018; 391: 933.

<sup>14</sup> White W.B., *et al.*, "Cardiovascular Safety of Febuxostat or Allopurinol in Patients with Gout", *N Engl J Med*, 2018; 378: 1200-10.

<sup>15</sup> Pan Y., *et al.*, "Association of oral endothelin receptor antagonists with risks of cardiovascular events and mortality: meta-analysis of randomized controlled trials", *Eur J Clin Pharmacol*, 2017; 73: 267-78.

<sup>16</sup> Weill A., *et al.*, "Low dose oestrogen combined oral contraception and risk of pulmonary embolism, stroke, and myocardial infarction in five million French women: cohort study", *BMJ*, 2016; 353: i2002.

<sup>17</sup> Richardson K., *et al.*, "Anticholinergic drugs and risk of dementia: case-control study", *BMJ*, 2018; 361: k1315.

Molto spesso anche i benefici possono essere vanificati dall'incidenza di reazioni avverse. Ad esempio, si è osservato che preparati di cannabis sono in grado di diminuire la spasticità nell'ammalato di sclerosi multipla, ma nel suo complesso la qualità di vita non è modificata, probabilmente a causa degli effetti avversi della cannabis sul sistema nervoso centrale.<sup>18</sup>

## **Efficacia**

È impossibile valutare il significato delle reazioni avverse senza considerare quali siano veramente i benefici. Infatti, mentre è possibile giustificare anche rischi gravi a fronte di un effetto fortemente positivo, è difficile accettare reazioni avverse anche modeste di farmaci che non abbiano vantaggi rispetto a farmaci già esistenti.

La stessa legislazione europea non favorisce certo la possibilità di valutare i reali benefici, perché per l'approvazione di un nuovo farmaco vengono richieste solo tre caratteristiche: "qualità, efficacia e sicurezza" il che vuol dire che ogni farmaco viene giudicato per se stesso, come se non esistessero nella maggior parte dei casi già altri farmaci con le stesse indicazioni cliniche. Diversa sarebbe la situazione se la legge prescrivesse: "qualità, efficacia, sicurezza e valore terapeutico aggiunto". In tal caso sarebbe necessario fare studi comparativi e verrebbero perciò approvati solo farmaci con caratteristiche di migliore efficacia o minore tossicità rispetto a quelli esistenti. Se ciò accadesse, in molti casi sarebbe necessario rimuovere dal mercato i vecchi farmaci superati dai nuovi.

Il risultato dell'attuale legislazione è la presenza sul mercato di molti farmaci che in realtà rispondono più agli interessi delle industrie farmaceutiche rispetto a quelli degli ammalati. Un gruppo di esperti della

---

<sup>18</sup> Herzog S., et al., "Systematic Review of the Costs and Benefits of Prescribed Cannabis-Based Medicines for the Management of Chronic Illness: Lessons from Multiple Sclerosis", *Pharmacoeconomics*, 2018; 36: 67-78.

rivista *Prescrire* ha valutato l'efficacia clinica dei farmaci approvati in Europa negli ultimi dieci anni (2008-2017). Il risultato non è entusiasmante perché su 943 farmaci e indicazioni terapeutiche esaminati, solo 58 rappresentano, per ragioni diverse, un reale progresso terapeutico, mentre 662 erano classificati come inutili o non accettabili. Inoltre, 223 prodotti rimanevano in attesa di giudizio perché il loro rapporto beneficio-rischio era ancora difficilmente valutabile (tabella 1).

**Tabella 1.** Classificazione dei nuovi farmaci e delle nuove indicazioni approvate dall'EMA da parte della rivista *Prescrire*.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Totale
Bravo	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Un reale avanzamento	0	0	1	0	1	0	2	3	1	9
Offre un vantaggio	6	3	3	3	3	6	5	5	5	48
Possibilmente utile	25	14	22	13	14	12	15	15	9	157
Niente di nuovo	57	62	49	53	42	48	35	43	56	490
Non accettabile	23	19	19	16	15	15	19	15	16	172
Giudizio riservato	9	6	3	7	7	9	10	6	5	68
Totale	120	104	97	92	82	90	87	87	92	943

Un problema particolare è rappresentato dai farmaci antitumorali, spesso approvati certamente con l'idea che siano utili. Ma spesso la loro approvazione, in assenza di adeguate evidenze scientifiche, crea solo confusione. Ad esempio, l'EMA, l'organismo europeo che approva i nuovi farmaci, ha autorizzato nel periodo di quattro anni (2009-2013) ben 68 nuovi farmaci antitumorali. Tuttavia, per il 57% (39/68) di questi non esistevano evidenze di aumento della sopravvivenza degli ammalati trattati. Secondo altri autori<sup>19</sup> solo 24 farmaci su 68 mostravano un significativo aumento della sopravvivenza con una mediana di 2,7 mesi. Dopo circa sei anni solo 6 farmaci su 39 avevano ottenuto risultati

<sup>19</sup> Davis C., et al., "Availability of evidence of benefits on overall survival and quality of life of cancer drugs approved by European Medicines Agency: retrospective cohort study of drug approvals 2009-13", *BMJ*, 2017; 359: j4530.

positivi.<sup>20</sup> L'approvazione precoce crea problemi, perché poi risulta difficile eseguire studi clinici controllati rispetto ad altre terapie e spesso i nuovi farmaci vengono utilizzati impropriamente come standard per studi di confronto.

Approvare tanti farmaci in tempi brevi crea grande confusione fra gli oncologi, perché per molti prodotti la disponibilità del farmaco è accompagnata solo da approssimative conoscenze circa le dosi, la durata del trattamento, la combinazione con altri farmaci e soprattutto un'adeguata conoscenza del rapporto benefici-rischi.

Per discutere dei benefici, come della tossicità, si deve tener conto delle modalità con cui vengono acquisite le conoscenze. Negli studi clinici controllati si fanno confronti fra il nuovo trattamento e il placebo o un farmaco di riferimento. Alla fine di un certo periodo di trattamento si valutano i benefici e le tossicità attraverso l'impiego della statistica.

I risultati indicano perciò il beneficio nella popolazione trattata, ma non possono evidenziare chi ha beneficiato del trattamento o chi ne è stato penalizzato. Quando ci si accinge a fare una prescrizione, il paziente, dovrebbe sapere qual è la probabilità di avere un beneficio, perché raramente un farmaco porta benefici al 100% dei trattati. Una modalità per esprimere questa probabilità è il numero di pazienti che devono essere trattati, perché uno abbia un beneficio terapeuticamente significativo (NNT).

Impiegando l'evolocumab, un nuovo farmaco che agisce come un potente ipocolesterolemizzante, per ogni mille pazienti trattati si ottengono, rispetto ai controlli, 15 casi in meno di morte cardiaca, infarto miocardico o ictus cerebrale. Ciò vuol dire che su 1.000 pazienti 926 vengono trattati

---

<sup>20</sup> Prasad V., "Do cancer drugs improve survival or quality of life?", *BMJ*, 2017; 359: j4528.

inutilmente perché non avrebbero avuto alcun evento cardiovascolare, 59 hanno comunque avuto il danno pur essendo trattati e 15 appunto sono stati beneficiati. In definitiva, bisogna perciò trattare 66 pazienti (NNT) affinché uno abbia un vantaggio. È chiaro che questa probabilità ha un significato diverso per chi abbia un rischio cardiovascolare alto o basso, per chi sia giovane o anziano, maschio o femmina.<sup>21</sup>

Lo stesso approccio si dovrebbe avere non solo per valutare il beneficio, ma anche per sapere quanti pazienti è sufficiente trattare perché si manifesti una determinata forma di tossicità (NNH). Ad esempio, l'impiego dell'aspirina in prevenzione primaria ha un NNT = 522, cioè bisogna trattare molti pazienti per prevenire un infarto; ma il modesto vantaggio si rivela in realtà uno svantaggio se si considera il NNH = 111 per gravi effetti avversi.<sup>22</sup>

La tabella 2 permette di avere un'idea degli NNT per l'alendronato, un farmaco utilizzato per ridurre le fratture dopo la menopausa. Tali dati possono ovviamente cambiare in rapporto con l'obiettivo terapeutico, le dosi, i tempi di somministrazione, il genere e l'età del paziente. E' chiaro che la personalizzazione dei trattamenti richiederebbe di sapere chi può avere vantaggio dalla somministrazione del farmaco per evitare che molti altri ricevano trattamenti inutili o addirittura dannosi.

---

<sup>21</sup> Sabatine M.S., *et al.*, "Evolocumab and Clinical Outcomes in Patients with Cardiovascular Disease", *N Engl J Med*, 2017; 376: 1713-22.

<sup>22</sup> Gaziano J.M., *et al.*, "Use of aspirin to reduce risk of initial vascular events in patients at moderate risk of cardiovascular disease (ARRIVE): a randomised, double-blind, placebo-controlled trial", *Lancet*, 2018; 392: 1036-46.

**Tabella 2.** NNT per l'alendronato in rapporto con l'età e il tipo di frattura.

	<b>PREVENZIONE SECONDARIA</b>	<b>PREVENZIONE PRIMARIA</b>
<b>FRATTURE VERTEBRALI</b>		
Età 65-69	80	740
Età 85-89	55	445
<b>FRATTURE NON VERTEBRALI</b>		
Età 65-69	260	520
Età 85-89	120	160
<b>FRATTURE DELL'ANCA</b>		
Età 65-69	1050	1180
Età 85-89	45	55

Quanti medici nel prescrivere un farmaco hanno presente il NNT per il risultato che si vuole ottenere e quanti pazienti ricevono questa informazione per fornire il proprio consenso consapevole al trattamento?

Infine, occorre ricordare che molti dei dati riportati sono ottenuti in condizioni sperimentali. Diversa è la situazione nella realtà clinica, quando i pazienti sono sottoposti contemporaneamente al trattamento con molti farmaci. Il già citato Studio REPOSI, condotto in Italia e Spagna, raccoglie le caratteristiche dei pazienti ricoverati nei dipartimenti di medicina interna. La tabella 3 dà un'indicazione del numero di pazienti trattati con più di cinque farmaci nel corso degli anni, all'ammissione e alla dimissione dall'Ospedale. È chiaro che con tanti farmaci il numero di interazioni è incalcolabile e ancor meno è quantificabile il rapporto benefici-tossicità.

**Tabella 3.** Studio Reposi. (dati raccolti a settembre 2017). Caratteristiche della coorte. Polifarmaci = 5 o più farmaci/giorno.

Variabili	2008	2010	2012	2014	2015/2016	2016/2017
Pazienti (N.)	1.332	1.380	1.323	1.212	910	967
Età (anni) media (SD)	79,3 (7,5)	79,0 (7,3)	79,3 (7,4)	79,1 (7,9)	79,7 (10,4)	79,3 (7,8)
Numero farmaci all'ammissione, media (SD)	4,9 (2,8)	5,3 (2,8)	5,4 (3,1)	6,1 (3,1)	5,5 (3,3)	5,7 (3,0)
Pazienti con polifarmaci all'ammissione (%)	52%	58%	59%	63%	66%	63%
Numero farmaci alla dimissione, media (SD)	6,0 (2,9)	6,3 (2,8)	6,4 (3,1)	7,8 (5,5)	6,2 (3,3)	6,5 (3,3)
Pazienti con polifarmaci alla dimissione (%)	67%	72%	72%	84%	71%	73%

## La spesa farmaceutica

In Italia sono in commercio ben 16.247 medicinali. Di questi 10.341 sono rimborsati dal Servizio Sanitario Nazionale (SSN) da parte della medicina territoriale o delle strutture ospedaliere pubbliche e convenzionate. Questi farmaci hanno comportato una spesa totale di 29,811 miliardi di euro di cui 22,555 miliardi rimborsati dal SSN, comprendenti 10,495 miliardi di euro relativi alla spesa territoriale dei medici di medicina generale. I dettagli della spesa pubblica e privata sono riportati nella Tabella n. 4 che indica anche la differenza di spesa nel 2017 rispetto al 2016. La spesa farmaceutica è in continuo aumento e nel triennio 2013-2016 ha utilizzato ben 2,046 miliardi di euro rispetto ai 2,866 messi a disposizione dal Governo per incrementare il Fondo Sanitario Nazionale, che per il 2017 assommava a circa 113 miliardi di euro. In realtà, la spesa farmaceutica a carico del SSN raggiunge circa il 20%, dato questo forse leggermente sottostimato. È lecito chiedersi se questa cifra sia

veramente proporzionale ai benefici che si ottengono rispetto ai rischi, come si è visto nei precedenti capitoli.<sup>23</sup>

**Tabella 4.** Composizione della spesa farmaceutica in milioni di euro: confronto 2017-2016.

	Spesa	%	Var % 17-16
Spesa convenzionata lorda <sup>^</sup>	10.495	35	-1,3
Distribuzione diretta e per conto di fascia A	4.793	16	-13,7
Classe A privata <sup>‡</sup>	1.317	4	0,6
Classe C con ricetta	2.874	10	8,8
Automedicazione	2.732	9	12,4
Esercizi commerciali	333	1	10,8
ASL, Aziende Ospedaliere, RSA e penitenziari*	7.267	24	10,3
<b>Totale</b>	<b>29.811</b>	<b>100</b>	<b>1,2</b>

<sup>^</sup> Comprensiva della spesa per vaccini (248.734 euro) e per l'ossigeno (51,4 milioni) e dei farmaci di classe C rimborsata ai sensi della legge n.203 del 19 luglio 2000 (24 milioni)

<sup>‡</sup> Stimata sulla base della serie storica 2013-2016

\* Comprensivo della spesa per i vaccini (487,4 milioni di euro) e dell'ossigeno (270,8 milioni). Non comprende la spesa per i farmaci di classe A erogati in distribuzione diretta e per conto

La spesa farmaceutica è governata in Italia da un'agenzia, AIFA (Agenzia Italiana del Farmaco), che ha una duplice funzione: mettere a disposizione del mercato generale (fascia C) tutti i farmaci approvati dall'EMA (European Medicines Agency) a carico del pubblico senza interferire sui prezzi proposti dai produttori e selezionare fra questi farmaci quelli rimborsabili dal SSN, contrattandone i prezzi con le industrie farmaceutiche interessate.

Come si è già osservato, la maggioranza dei farmaci, anche quelli disponibili per il SSN, sono in generale delle fotocopie di quelli già esistenti, anche se possono avere strutture chimiche differenti, perché non vengono realizzati adeguati studi comparativi. Gli stessi principi attivi sono spesso presenti in un numero eccessivo di prodotti e di confezioni, il che genera una forte offerta, non sempre necessaria. Non solo ma, come

<sup>23</sup> Vedi nota 2.

si può osservare dalla tabella 4, principi attivi uguali hanno prezzi differenti, come pure principi con le stesse indicazioni hanno prezzi considerevolmente differenti, senza che vi siano dimostrazioni di maggior efficacia o di minore tossicità.

## **Proposte**

È chiaro che il mondo dei farmaci richiede cambiamenti significativi per evitare che il mercato prevalga sugli interessi degli ammalati, in particolare per quanto riguarda il Servizio Sanitario Nazionale. Poiché in Italia è l'AIFA incaricata, fra l'altro, di stabilire quali farmaci debbano essere forniti gratuitamente agli italiani, è a questo organismo che vanno indirizzate tutte le proposte.

Anzitutto, da un punto di vista della policy, l'AIFA dovrebbe sposare l'impostazione del "valore terapeutico aggiunto" e quindi considerare i prodotti approvati dall'EMA come un catalogo da cui attingere i farmaci che sulla base dell'evidenza scientifica rappresentano un reale vantaggio. Ma se un farmaco implica per una certa indicazione un vantaggio rispetto a quelli esistenti, è logico che altri farmaci escano dal Prontuario. Ciò implica da un lato una continua revisione del Prontuario Terapeutico e dall'altro un'assunzione di responsabilità che va chiaramente identificata. Attualmente abbiamo in AIFA un Consiglio di Amministrazione, un Direttore che ha la rappresentanza legale, una Commissione Tecnico-Scientifica (CTS) fatta da esperti che stabiliscono se il farmaco è rimborsabile e un Comitato Prezzi e Rimborsi (CPR) che contratta i prezzi con i produttori. Forse sarebbe utile snellire questi Comitati, consultare molto di più gli esperti nei campi specifici di utilizzazione del farmaco in questione e ritornare a una CUF (Comitato Unico del Farmaco) che riunisca CTS e CPR.

Per mantenere l'indipendenza di giudizio, AIFA non dovrebbe avere conflitti di funzione. Ad esempio, non dovrebbe dare "consigli scientifici" sui *clinical trial* che poi devono essere giudicati dalla stessa organizzazione. Per la stessa ragione, AIFA non dovrebbe essere l'organismo competente per validare gli studi clinici controllati e non dovrebbe essere sede del Comitato Nazionale di Coordinamento dei Comitati Etici regionali.

Una funzione fondamentale per l'immediato dovrebbe essere la revisione sistematica del Prontuario Terapeutico Nazionale, cosa che non avviene dal 1993, cioè da 25 anni.

Altre regole importanti riguardano alcune decisioni da prendere in modo generalizzato. Ad esempio, farmaci con lo stesso principio attivo devono avere lo stesso prezzo, come pure farmaci con la stessa indicazione. Nella situazione di farmaci ad alto costo dovrebbe essere richiesto di giustificare il prezzo. All'aumentare dei volumi di prescrizione dovrebbe corrispondere una diminuzione del prezzo per tutti i farmaci che appartengono allo stesso gruppo.

In questo modo non ci dovrebbero essere incentivi o situazioni speciali per farmaci innovativi, perché tutti i farmaci ammessi alla rimborsabilità devono essere per le ragioni suddette innovativi. Possono essere ammessi farmaci-copia (me-too) nel caso abbiano un prezzo considerevolmente inferiore a quelli esistenti, perché in quel caso verrebbero abbassati anche i prezzi dei farmaci appartenenti allo stesso gruppo.

Le confezioni devono essere adeguate ai tempi di terapia per evitare inutili sprechi. Va considerata anche la possibilità di realizzare aste nazionali per i prodotti di uso più comune.

Sembra strano sottolineare questi aspetti, considerando che rappresentano le modalità con cui agiscono tutte le aziende commerciali o industriali indipendentemente dalle loro attività.

Un compito importante dell'AIFA, quasi completamente assente in questo momento, è l'informazione. Non è possibile che tutta l'informazione sui farmaci sia monopolio dell'industria farmaceutica. È necessario un costante, giornaliero impegno di informazione per tutti i medici che appartengono al SSN, perché conoscano attraverso gli NNT e gli NNH la reale efficacia e la tossicità dei farmaci, non trascurando informazioni sui prezzi e soprattutto sulle interazioni fra farmaci. Gli informatori farmaceutici dell'industria non dovrebbero avere accesso diretto ai medici, ma dovrebbero avere la possibilità di svolgere seminari collettivi sui loro prodotti, magari con contraddittorio. È necessario che tutti i medici appartenenti al SSN abbiano idee chiare sui farmaci e soprattutto sull'equivalenza dei prodotti generici e biosimilari rispetto ai prodotti originali. La libertà di prescrizione ha un significato solo quando il medico può fare scelte fra prodotti diversi e non fra prodotti dichiarati equivalenti dall'autorità regolatoria.

Infine, *last but not least*, esiste l'assoluta necessità di intensificare la ricerca indipendente (vedi la tabella 5 per le sue caratteristiche rispetto alla ricerca industriale) il cui finanziamento deve contare su almeno l'1% del budget del SSN, con tendenza al 3%. Questa ricerca è fondamentale per caratterizzare i farmaci in base a dosi ottimali e a tempi di trattamento adeguati. Sono fondamentali studi comparativi per dare utili informazioni all'AIFA, nonché studi che permettano di stabilire, soprattutto per la terapia antitumorale, quali siano le combinazioni di farmaci più efficaci e meno tossiche. Va ristabilita l'asimmetria benefici-rischi, promuovendo studi di farmacovigilanza "attiva".

I farmaci sono fondamentali quando vengono utilizzati in modo appropriato. Occorre evitare che i farmaci per ragioni di mercato siano considerati beni di consumo anziché strumenti di salute.

**Tabella 5.** Differenze nella ricerca clinica commerciale e indipendente.

<b>COMMERCIALE</b>	<b>INDIPENDENTE</b>
Ottenere un prodotto	Risolvere un problema
Piccola numerosità	Adeguatezza numerosità
Ridotto follow-up	Adeguatezza follow-up
Pazienti fragili esclusi	Pazienti fragili inclusi
Farmacovigilanza spontanea	Farmacovigilanza pro-attiva
Ridotta presenza donne	Presenza donne adeguata
Dati non disponibili per i partecipanti	Dati disponibili per i partecipanti

## **La ricerca scientifica come strumento indispensabile per il governo di un sistema sanitario intelligente**

di *Luigi Tavazzi*

La qualità delle prestazioni mediche dipende da molti fattori organizzativi e scientifici. Dati recenti, raccolti soprattutto in ambito anglosassone, mostrano quali siano ancora oggi i limiti e la fallibilità della pratica clinica. Negli Stati Uniti errori diagnostici accadrebbero circa nel 15% di tutti gli incontri clinici, riguardando quindi 12 milioni di adulti ogni anno e determinando danni permanenti o morte in circa 160.000 pazienti ogni anno. Questi errori rappresenterebbero la terza causa di morte dopo le patologie cardiovascolari e il cancro.<sup>1</sup>

Un altro esempio che mette in evidenza come la pratica clinica possa essere difficile è il Care Homes Study.<sup>2,3</sup> Un gruppo di medici esperti, dotati di ecografo e della possibilità di eseguire esami ematochimici di routine si propose di verificare la correttezza della diagnosi di scompenso cardiaco nell'anziano, nel mondo reale. Vennero esaminati 405 residenti stabili (età 65-100 anni) di 33 case di riposo in UK. Nel 23% dei casi era stato diagnosticato precedentemente uno scompenso cardiaco e quindi gli ospiti erano trattati come tali. Nel 76% di costoro questa diagnosi non venne confermata; al contrario, dei casi diagnosticati come scompensati nella valutazione "sperimentale" il 90% non era stato diagnosticato in

---

<sup>1</sup> Makary M.A., Daniel M., "Medical error - the third leading cause of death in the US", *BMJ*, 2016; 353: *BMJ*. i2139.

<sup>2</sup> Hancock H.C., *et al.*, "High prevalence of undetected heart failure in long-term care residents: findings from the Heart Failure in Care Homes (HFinCH) study", *Eur J Heart Fail*, 2013; 15: 158-165.

<sup>3</sup> Hurwitz B., "How does evidence based guidance influence determinations of medical negligence?", *BMJ*, 2004; 329: 1024-1028.

precedenza. Nessuno dei sintomi e segni clinici comuni nello scompenso cardiaco era emerso dall'analisi statistica come indicatore affidabile per la diagnosi.

Non c'è dubbio che la pratica clinica vada urgentemente migliorata, in parallelo con l'esponenzialmente crescente domanda di salute e benessere da parte dei cittadini. La ricerca clinica è lo strumento per farlo.

## **La medicina basata sull'evidenza e i suoi limiti**

L'inizio della ricerca clinica osservazionale empirica, applicata all'essere umano ammalato è difficilmente databile. Verosimilmente nasce con la storia delle comunità umane.<sup>4</sup> Solo nel secolo scorso, l'avanzare della tecnologia ha consentito una crescente capacità di vedere, quindi di misurare e analizzare invasivamente e non invasivamente il corpo umano, e di formalizzare i principi della metodologia della ricerca clinica.

Il primo passo è stato stabilire il concetto metodologico di prova clinica o "evidenza" (dall'inglese *evidence*), ovvero l'identificazione di strategie di ricerca che conducessero a conclusioni ritenute certe e generalizzabili,

---

<sup>4</sup> Le prime tracce di esperimenti basati su un'ipotesi e un metodo per verificarla si ritrovano nel '500 in castelli di principi tedeschi (Rankin A., Rivest J., "Medicine, Monopoly, and the Premodern State - Early Clinical Trials", *N Engl J Med*, 2016; 375: 106-109). Nel 1580 un "medico" condusse un trial per testare un antidoto per avvelenamenti chiamato Silesian con 8 cani avvelenati con 4 diversi tossici. Quattro ricevettero l'antidoto e tutti sopravvissero. Tre dei cani non trattati morirono. Il quarto, in agonia, commosse lo sperimentatore, che comunque non perse la curiosità del ricercatore, e lo trattò con metà dose (quindi l'alba di un dose finding). Il cane sopravvisse. Conosciuto questo successo, poco dopo, nel 1581, un altro "medico" che lavorava presso un altro principe, testò l'antidoto in un criminale condannato "per vedere se funzionava anche nell'uomo come nei cani". L'uomo, avvelenato e poi trattato, sopravvisse. Passarono due secoli per la scoperta dell'efficacia degli agrumi (vitamina C) per lo scorbuto e quattro per l'insulina nel diabete, peraltro senza una metodologia di prova di efficacia. Si trattava di esperienze empiriche, oggi denominate "evidenze del mondo reale" (real world evidence). Finché ci si rese conto che la pratica clinica poteva suggerire l'uso di pratiche inconsistenti e la ricerca clinica formale iniziò con gli studi randomizzati in cieco, verso la metà del '900.

usabili consensualmente nella pratica clinica). Il termine evidenza quindi, in medicina, ha una accezione specifica. In pratica significa "prova che consente l'uso clinico" che di solito implica un insieme di prove. Una delle definizioni convenzionali di evidenza recita "*Evidence refers to reliable, observational, inferential, or experimental information forming parts of the grounds for upholding or rejecting claims or beliefs*".<sup>5</sup>

Per lo più si tratta di studi controllati randomizzati nei quali, identificata una popolazione e un obiettivo di interesse, l'oggetto in studio (un farmaco, una procedura terapeutica, una valutazione diagnostica, un percorso clinico ecc.) si applica con scelta casuale (*random*) a metà della popolazione, e se ne riscontrano gli effetti paragonandola alla metà non trattata. Le differenze osservate tra i due gruppi costituiscono l'oggetto dello studio e, se statisticamente significative, rappresentano una evidenza. In realtà ogni persona ha un proprio, unico, genotipo e fenotipo e qualunque conoscenza generalizzabile ha dei limiti. Va intesa come utile o dannosa ai più, e tra costoro a chi più e a chi meno.

Per avere un'idea concreta dell'approssimazione della medicina basata sull'evidenza, basta considerare un indicatore di efficacia di un trattamento, il *Number Needed to Treat* (NNT). L'NNT indica il numero di persone da trattare per un tempo dato per prevenire (o ritardare) un evento patologico, predefinito come obiettivo specifico (*end-point*) dello studio. Spesso è necessario trattare molte decine di pazienti per ottenere il risultato desiderato in uno. Anche per questa ragione nei trial è consueta l'analisi di sottogruppi di pazienti identificabili per avere o non avere una o poche caratteristiche (genere, età, presenza o no di una o più comorbidità, ecc.) considerate rilevanti nel determinare profili clinici (fenotipi) distinti. La debolezza di queste analisi sta nella perdita di potenza statistica legata alla frammentazione della popolazione studiata.

---

<sup>5</sup> Vedi nota 3.

Da qui la necessità di aumentare (a molte migliaia) le persone arruolate e allungare i tempi degli studi per irrobustirne la potenza statistica (sostanzialmente disporre di più eventi osservati) e possibilmente globalizzare l'area etnica e geografica considerata per allargarne l'uso. I trial di fase 3 (mortalità-morbidity) durano in media 5-10 anni ed è frequente scoprire alla fine... che non si è scoperto nulla. In questi megatrial internazionali il costo medio per paziente (che abbia beneficiato o no della terapia testata) è di circa 50.000 dollari.<sup>6</sup>

Nel mondo medico-scientifico c'è sostanziale condivisione sul fatto che struttura organizzativa ed efficienza dei trial vadano migliorate, i disegni debbano essere resi più flessibili per adattarli alla realtà clinica e migliorare l'efficienza analitica, tempi e costi debbano essere ridotti. Pochissimi trial di popolazione vengono effettuati con fondi pubblici. Il problema della sostenibilità dei costi finisce per limitare la fattibilità dei trial a poche aziende che li intraprendono solo se promettono ritorni economici ragionevolmente certi e rapidi. Il *medical research-industrial complex* è il grande attore dei trial terapeutici. Con questa impostazione, larga parte dei quesiti clinici pratici economicamente poco rilevanti o non standardizzabili/brevettabili è condannata a restare senza risposta.

## **L'evoluzione in corso della ricerca clinica: Digital Health e genetica**

I motori principali che hanno accelerato l'evoluzione recente della ricerca clinica sono stati sia la consapevolezza dei limiti accennati sopra, sia l'evidente ritardo col quale il mondo sanitario internazionale stava elaborando principi e utilizzando applicazioni della digitalizzazione. Nel 2000 il 25% di tutta l'informazione mondiale era digitale, nel 2013 lo era

---

<sup>6</sup> Collier R., "Rapidly rising clinical trial costs worry researchers", *CMAJ*, 2009; 180 (3): 277-278.

il 98%. Quindi anche la Digital Health - termine dal significato vasto - che riguarda le tecnologie informatiche applicate alla raccolta, condivisione e gestione dei dati di salute pubblica e le iniziative per migliorarla - è diventata un obiettivo di alta priorità in numerosi Paesi. La possibilità di interconnessione in grandi reti di molte unità cliniche, di medici, e potenzialmente di decine di migliaia fino a milioni di soggetti dotati di *smartphone* in osservazione (ammalati o no) può snellire, rendere più efficienti e meno costosi l'arruolamento e la conduzione di trial clinici, anche offrendo la possibilità di maggiore completezza, accuratezza e verificabilità dei dati e generalizzabilità dei risultati.

Ma nuovi modelli di disegno di studi clinici sono stati formulati e testati. Uno di questi ha disegno "adattativo", che è sostanzialmente opposto a quello convenzionale, e ha lo scopo fondamentale di rendere flessibili gli studi adattandoli agli obiettivi specifici e gestendoli, fino a modificarne il disegno nel corso del trial. La libertà d'azione di chi conduce lo studio (aziende incluse) può esporre a rischi tecnici, statistici e etici, che vanno considerati molto seriamente. Molti altri disegni di trial con caratteristiche tecniche specifiche vengono utilizzati. Com'è noto, l'entrata nello scenario clinico della genetica sta radicalmente modificando la storia di alcune gravi malattie, potenzialmente mutandone del tutto l'evoluzione clinica. Il cancro è una di queste. In un articolo su *JAMA Oncology* nel 2015, il direttore dei National Institutes of Health scriveva che la nosografia dell'oncologia era in ricomposizione secondo una classificazione genetica anziché topografica (sede di origine del tumore, del seno, del polmone ecc.) o istologica (caratteristiche microscopiche/istochimiche del tessuto tumorale), affermando che nel 96% dei tumori può essere identificata un'alterazione genetica potenzialmente causale e che nell'85% dei

pazienti un trattamento eziologico potenzialmente efficace può essere rinvenuto tra i farmaci esistenti.<sup>7</sup>

Si noti che qui si parla di genotipo del tessuto tumorale, non di genotipo del paziente. Nella ricerca clinica possono così essere raggruppati pazienti con genotipo neoplastico simile, piuttosto che con lo stesso fenotipo tumorale.

Un ulteriore passo avanti si sta compiendo con l'uso sperimentale di biomarcatori individuali costituiti dall'identificazione del DNA tumorale circolante nel sangue (quindi con tecniche non invasive e non radianti) in particolare nella diagnosi precoce, in casi di varianti resistenti alla terapia o di tumori eterogenei.<sup>8</sup>

## **L'incorporazione della ricerca osservazionale**

Al di là di specifiche innovazioni metodologiche, il processo fondamentale in corso è l'affinamento e la penetrazione profonda della ricerca osservazionale nel tessuto complessivo della ricerca e della pratica clinica. Considerata per lungo tempo una faticosa ricerca minore, unicamente descrittiva, la ricerca osservazionale è esplosa negli ultimi anni. Due sono le direttrici principali lungo le quali si è mossa.

**1** L'impostazione di *Registri* longitudinali di lungo termine orientati a specifici obiettivi. L'US National Committee of Vital and Health Statistics definisce un registro clinico come "*an organized system for the collection, storage, retrieval, analysis, and dissemination of information on individual persons who have either a particular disease, a condition that*

---

<sup>7</sup> Ross J.S., *et al.*, "Comprehensive Genomic Profiling of Carcinoma of Unknown Primary Site: New Routes to Targeted Therapies", *JAMA Oncol*, 2015; 1: 40-49.

<sup>8</sup> Corcoran R.B., Chabner B.A., "Application of Cell-free DNA Analysis to Cancer Treatment", *N Engl J Med*, 2018; 379: 1754-1765.

*predisposes to the occurrence of a health-related event (a risk factor), or prior exposure to substances (or circumstances) known or suspected to cause adverse health effects*". Recenti prese di posizione di Società medico-scientifiche nordamericane e della Società Europea di Cardiologia<sup>9,10,11</sup> hanno formalizzato i registri come l'ossatura portante dei sistemi sanitari e il riferimento centrale per analizzare in tempo reale l'epidemiologia clinica delle aree in osservazione.

**2** L'implementazione del sistema noto come Electronic Health Recording (EHR), costituito da una rete capillare informatica di raccolta sistematica di dati sanitari prodotti durante l'attività quotidiana, ordinata in sub-aree, clinica, amministrativa, gestionale, tecnologica ecc., fluidamente interoperabili. In pratica un osservatorio analitico, comprensivo e dinamico del mondo sanitario in essere.

Oggi il Paese più impegnato nella implementazione dell'EHR e della ricerca osservazionale come fonte di conoscenza scientifica e piattaforma del Sistema Sanitario Nazionale sono gli USA. Qui l'EHR è un progetto federale iniziato 10 anni fa, costato finora circa 60 miliardi di dollari spesi per la digitalizzazione del sistema sanitario pubblico (Medicare, Medicaid, Pentagono e Veterans), che dovrebbe concludersi nel 2018. Concludere significa che tutte le strutture sanitarie pubbliche di tutti gli Stati sono operativamente collegate al sistema e la struttura implementata risponde a criteri verificati di *meaningfulness*. Questo termine è definito, significa che i dati sono corretti, completi e applicabili per migliorare le cure

---

<sup>9</sup> Bhatt D.L., *et al.*, "ACC/AHA/STS Statement on the Future of Registries and the Performance Measurement Enterprise. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Performance Measures and the Society of Thoracic Surgeons", *J Am Coll Cardiol*, 2015; 66: 2230-2245.

<sup>10</sup> Windle J.R., *et al.*, "2016 ACC/ASE/ASNC/HRS/SCAI Health Policy Statement on Integrating the Healthcare Enterprise", *J Am Coll Cardiol*, 2016; 68: 1348-1364.

<sup>11</sup> Cowie M.R., *et al.*, "e-Health: a position statement of the European Society of Cardiology", *Eur Heart J*, 2016; 37: 63-66.

mediche, che le iniziative intraprese hanno *value* - definito come risultati clinici ottenuti per dollaro speso - e i dati sono utilizzabili anche per misurazioni di performance di operatori e di strutture operative. Ciò è cogente per la erogazione di supporti economici federali.

In effetti i network si stanno realizzando in USA. Il Patient Centered Outcome Research network (PCORnet) include a tutt'oggi oltre 100 milioni di americani.<sup>12</sup> Ma il punto chiave del progetto è l'aver intuito che il sistema doveva essere permeato dall'inizio e sempre verificato e guidato dalla ricerca scientifica.<sup>13</sup> Ad oggi oltre 30 miliardi di dollari sono stati erogati ai National Institutes of Health (NIH) per compiere ricerca scientifica sui dati prodotti. In parallelo al percorso della ricerca osservazionale, si sta sviluppando una forte linea di ricerca della statistica medica internazionale finalizzata a suggerire nuovi approcci sia nei disegni degli studi che nell'analisi dei dati per potere estrarre informazioni solide anche su terreni notoriamente vietati alla ricerca osservazionale, ad esempio i nessi di causalità tra trattamenti e eventi clinici.

In pratica, cosa ci si aspetta da questa raccolta sistematica e ordinata dei dati clinici del mondo reale?

- 1. Una trasformazione radicale della epidemiologia (di popolazioni, di malattie, farmacologica, tecnologica, dei costi, ecc.) condotta in tempo reale;*
- 2. una mappatura aggiornata e dinamica dei bisogni di salute soddisfatti e insoddisfatti nel Paese;*

---

<sup>12</sup> Fiuzat M., Califf R.M., "The US Food and Drug Administration and the future of cardiovascular medicine", *JAMA Cardiol*, 2016; 1: 950-952.

<sup>13</sup> Califf R.M., "The new era of clinical research: using data for multiple purposes", *Am Heart J*, 2014; 168: 133-134.

3. *un monitoraggio agevole e a basso costo di segnali biologici raccolti da dispositivi semplici e portabili con sensori che registrano segnali biologici importanti (come pressione arteriosa, glicemia, saturazione dell'emoglobina in ossigeno, sudorazione, attività fisica) o con sensori di variabili fisiologiche più complesse, elettriche quali l'elettrocardiogramma e l'elettroencefalogramma, acustiche (collegando lo smartphone a uno stetoscopio digitale), di imaging prevalentemente ecografiche rilevabili da qualunque parte del corpo, esternamente o internamente (ad esempio sensori ingeribili);*
4. *una continua verifica e riconfigurazione dei sistemi di cure ospedaliere in rapporto al variare dell'epidemiologia (e quindi dei bisogni);*
5. *un aumento esponenziale della fattibilità e abbattimento dei costi della ricerca clinica;*
6. *infine, risultato ultimo e centrale, un governo documentato e competente della salute pubblica, ovvero un Sistema Sanitario intelligente o Learning Health System, che usa l'health information technology strutturata a sistema per applicare individualmente la evidenza clinica, simultaneamente acquisendo e elaborando nuovi dati clinici e conoscenza scientifica per innovare la qualità del servizio clinico.<sup>14</sup>*

Va detto che, nonostante questo massiccio impegno durato un decennio, nell'insieme il progetto statunitense è lontano dall'essere concluso. Già nel piano erano previste sanzioni, stimate in mezzo miliardo di dollari da erogare dal 2018 al 2020, per gli insuccessi locali attesi. Durante il corso dell'implementazione sono stati effettuati numerose verifiche su come il

---

<sup>14</sup> Bhavnani S.P., et al., "2017 Roadmap for Innovation - ACC Health Policy Statement on Healthcare Transformation in the Era of Digital Health, Big Data, and Precision Health. A Report of the American College of Cardiology Task Force on Health Policy Statements and Systems of Care", *J Am Coll Cardiol*, 2017; 70: 2696-2718.

programma procedeva. Nei primi anni la risposta del personale è stata disastrosa: il 90% circa del personale tecnico-infermieristico era molto insoddisfatto. Altrettanto i medici, circa due terzi dei quali dichiaravano di avere considerato seriamente di cambiare professione. La maggior parte degli operatori condivideva gli obiettivi ma non tempi e modi di implementazione. Tutte le Società medico-scientifiche presero posizioni anche dure al riguardo. Indagini attuali mostrano sensibili miglioramenti. Comunque, in una riunione della Commissione senatoriale *ad hoc* dell'agosto 2018 si concludeva che, dopo avere speso complessivamente 38 miliardi di dollari (solo) in incentivi, i risultati operativi per la *clinical care* erano ancora insoddisfacenti.

Ciò è probabilmente vero, innanzitutto perché è troppo presto per disporre di dati solidi, validati e incorporabili nella pratica clinica, ma soprattutto perché manca ancora l'elaborazione concettuale che formuli criteri di qualità dei risultati osservazionali (per definizione non causali), che ne guidi l'incorporazione nella cultura medica corrente e ne giustifichi l'uso nelle raccomandazioni di percorso clinico. Alcuni dei possibili limiti da prendere in considerazione per impostare una incorporazione sistematica funzionale della intera documentazione sanitaria (incluse le cartelle cliniche) e quindi dell'archiviazione di dati usabili e interoperabili sono riassunti in tabella 1.

La ricerca scientifica invece ha subito un impatto profondo e, come ho accennato, sta cambiando metodologia e offrendo dati essenziali per la comprensione del mondo sanitario reale. Ma soprattutto sta guidando la ricerca clinica dalla medicina basata sulle evidenze (per lo più arbitrariamente generalizzate) verso la medicina di precisione.

**Tabella 1.** Possibili limiti dei Sistemi di Registrazione Digitale sistematica dei dati sanitari (Electronic Health Recording system).

---

Diluvio incontrollato di informazioni
Incompletezza di registrazione dei dati richiesti (missing)
Insieme dei dati richiesti (data set) troppo "semplificato" per ragioni di fattibilità o non aggiornato
Verifica di qualità dei dati insufficiente
Fonti dei dati (setting) non rigorosamente definito
Accesso ai dati gestito "amministrativamente" (poco fruibile scientificamente)
Creazione di patologie "calcolate" (computable phenotypes) non verificate adeguatamente nella pratica clinica
Frammentazioni di malattie note in fenotipi non clinicamente significativi o, viceversa, aggregazione di patologie diverse in base ad alcune somiglianze fenotipiche
Inflazione di dati genomici (e altri) in un contesto culturale impreparato a interpretarli
Attribuzione di valore causale a mutazioni geniche che non l'hanno e "creazione" di farmaci per target irrilevanti

---

## **Verso la medicina individuale o di precisione**

Qualcuno definisce la medicina standard corrente (basata sulle evidenze) "medicina di imprecisione"; classifica il meglio di oggi come "medicina individualizzata" e quella che si sta cercando di forgiare "medicina individuale o di precisione".<sup>15</sup>

Dei limiti della *medicina basata sull'evidenza* si è già detto. La *medicina individualizzata* impone una caratterizzazione precisa del fenotipo individuale demografico, fisiopatologico e clinico, che includa tutti i fattori noti capaci di modificare il profilo clinico e gli effetti delle terapie (inclusi biomarcatori, comorbidità, risposte pregresse ai farmaci, stato cognitivo,

---

<sup>15</sup> Bayes-Genis A., "Transitioning from usual care to biomarker-based personalized and precision medicine in heart failure: call for action", *Eur Heart J*, 2018; 39: 2793-2799.

situazione ambientale/sociale, ecc). In altre parole usare al meglio quello di cui si dispone per caratterizzare un paziente prima di porre una diagnosi (la più specifica possibile) e conseguentemente una terapia che abbia un razionale definito. Questo rappresenta l'optimum, non la situazione media corrente. La *medicina di precisione* va oltre. Sarà quella che si va configurando con la tecnologia crescente, il bacino di esperienza condivisa di tipo osservazionale (Registri+EHR), integrata con la metodologia della ricerca definendo e testando continuamente percorsi preventivi, diagnostici e terapeutici, saldando tra loro ricerca fisiopatologica e ricerca clinica (in laboratorio e al letto del malato, con scambio bi-direzionale). La medicina evoluta di oggi si sta muovendo dal primo al secondo stadio, mentre il terzo è del tutto sperimentale e richiederà decenni.

Ecco alcuni esempi di questa transizione. Una potente fonte di informazione e di caratterizzazione di stati patologici è costituita dai biomarcatori, sui quali è focalizzata l'attenzione di molti ricercatori. Sono molecole circolanti col sangue, generate da processi patologici dei quali possono essere semplici testimoni non patogeni o attori patogeni corresponsabili degli effetti della malattia. Nel primo caso possono essere utili per svelarne la presenza e segnalarne il meccanismo, nel secondo possono diventare oggetto di terapia. Ogni malattia può avere una costellazione di biomarcatori più o meno specifici e rilevanti. Ne vengono continuamente segnalati di nuovi. Molte malattie complesse sono state identificate e catalogate in base a criteri unificanti troppo semplici. In realtà è sempre più chiaro che si tratta di insiemi all'interno dei quali esistono fenotipi diversi, con un substrato fisiopatologico proprio, che rispondono a linee terapeutiche non o poco condivise da altri fenotipi classificati con la stessa malattia.

Da qui l'elevato *Number Needed to Treat*, cui si è accennato inizialmente, e l'esperienza quotidiana dei medici che non riscontrano gli stessi benefici

in pazienti apparentemente simili trattati con gli stessi farmaci raccomandati dalla Linee Guida perché dimostrati efficaci in studi nei quali hanno prodotto evidenze di beneficio. EHR+Registri stanno costituendo bacini di dati e di casi clinici (Big Data) sui quali possono esercitare le loro capacità analitiche potenti computer dotati di capacità cognitive, capaci cioè di orientare e affinare le loro analisi in rapporto al successo o insuccesso di analisi precedenti, alla ricerca di soggetti a profilo di rischio o ammalati non diagnosticati appartenenti a fenotipi patologici noti ma rari. Un'altra opportunità consiste nell'individuazione dei cosiddetti fenotipi "calcolabili" (*computable*), aggregati di sintomi/ segni clinici e dati strumentali che la statistica valuta più frequenti di quanto atteso dalla casualità, segnalandoli come potenziali pazienti con "malattie non individuate". Si tratta di metodi e strumenti di intelligenza artificiale che presto o tardi (speriamo non troppo) entreranno nella routine clinica.

Un'interessante iniziativa dei National Institutes of Health statunitensi si inserisce in un filone diverso, già operativo, che riguarda i casi clinici irrisolti. L'Undiagnosed Disease Program (UDN) è stato attivato dagli NIH da circa 10 anni come programma consistente nella accettazione di 150 pazienti ogni anno, studiati a fondo altrove ma non diagnosticati, per reimpostare il problema diagnostico e possibilmente risolverlo. Tre anni fa gli NIH hanno allargato ad altri 7 istituti clinici il programma con l'intento di includere complessivamente 500 casi clinici irrisolti l'anno. Il network esteso, attivo dal 2017, è dotato di un centro screening, due laboratori di genotipizzazione, un biorepository e un centro di metabolomica. Nei primi 20 mesi di attività, 1.519 pazienti (53% femmine) sono stati sottoposti all'UDN, il 40% è stato accettato, nel 35% di costoro è stata definita una diagnosi certa, in tre quarti dei casi su base genetica. Sono state identificate 31 nuove sindromi. I casi risolti verranno immessi nel sistema

EHR alla ricerca di altri casi simili. I risultati sono stati pubblicati nell'ottobre 2018.<sup>16</sup>

Un'ulteriore iniziativa, ancora degli NIH, prevede che rare varianti di 100 *loci* genici vengano incorporati nel database EHR e confrontati con casi già inclusi, per lo più non diagnosticati. Centinaia di varianti di studi simili sono in corso in vari Paesi del mondo.

Gli esempi citati riguardano la diagnostica clinica, ma molto più estesa è l'area di raccolta di segnali biologici per monitoraggio specifico (in soggetti a rischio) o generale epidemiologico che rientrano nella *mobile Health* (mHealth). Lo strumento base è ovviamente lo *smartphone*, utilizzato quotidianamente da oltre 3 miliardi di cittadini del mondo,<sup>17</sup> con le sue health app (oggi circa 160.000 sul mercato), che possono raccogliere e inviare informazioni e registrare segnali biologici semplici o complessi già citati in precedenza. In pazienti con malattie e rischi specifici, possono venire impiantati piccoli apparecchi per lo più con funzioni terapeutiche che contengono sensori aggiuntivi in grado di monitorare e prevenire acutizzazioni o recidive mediante tempestive terapie appropriate.

Nel contesto sommariamente accennato, è ovvio che la genetica assumerà una rilevanza particolare. Sempre negli Stati Uniti, che per comodità abbiamo scelto come riferimento (i Paesi europei sono molto diversi tra loro sotto il profilo sanitario e scientifico), sono in corso tre programmi federali (*All of Us, the Cancer Moonshot, the Million Veterans Program*), tarati per arruolare un milione di soggetti ciascuno, disponibili al sequenziamento del loro genoma. Altri altrettanto numerosi sono orientati verso la prevenzione (*Million Hearts 2022, EHR Optimization*

---

<sup>16</sup> Splinter K., *et al.*, "Effect of Genetic Diagnosis on Patients with Previously Undiagnosed Disease", DOI: 10.1056/NEJMoa1714458.

<sup>17</sup> Topol E.J., *et al.*, "Digital Medical Tools and Sensors", *JAMA*, 2015; 313: 353-354.

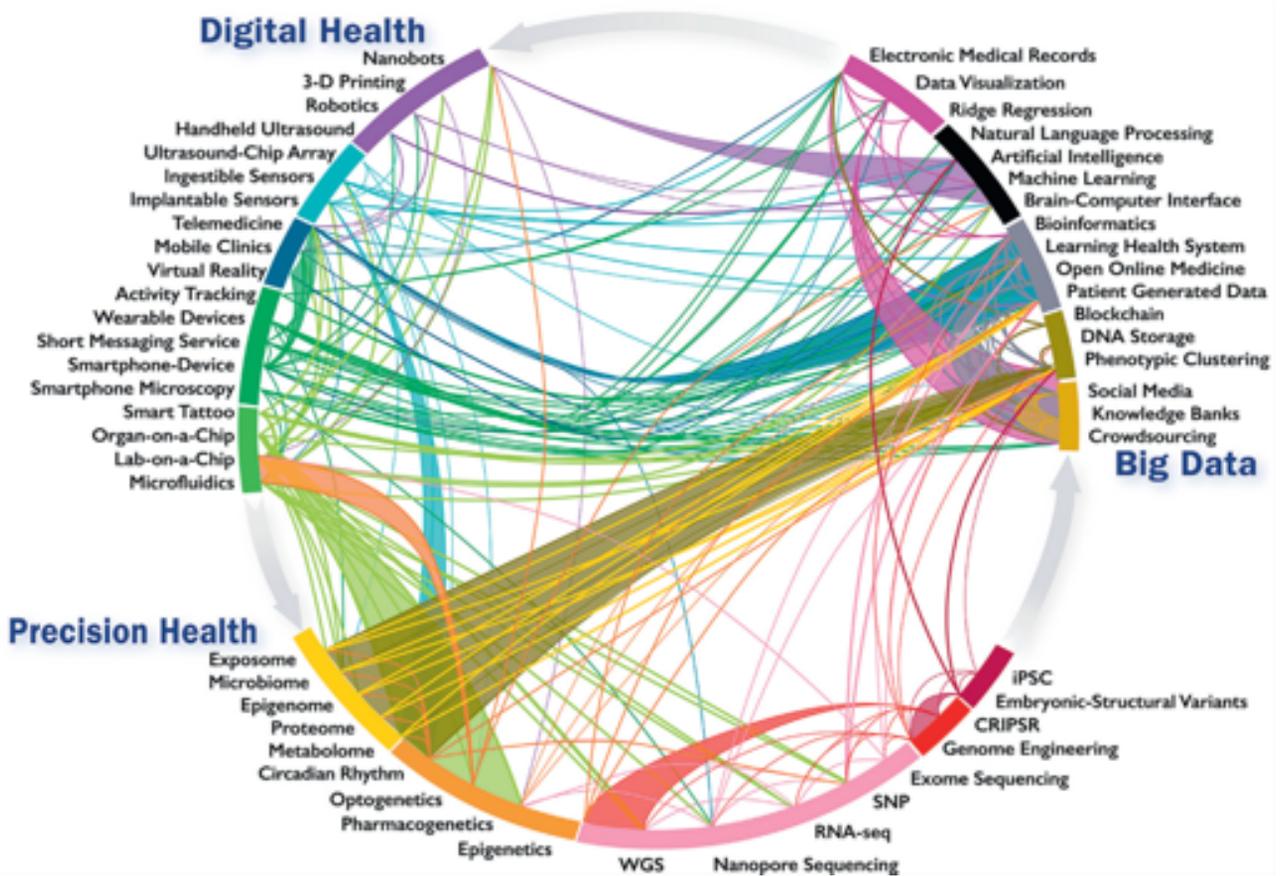
*Guides*). In molti altri Paesi, incluso il nostro, sono in corso programmi simili, anche se quantitativamente meno ambiziosi. Di fatto, anche al di fuori di programmi pubblici, in alcuni Paesi la pratica (e il mercato) della genotipizzazione è in crescita esponenziale, facilitata dalla riduzione dei costi del sequenziamento (poche centinaia di euro) e la promozione diretta ai consumatori. Purtroppo non accelera proporzionalmente la capacità interpretativa dei risultati e si rischia un'inflazione di dati genomici in un contesto culturale impreparato a interpretarli, con una dilatazione potenziale dell'inappropriatezza e delle ambiguità interpretative. E, effetto paradossale, con un crescere dell'incertezza medica parallela al crescere della conoscenza.

Un quadro concreto e prospettico della medicina di precisione è stato delineato in un recente documento dell'American College of Cardiology.<sup>18</sup> Il documento propone un modello comprensivo e interattivo delle forze tecnologiche e intellettuali finalizzato alla ricerca e alla pratica clinica schematizzato nella Figura 1. Va sottolineato che non si tratta di una lista figurata e colorata di potenziali sorgenti di dati, ma di un quadro sinottico basato su una conoscenza profonda, integrata sui fronti tecnologico e clinico senza mai perdere di vista l'obiettivo ultimo, il paziente. I tre aspetti cardine per la costruzione del sistema, specificati nel disegno, sono la Digital Health, i Big Data e la Sanità di Precisione.

---

<sup>18</sup> "Statement on Healthcare transformation in the era of Digital Health, Big Data and Precision Health" - *Task Force on Health Policy Statements and Systems of Care, American College of Cardiology Circulation*, 2017; 135: e826-e857.

**Figura 1.** Infografica di innovazioni e sviluppi emergenti nella salute digitale, big data e medicina di precisione: intra- e interconnessioni (Credit: Statement on Healthcare transformation in the era of Digital Health, Big Data and Precision Health).



La prima (*Digital Health*) pone in particolare rilievo la molteplicità crescente dei sensori di segnali biologici rilevabili da sensori portabili nella vita normale e il loro monitoraggio remoto (mHealth).

Il secondo (*Big Data*) punta sulla diffusione della registrazione elettronica di dati di interesse per la salute individuale e pubblica (EHR) soprattutto legata all'attività ospedaliera, all'uso universale di *smartphone*, all'accesso gradualmente più agevole a fonti diverse di informazione

sanitaria e alla disponibilità crescente degli utenti a fornire dati che li riguardano per uso scientifico anche nel lungo periodo.

Il terzo (*Precision Health*) si basa sulle tante, nuove fonti di conoscenza della fisiologia e della fisiopatologia del corpo umano che possono caratterizzare un soggetto, dargli una identità biologica anche contestuale e mutevole col mutare delle condizioni di salute o di malattia, generando fenotipi la cui riconoscibilità in termini di profili di rischio di malattia potrebbe forse consentire di prevenirle se questa fragilità prospettica venisse riconosciuta per tempo, o in termini specifici di malattia in corso che potrebbe consentire di intervenire con terapie eziologiche mirate. Non entriamo per ovvie ragioni nel dettaglio concettuale e operativo del sistema rappresentato in figura, che verrà costantemente aggiornato, ma oggi costituisce un'ancora di razionalità per la completezza degli strumenti tecnologici considerati e lo scopo esplicito: la salute pubblica come bene primario.

A questo proposito, nell'abbozzo narrativo riguardante la medicina di precisione esposto sopra, può essere individuata una potenziale contraddizione tra lo sforzo di approfondimento e di genotipizzazione individuale in corso concettualizzato prevalentemente in termini biologici e genetici - e le strategie di salute pubblica che partono invece dalle popolazioni, considerandone fattori più strutturali come età, sesso, etnia, classi sociali ed economiche, fattori ambientali di lavoro e di vita ecc. prevalentemente concettualizzati in termini semplificativi (sotto il profilo biologico e classificativo) e statistici. In realtà, se cultura e risorse non mancassero i due approcci dovrebbero funzionare come strettamente complementari. Purtroppo l'una, l'altra o entrambe le condizioni preliminari spesso mancano.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Chowkwanyun M., *et al.*, "Precision" Public Health - Between Novelty and Hype", *N Engl J Med*, 2018; 379: 1398-1400.

## La situazione in Italia

Negli ultimi decenni in alcune aree della medicina il nostro Paese ha dato contributi scientifici rilevanti. Oggi, la rivoluzione digitale sta cambiando strutture di ricerca e modi di usarle ma, in particolare nell'ambito clinico, la piattaforma operativa non può prescindere dall'elaborazione di una strategia che conosca i bisogni e le tendenze della salute pubblica, faccia scelte di merito non solo tecnologico-amministrativo e, tenendo conto delle risorse disponibili, le persegua con slancio, rigore e trasparenza. Tutto questo avendo preliminarmente chiaro in mente che il diritto alla salute è un bene prioritario e la ricerca scientifica ne è il motore. In mancanza di questi presupposti, il resto crollerà. Ed è proprio quello che rischia di accadere in Italia.

A parte il giudizio complessivo sulla sanità da parte dei cittadini, che la percepiscono anche peggiore di quanto non sia, mi riferisco in particolare a un aspetto critico per la ricerca clinica: il progetto Sanità Digitale. Ovvero la capillarizzazione informatica del Paese per le attività sanitarie.

Il Patto per la Sanità Digitale, inserito nel piano 2014-16, insistentemente evocato come rivoluzionario, sembrava dovesse costituire un atto di risveglio, una sterzata innovativa in un sistema sanitario eterogeneo (geograficamente e amministrativamente) e quiescente. Tuttavia, i macrobiettivi del progetto sembrano di per sé limitati e generici. Li riproduciamo testualmente, con un nostro commento in corsivo:

---

“Sperimentare soluzioni finalizzate a un rafforzamento del sistema sanitario a saldo zero”.

*Quindi non si prevedono investimenti ad hoc, ma spostamento di risorse da altre destinazioni.*

---

“Misurare la sanità in termini di appropriatezza, efficienza ed efficacia per garantire che i livelli essenziali di assistenza (LEA) siano erogati in condizioni di equilibrio economico”.

*Quindi si punta su quello che non si può non fare e ci si propone di farlo col minimo della spesa necessaria (di qualità non si parla).*

---

“Sviluppare un servizio sanitario fortemente attrattivo e competitivo, anche a livello internazionale... attirare utenti di altre nazioni UE e/o extra UE”.

*Attendarsi il raggiungimento di questo obiettivo applicando i primi due sembra opinabile.*

Il documento venne inviato alla Conferenza Stato-Regioni nel maggio 2015, vi restò per oltre un anno e ne uscì approvato nel luglio 2016, con un'unica variazione sostanziale: il concetto di partnership pubblico-privato, esplicito e sottolineato nel documento presentato, venne di fatto eliminato caricando interamente il sistema pubblico dell'onere dei costi.

Nel documento, il coordinamento operativo dell'intero sistema è affidato a una cabina di regia, costituita da un rappresentante del Ministero dello sviluppo economico, uno dell'AIFA, uno della Federazione nazionale degli Ordini dei Medici, uno della Federazione degli Ordini dei farmacisti, uno della Federazione Collegi infermieri, uno dell'Associazione Nazionale Comuni Italiani e un rappresentante della Consip. Questo lungo elenco di membri della Cabina ha il fine di mettere in evidenza chi non c'è: rappresentanti della scienza medica. La cabina di regia dovrebbe “attivare appositi Tavoli tecnici - definendone la composizione (“referenti designati dalle Amministrazioni centrali e regionali, garantendo la rappresentatività di tutte le Regioni e Province Autonome”, quindi tavoloni di funzionari) - che avrebbero funzioni di supporto alla “progettazione, monitoraggio,

studio e analisi” (cioè a tutto). Quindi anche nei tavoli tecnici la scienza medica è ignorata. Il documento tuttavia precisa che “qualora si rendesse necessaria un’alta professionalità non disponibile nella cabina di regia, potranno costituirsi gruppi di lavoro tematici in condivisione con tutti gli stakeholder interessati (altri tavoloni verosimilmente simili ai precedenti) ed esteso - su chiamata specifica - alla partecipazione di Istituzioni e ricercatori di chiara fama” (eccola la scienza medica! Su chiamata specifica e, naturalmente, di personaggi “di chiara fama”). Questo l’unico cenno che compare nel documento riguardo a competenze medico-scientifiche, confermandone l’assenza strutturale.

Mantenendo il filo comparativo tra il progetto statunitense di digitalizzazione del Sistema Sanitario pubblico e quello italiano rappresentato dal progetto Sanità Digitale, la sintesi potrebbe essere la seguente:

Il progetto federale statunitense vede la digitalizzazione universale, uniforme e interoperabile del Sistema Sanitario pubblico come una priorità sociale e vi investe molte risorse. Vede nella moltiplicazione e riordino sistematico di dati clinici una opportunità di rilancio della ricerca scientifica clinica pubblica, la finanzia e la valorizza anche perché la ritiene uno strumento essenziale per il buon governo della sanità. Lo slogan è: *An Evidence Based Generation System* (basato sulla produzione scientifica) *to Support a Learning Health System* (Sistema sanitario intelligente).

Il progetto italiano “Sanità digitale” sembra invece mirare all’informatizzazione del Sistema Sanitario Nazionale, ottenuta senza investimenti dedicati (saldo zero) e vista come strumento per una gestione più efficiente e meno costosa della Sanità, focalizzando primariamente le prestazioni essenziali. Medici e strutture di ricerca clinica di fatto appaiono marginalizzati o esclusi, comunque senza ruolo

strutturale e risorse specifiche. La produzione scientifica non è considerata né come fattore implementante né come un obiettivo. Semplicemente, non è considerata. Sembra mancare il concetto fondamentale che la *governance* del Sistema Sanitario passa necessariamente dalla conoscenza contestuale, cioè dalla raccolta, elaborazione e interpretazione professionale dei dati (predefiniti) emergenti dai flussi operativi e quindi dalla ricerca scientifica applicata alla clinica.

Con queste premesse, il sistema italiano non pare essersi nemmeno avviato verso la costruzione di un *Learning Health System*.

## **I cambiamenti ambientali indotti dall'uomo e le sfide della ricerca**

di *Sandro Fuzzi, Maria Cristina Facchini, Vincenzo Balzani, Pier Mannuccio Mannucci, Riccardo Valentini*

Le attività dell'uomo stanno cambiando l'ambiente del nostro pianeta in modo profondo e in alcuni casi irreversibile. Questi cambiamenti sono dovuti non solo all'immissione di materiale inquinante nell'ambiente, ma anche ai cambiamenti nell'uso del territorio e alla conseguente perdita di *habitat* e riduzione della biodiversità. L'intervento umano sull'ambiente sta avvenendo a una velocità e a una scala spaziale così ampie da causare profondi cambiamenti dei processi dai quali dipendono il clima e la stessa vita sulla Terra. La ricerca scientifica ha consentito di fare chiarezza sullo stato critico in cui ci troviamo e di iniziare a elaborare possibili strategie di adattamento e mitigazione.<sup>1</sup>

### **Benvenuti nell'Antropocene**

*Homo sapiens* è presente sulla Terra da circa 200.000 anni, un tempo brevissimo se confrontato con l'età del nostro pianeta, ma con il crescente progredire delle capacità tecnologiche ha causato profondi cambiamenti dell'ambiente a livello globale. Peraltro, fino a tempi molto recenti le attività umane hanno contribuito in modo poco significativo ai cambiamenti dell'ambiente a livello globale, mentre da meno di due secoli a questa parte l'uomo ha iniziato a interferire con il funzionamento del Sistema Terra a una velocità che eccede di gran lunga quella dei processi naturali. L'entità, la scala spaziale e la velocità dei cambiamenti indotti dalle attività umane hanno raggiunto proporzioni mai verificatesi

---

<sup>1</sup> Fuzzi S., "Integriamo i saperi", *Sapere*, 2003; 69: 18-24.

in precedenza. I processi ambientali indotti dalle attività umane ora eguagliano o eccedono quelli naturali, la loro scala spaziale è ormai quella globale e la velocità con cui questi cambiamenti hanno luogo è dell'ordine dei decenni, rispetto a una scala temporale di millenni caratteristica dei cambiamenti naturali.<sup>2</sup> I cambiamenti dell'ambiente globale indotti dalle attività antropiche sono vari e sintetizzabili nei seguenti punti:

- *circa il 50% della superficie terrestre è stata trasformato dalle attività umane, con pesanti conseguenze per la biodiversità, i cicli dei nutrienti, la struttura e biologia del suolo e il clima;*
- *più di metà delle riserve di acqua dolce vengono usate direttamente o indirettamente, dall'uomo, e le riserve acquifere sotterranee sono già state esaurite in molte aree del pianeta;*
- *la concentrazione di gas a effetto serra in atmosfera nell'ultimo secolo è cresciuta in modo esponenziale e ha raggiunto il livello più elevato degli ultimi 800.000 anni portando al riscaldamento del clima della Terra;*
- *gli habitat marini e costieri sono stati alterati in modo sostanziale e le zone umide si sono ridotte della metà;*

---

<sup>2</sup> La Terra è un sistema chiuso dal punto di vista della materia. Infatti, con alcune trascurabili eccezioni, tutti gli atomi che sono presenti nelle fasi gassosa, liquida e solida del sistema, inclusi quelli che costituiscono il nostro corpo e quello di tutte le specie viventi, sono parte del sistema da quando la Terra si è formata, all'incirca 4,5 miliardi di anni fa. In ogni sistema chiuso vale il principio di conservazione della massa, il quale prevede che l'intera massa di materia nel sistema debba essere conservata e possa solo subire processi di trasformazione e/o trasferimento da un comparto all'altro. L'intera massa degli oceani, ad esempio, è evaporata, ha prodotto precipitazioni ed è ritornata nell'oceano attraverso i fiumi molte migliaia di volte da quando esiste acqua sulla Terra. Ossigeno e azoto, i maggiori costituenti dell'atmosfera, sono continuamente riciclati nel sistema, principalmente per opera degli organismi viventi. Il "carburante" necessario per questi costanti processi di trasporto e trasformazione di materia nei vari comparti del sistema è l'energia che la Terra riceve dal Sole. Sulla naturale dinamica del sistema si sovrappongono le perturbazioni indotte dalle attività dell'uomo che, all'interno del sistema stesso, cambiano ulteriormente la distribuzione di materia fra un comparto e l'altro.

- *il 22% delle riserve ittiche conosciute è a rischio di estinzione, e un ulteriore 44% è al limite dello sfruttamento possibile;*
- *il livello di estinzione negli ecosistemi terrestri e marini sta rapidamente crescendo e la Terra si trova per la prima volta nella situazione in cui fenomeni di estinzione di molte specie viventi contemporaneamente sono causate dalle attività di una singola altra specie: quella umana.*

**Tabella 1.** Le principali attività umane responsabili dei cambiamenti globali nei diversi comparti e cicli del Sistema Terra e i bisogni della società e individuali che inducono tali cambiamenti. Questi bisogni sono a loro volta funzione di fattori sociali quali il mercato, le istituzioni, le legislazioni, i sistemi politici, i valori culturali.

Ecosistemi terrestri	Deforestazione (taglio delle foreste, incendi boschivi), attività agricole (p.es. preparazione dei suoli, uso di fertilizzanti, irrigazione, uso di anticrittogamici, selezione delle coltivazioni, ecc.), uso del territorio	Fabbisogno alimentare, fabbisogno abitativo, attività ricreative
Atmosfera	Uso di combustibili fossili, uso del territorio, attività industriali, deforestazione	Esigenze di mobilità, fabbisogno alimentare e di beni di consumo
Acque	Costruzione di bacini, sistemi di distribuzione, smaltimento rifiuti	Fabbisogno idrico per uso umano diretto, per irrigazione e per processi industriali
Ecosistemi marini e costieri	Uso del territorio, uso delle risorse idriche sotterranee, tecniche di pesca, trattamento degli scarichi civili e industriali, urbanizzazione	Fabbisogno alimentare, attività ricreative
Biodiversità	Distruzione di <i>habitat</i> , introduzione di specie alloctone	Fabbisogno alimentare, attività ricreative

Nei due secoli passati, sia la popolazione umana che la ricchezza economica complessiva a livello mondiale sono cresciute molto

rapidamente. Questi due fattori hanno accresciuto in modo rilevante il consumo di risorse naturali in settori quali l'agricoltura e la produzione alimentare in generale, lo sviluppo industriale, il commercio, la produzione di energia, la mobilità, l'urbanizzazione e finanche le attività ricreative. Circa sei miliardi di persone abitano oggi il pianeta e tutti hanno bisogni e necessità fondamentali quali acqua, cibo, abitazione, salute e lavoro. I modi nei quali questi bisogni basilari vengono soddisfatti determinano le conseguenze ambientali a livello globale (tabella 1 pagina precedente).

Nei Paesi sviluppati in particolare la ricchezza e la domanda di beni di consumo per la mobilità, le attività ricreative, le comunicazioni, ecc. stanno ponendo una sempre più forte pressione sulle risorse naturali a livello globale.

Solo nell'ultimo secolo il consumo di energia a livello globale è cresciuto di più di 16 volte, così come è cresciuto enormemente il consumo di materie prime. Mentre la popolazione mondiale è più che raddoppiata nella seconda metà del secolo scorso, la produzione di cereali nello stesso periodo è triplicata, la produzione di energia è quadruplicata e la produzione mondiale di beni di consumo è quintuplicata. Benché gran parte di questa accelerata attività economica e consumo energetico abbiano avuto luogo nei Paesi industrializzati, anche i Paesi in via di sviluppo stanno attualmente iniziando ad avere un impatto crescente sulla disponibilità di risorse e sull'ambiente globale. Molta parte dell'energia necessaria per le attività dell'uomo è derivata dai combustibili fossili e questo ha come effetto l'immissione in atmosfera di gas climalteranti quali il biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), altri gas inquinanti e polveri. L'industrializzazione ha portato grossi problemi di inquinamento dell'aria e delle acque dovuti alla produzione di materie prime, di beni di consumo e allo smaltimento dei rifiuti. Le sostanze chimiche in uso

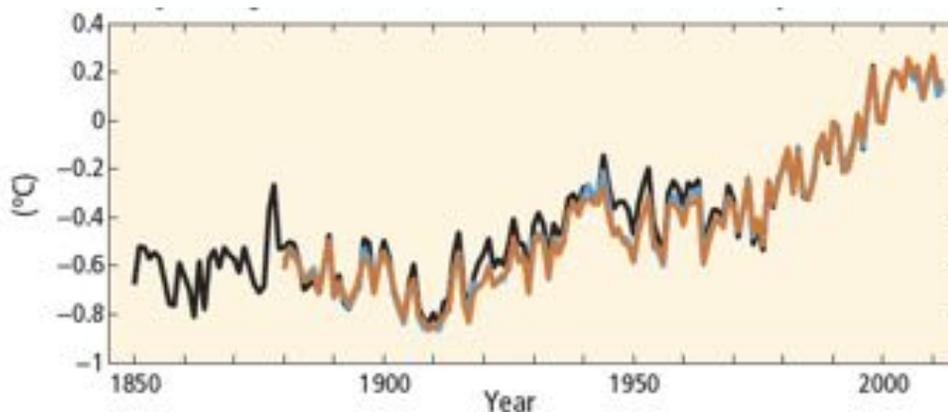
nell'industria sono oggi più di 100.000, un numero che sta comunque tuttora crescendo, e molte di queste possono avere rilevanti effetti sul funzionamento del Sistema Terra.

Per questo il Premio Nobel Paul Crutzen e il biologo Eugene Stoermer hanno suggerito che l'Olocene, l'era geologica iniziata con la fine dell'ultima glaciazione circa 12.000 anni fa, sia da considerarsi concluso e che la Terra sia entrata in una nuova era geologica che hanno proposto fosse chiamata Antropocene, per evidenziare il ruolo centrale dell'uomo nella geologia e nell'ecologia del pianeta.<sup>3</sup>

## Il cambiamento climatico

Il clima non può essere considerato come qualcosa di statico e invariabile, infatti può cambiare nel tempo anche in modo molto evidente, basti pensare all'alternanza fra periodi glaciali e interglaciali che si sono avuti sulla Terra negli ultimi tre milioni di anni, causati da piccole variazioni dell'orbita terrestre.

**Figura 1.** Andamento della temperatura media globale della Terra negli ultimi 150 anni rispetto alla media del periodo 1986-2005. I differenti colori del grafico si riferiscono a diversi set di dati utilizzati per costruire l'andamento (IPCC, 2014).



<sup>3</sup> Crutzen P.J., *Benvenuti nell'Antropocene*, 2005 Mondadori, Milano.

L'ultima glaciazione si è conclusa circa 12.000 anni fa e ci troviamo attualmente in una fase interglaciale che va sotto il nome di Olocene (dal greco "del tutto recente"). L'inizio di questa era geologica coincide con lo sviluppo delle prime civiltà.<sup>4</sup>

Venendo a tempi molto più recenti, non vi è dubbio alcuno che la temperatura della Terra sia aumentata notevolmente negli ultimi 150 anni, come mostrato in figura 1 alla pagina precedente. Questo aumento è particolarmente pronunciato a partire dall'inizio del XX secolo e ha subito un'ulteriore accelerazione a partire dal secondo dopoguerra.

Le emissioni di gas serra dall'inizio della rivoluzione industriale hanno portato a un aumento esponenziale della loro concentrazione in atmosfera. Fra il 1750 e il 2011 le emissioni antropiche del solo CO<sub>2</sub> sono state di circa 2.000 Gt (miliardi di tonnellate). Di queste circa il 45% è rimasto in atmosfera (circa 900 Gt), mentre il restante è stato rimosso dall'atmosfera e immagazzinato, in parti pressoché uguali, nella vegetazione e nell'oceano. Ciò che è ancora più importante, la metà delle emissioni cumulative di CO<sub>2</sub> dall'inizio della rivoluzione industriale a oggi ha avuto luogo negli ultimi quaranta anni. Questo ci fa intuitivamente

---

<sup>4</sup> Il "motore" del sistema climatico della Terra è il Sole. La superficie del pianeta riceve infatti energia dal Sole, principalmente sotto forma di radiazione visibile. Non tutta l'energia incidente viene però assorbita, e una parte è riflessa verso lo spazio dalla superficie terrestre e dalle nubi. La frazione di energia che viene riflessa è definita albedo. L'albedo terrestre è approssimativamente uguale a 0,3 (30% dell'energia incidente viene riflessa), ma varia in maniera sensibile in diverse aree del globo a seconda che si tratti di superfici nevose, foreste, aree urbane, oceano. La radiazione solare attraversa l'atmosfera, che è praticamente trasparente alla radiazione visibile, e la frazione che viene assorbita riscalda la superficie terrestre e l'oceano, che riemettono poi parte dell'energia sotto forma di radiazione infrarossa. La Terra raggiunge quindi una temperatura di equilibrio dove assorbimento (radiazione incidente - radiazione riflessa) ed emissione si bilanciano. In assenza di atmosfera, la temperatura di equilibrio radiativo della superficie terrestre sarebbe unicamente funzione della distanza della Terra dal Sole e dell'albedo terrestre, e pari a -18°C. Nell'atmosfera però sono presenti naturalmente alcuni gas come vapore acqueo, CO<sub>2</sub> e altri composti che assorbono una parte significativa della radiazione infrarossa emessa dalla Terra, il cosiddetto "effetto serra naturale". In conseguenza dell'effetto serra naturale, la temperatura media globale della Terra è di circa 15 °C, ben 33 °C in più della temperatura di equilibrio radiativo.

capire come l'accelerazione dell'aumento delle emissioni nelle ultime decadi costituisca il principale agente responsabile del riscaldamento climatico del pianeta. Con questa velocità di crescita delle emissioni, l'oceano e la vegetazione non sono in grado di rimuovere il biossido di carbonio come avveniva nei passati secoli e millenni, e questo ha determinato l'enorme crescita della sua concentrazione in atmosfera dando luogo al cosiddetto effetto serra antropico.<sup>5</sup>

Tutte le attività umane comportano infatti l'emissione di gas serra e la figura 2 mostra il contributo dei vari settori economici alle emissioni globali, che nel 2010 hanno raggiunto 49 GtCO<sub>2eq</sub> per anno (miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalenti all'anno, la somma di tutti i gas serra espressi come CO<sub>2</sub>).

**Figura 2.** Contributo percentuale dei vari settori economici alle emissioni globali di gas serra.



### ***Gli effetti del riscaldamento del clima della Terra***

Gli effetti del riscaldamento del clima si possono riassumere schematicamente in funzione dei principali parametri climatici. Gli effetti riportati sono chiaramente valutati globalmente e possono differire, anche in misura sostanziale, a seconda delle diverse aree del pianeta.

<sup>5</sup> Mann M.E. e Toles T., *La Terra brucia*, 2017 Hoepli, Milano.

- *L'aumento della temperatura sta già influenzando negativamente le rese in agricoltura ponendo in serio pericolo la disponibilità di risorse alimentari. Allo stesso modo, l'aumento della temperatura dell'oceano sta influenzando sulla biodiversità marina influenzando, fra l'altro, le risorse ittiche. In un mondo più caldo aumentano inoltre le probabilità di incendi forestali. Infine, l'aumento della temperatura influenza anche la salute umana, si pensi ad esempio al numero anomalo di decessi causati in Europa dall'ondata di calore dell'estate 2003. Il riscaldamento climatico sta inoltre portando a un'alterazione del regime delle precipitazioni con effetti sulla disponibilità di risorse idriche e, ovviamente, sulla produzione agricola.*
- *L'innalzamento del livello del mare mette in pericolo le zone costiere di tutto il globo causando la sommersione di ampie aree, inondazioni e potenziali ondate migratorie dalle zone a rischio. Si calcola che un innalzamento di un metro del livello dei mari porterebbe a dovere ricollocare circa 190 milioni di persone su scala globale.*
- *Il progressivo scioglimento dei ghiacci sta mettendo in pericolo la disponibilità di acqua dolce, le cui riserve già stanno diminuendo. In conseguenza di ciò è purtroppo da mettere in conto anche il rischio di nuove guerre per l'accesso alle risorse idriche.<sup>6</sup>*
- *Lo scioglimento dei ghiacci contribuisce chiaramente anche all'innalzamento del livello del mare.*
- *Vi sono infine gli eventi estremi. Nella maggior parte del globo è cresciuta la frequenza delle ondate di calore. Mentre è cresciuta la frequenza di precipitazioni intense in determinate aree del globo, è anche aumentata l'estensione delle zone aride del pianeta. È inoltre aumentata la frequenza dei cicloni tropicali.*

---

<sup>6</sup> Mastrojeni G., Pasini A., *Effetto serra effetto guerra*, 2017 Chiarelettere, Milano.

## ***Il Comitato Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici e l'Accordo di Parigi***

Il Comitato Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (*Intergovernmental Panel on Climate change, IPCC*) è stato istituito nel 1988 dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) e dal Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UNEP) con il compito di fornire a tutti i governi periodici aggiornamenti sullo stato delle conoscenze riguardo i cambiamenti climatici associati alle attività antropiche, il loro impatto e le opzioni per l'adattamento e la mitigazione. Le politiche ambientali elaborate dai governi sui cambiamenti climatici utilizzano le basi scientifiche dei rapporti IPCC. Le azioni concrete per il contrasto al cambiamento climatico sono, infatti, compito della politica e dei governi e i rapporti IPCC sono formulati secondo il principio *policy relevant but not policy prescriptive*, rilevanti per le politiche ma non prescrittivi. È bene infatti ricordare che IPCC è composto da scienziati che si prestano volontariamente per sintetizzare la corposa letteratura scientifica del settore. Le politiche ambientali dei vari Paesi costituiscono poi la base per le negoziazioni nella Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC).

Nel 2013-2014 IPCC ha pubblicato il suo quinto rapporto.<sup>7,8</sup>

Dalle oltre 6.000 pagine del rapporto, basato sull'analisi di oltre 30.000 pubblicazioni scientifiche, emergono due conclusioni chiave:

*1. il riscaldamento del clima della Terra è inequivocabile;*

---

<sup>7</sup> Facchini M.C., Fuzzi S., "Il ponte del consenso e le cause del riscaldamento globale", *Sapere*, 2014; 80: 22-26.

<sup>8</sup> IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland.

*2. è evidente l'influenza delle attività umane sul sistema climatico e le attività umane sono la causa dominante del riscaldamento osservato dalla metà del XX secolo.*

Per più di venti anni i governi di tutto il mondo hanno dibattuto per trovare un accordo internazionale che potesse limitare gli effetti sull'ambiente e sulla società del riscaldamento del clima. I principali punti di disaccordo riguardavano criteri di equità fra i Paesi. Occorre infatti ricordare che i Paesi industrializzati sono responsabili di più del 50% delle emissioni di gas serra dall'inizio dell'era industriale a oggi e solo negli ultimi decenni le economie emergenti hanno iniziato a contribuire sostanzialmente alle emissioni globali di gas serra, con la Cina divenuta solo 6 anni fa il principale responsabile delle emissioni di gas serra (ca. 25% del totale mondiale), sorpassando gli Stati Uniti che erano stati fino ad allora i primi in questa non invidiabile graduatoria.

Finalmente, sotto la spinta dei risultati del 5° Rapporto IPCC, il 12 dicembre 2015, nell'ambito della XXI Sessione della UNFCCC, 196 Paesi, responsabili del 95% delle emissioni globali di gas serra, hanno approvato il documento finale denominato "Accordo di Parigi" che ha finalmente gettato le basi per un coordinamento delle politiche internazionali di contrasto al riscaldamento climatico.

Gli obiettivi principali dell'Accordo di Parigi sono:

- 1. mantenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto di 2 °C rispetto ai livelli preindustriali, e proseguire l'azione volta a limitare l'aumento di temperatura a 1,5 °C, riconoscendo che ciò potrebbe ridurre in modo significativo i rischi e gli effetti dei cambiamenti climatici;*
- 2. aumentare la capacità di adattamento agli effetti negativi dei cambiamenti climatici e promuovere lo sviluppo resiliente al clima e a*

*basse emissioni di gas ad effetto serra, di modo che non minacci la produzione alimentare;*

- 3. rendere i flussi finanziari coerenti con un percorso che conduca a uno sviluppo a basse emissioni di gas ad effetto serra e resiliente al clima.*

Al di là di alcune critiche, anche giustificate, sui limiti di questo accordo, non si può non valutare positivamente il consenso raggiunto, dopo un ventennio di tentativi falliti, dai governi di tutto il mondo su un problema che riguarda non solo tutti noi, ma anche le generazioni future.<sup>9</sup>

### ***Il Rapporto IPCC Global Warming of 1,5 °C***

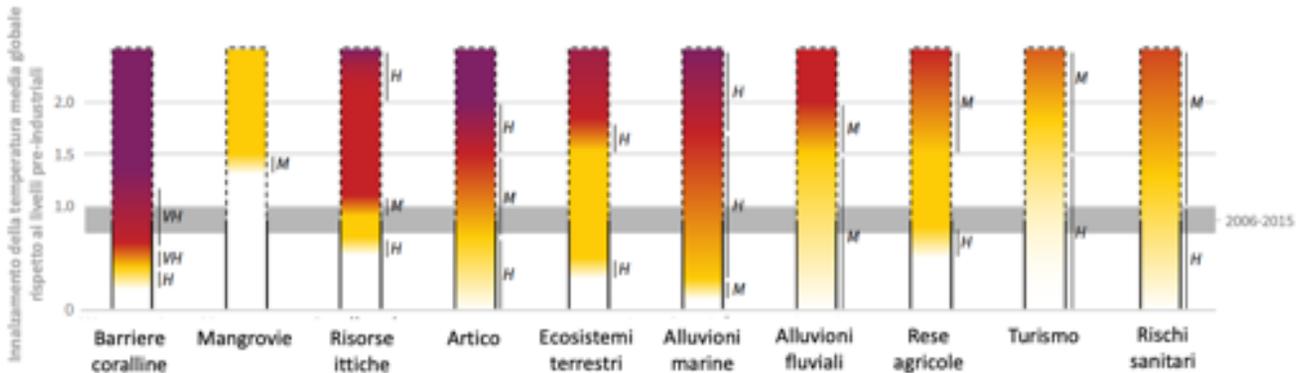
Fra le iniziative in ambito ONU per l'applicazione dell'Accordo di Parigi, l'UNFCCC ha commissionato nel 2016 a IPCC la preparazione di un Rapporto speciale che potesse rendere conto degli impatti di un riscaldamento globale di 1,5 °C rispetto al periodo preindustriale. Questo Rapporto è stato finalizzato il 5 ottobre 2018. In estrema sintesi i risultati del Rapporto possono essere riassunti in alcuni punti principali.

- 1. Le attività umane hanno causato a oggi un riscaldamento della temperatura media globale di circa 1,0 °C rispetto ai livelli preindustriali.*
- 2. Il riscaldamento globale di origine antropica sta crescendo a un tasso di 0,2 °C per decennio e, se nulla verrà fatto, l'aumento di 1,5° rispetto al periodo preindustriale verrà raggiunto fra il 2030 e il 2050.*
- 3. Gli impatti del riscaldamento climatico previsti limitando l'aumento della temperatura media globale a 1,5 °C rispetto alla situazione di aumento di 2 °C sono sensibili sia in termini economici che sociali come riportato dalla Fig. 3.*

---

<sup>9</sup> Silvestrini G., *Due gradi*, 2015 Edizioni Ambiente, Milano.

**Figura 3.** Implicazioni de differenti livelli di riscaldamento del pianeta rispetto ai principali effetti ambientali (Credit: IPCC, 2018).

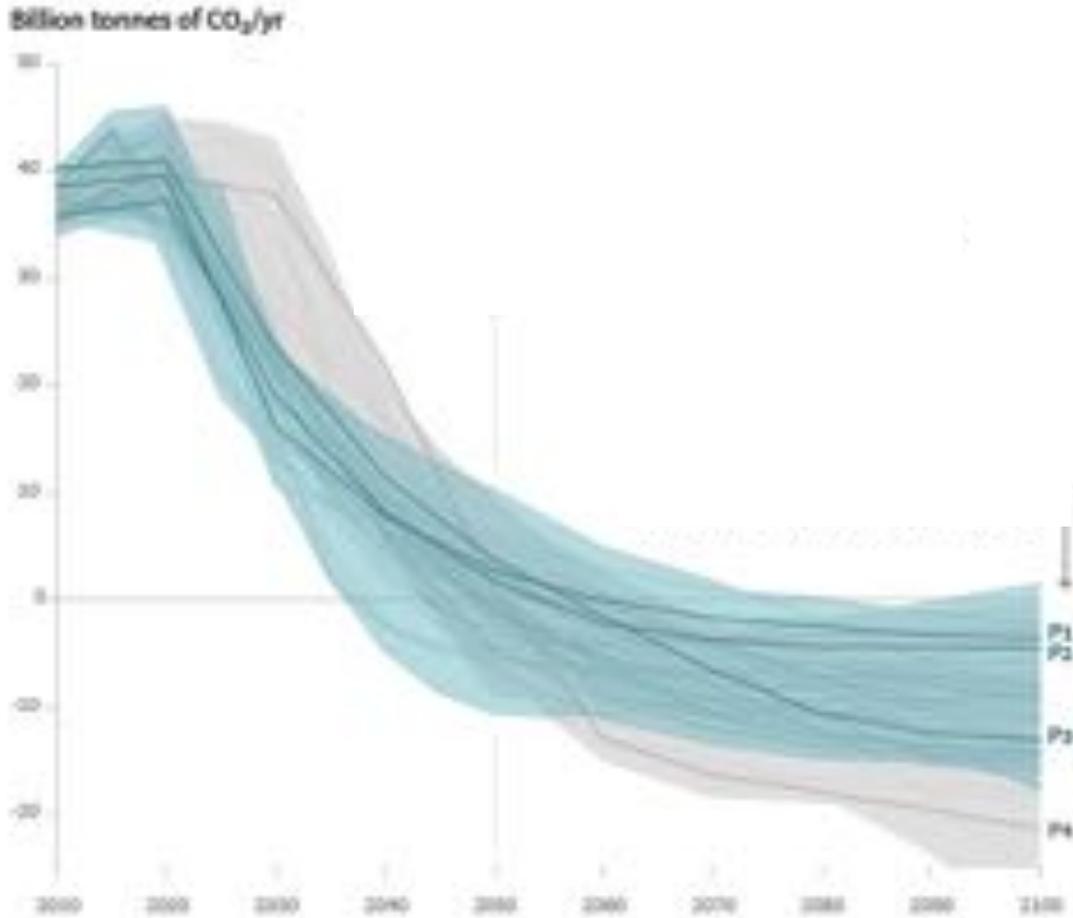


Al fine di limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C, le emissioni di CO<sub>2</sub> dovranno ridursi globalmente del 45% nel 2030 rispetto ai valori del 2010 (20% nel caso di 2 °C), e raggiungere il livello 0 nel 2050 (2075 nel caso di 2 °C). È anche necessaria una contemporanea limitazione delle emissioni di specie climalteranti diverse da CO<sub>2</sub>.

Nella figura 4 sono riportati quattro scenari di andamento delle emissioni di CO<sub>2</sub> a seconda degli obiettivi che la comunità internazionale vorrà e saprà darsi.

Senza entrare troppo nei dettagli della figura, si può comunque facilmente notare come tutti gli scenari di mitigazione previsti prevedano il raggiungimento di emissioni zero a metà del corrente secolo, dopo di che le emissioni diventano negative. Questo significa che, per rimanere entro i parametri che prevedono la limitazione dell'aumento della temperatura alla fine del secolo a meno di 1,5 °C, una parte della CO<sub>2</sub> già emessa nel corso dei due secoli precedenti da parte delle attività umane dovrà essere rimossa dall'atmosfera.

**Figura 4.** Quattro diversi scenari di riduzione delle emissioni globali di CO<sub>2</sub> nel prossimo futuro che possano consentire un riscaldamento del pianeta alla fine del secolo corrente non superiore a 1,5 °C (Credit: IPCC, 2018).



Le tecnologie per la rimozione dall'atmosfera della CO<sub>2</sub> atmosferica sono ancora a un livello prototipale e non sono ancora mai state sperimentate su larga scala. Vi è tempo fino a metà del secolo per rafforzare queste tecnologie che possano aiutare il raggiungimento dell'obiettivo.

Sono certamente necessari ulteriori investimenti per contrastare il riscaldamento del clima della Terra, che vengono stimati in circa 450

miliardi di dollari l'anno fino al 2030 per il raggiungimento dell'obiettivo 1,5 °C, comparati ai circa 300 miliardi necessari per raggiungere l'obiettivo di 2 °C. A fronte di questi costi, occorre comunque ricordare che tutte le valutazioni economiche e sociali riportano costi molto più elevati per l'eventuale necessità di adattamento al cambiamento climatico in assenza delle adeguate politiche di mitigazione.<sup>10</sup>

A questo proposito, il Rapporto 1,5 °C rileva come il cambiamento climatico agisca come moltiplicatore dei problemi ambientali esistenti e che adeguate politiche di mitigazione sono senz'altro sinergiche con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) varati dalle Nazioni Unite (contrasto alla povertà, contrasto alla fame, protezione della salute, parità di genere, ecc.).

### ***Il negazionismo climatico***

Gli scienziati del clima, ben rappresentati da IPCC, concordano largamente sul cambiamento climatico in atto e sulle sue origini principalmente di natura antropica (da una rassegna della letteratura scientifica, il consenso risulta del 97%), ma anche sul fatto che dobbiamo contrastare rapidamente i pericoli di un pianeta che si riscalda.

In Europa l'accettazione del principio per cui il cambiamento climatico rappresenta un pericolo reale per la nostra società e che il contributo delle attività antropiche ne è la causa principale è ormai diffusa. Non mancano però, talvolta anche all'interno della comunità scientifica, posizioni cosiddette "negazioniste" sull'origine antropica del cambiamento climatico. L'aspetto importante da sottolineare è che fra i sostenitori di queste posizioni vi sono per lo più soggetti privi di competenze specifiche sul tema. Anche a livello dei mezzi di comunicazione, si assiste purtroppo

---

<sup>10</sup> Stern N. H., *The economics of climate change: the Stern review*, 2007 Cambridge University Press, Cambridge, UK.

anche nel nostro Paese a un susseguirsi di informazioni spurie, più che altro all'insegna del sensazionalismo, in un verso e nell'altro, che lasciano senz'altro il pubblico piuttosto interdetto. Chiunque, utilizzando magari livelli di notorietà acquisiti in altri settori, si sente in dovere di discettare sul clima che cambia trovando sempre compiacenti microfoni e taccuini pronti a riportare le più disparate opinioni.

Interessanti studi sociologici sul negazionismo climatico sono purtroppo disponibili quasi unicamente per quanto riguarda la realtà statunitense. Questi studi evidenziano come lo scetticismo riguardo al cambiamento climatico e alle sue cause antropiche non sia funzione del censo e del livello di scolarizzazione, come ci si potrebbe aspettare, ma principalmente dell'ideologia e delle posizioni politiche. È quindi evidente come anche la buona scienza possa ben poco contro posizioni ideologiche e preconcepite.

### **Cambiamenti globali ed ecosistemi naturali**

Negli ultimi 50 anni gli uomini hanno cambiato gli ecosistemi più rapidamente e in modo più intenso di qualunque altro periodo della storia umana. Ciò ha determinato una perdita sostanziale e irreversibile di molte funzioni degli ecosistemi del nostro Pianeta. Più terra è stata convertita in agricoltura dal 1945 di quanto non sia avvenuto nel XVIII e XIX secolo, a spese del capitale naturale del Pianeta.

Nonostante ciò, dal 1960 ad oggi abbiamo ridotto la quantità di terra agricola pro capite da 0,7 a 0,4 ettari, con una velocità di deforestazione pari a circa 13 milioni di ettari (ha) per anno (la superficie forestale italiana ammonta a circa 10 milioni di ettari) a dimostrazione di come non riusciamo a tenere testa all'incremento demografico e ai cambiamenti di stile alimentare. Dal 1960 si è quadruplicata la raccolta dell'acqua nei bacini idrici e se ne è raddoppiato il consumo.

La trasformazione antropica degli ecosistemi naturali ha ridotto la loro capacità di fornire servizi importanti per la nostra vita. Oltre ai servizi più facili da immaginare come la produzione di materie prime, importanti funzioni di regolazione sono oggi a rischio. A fronte dei 32 miliardi di tonnellate di anidride carbonica emesse dai combustibili fossili e dei 9 miliardi emesse dalla deforestazione tropicale, solo il 46% rimane in atmosfera, mentre il 28% delle emissioni sono riassorbite dagli ecosistemi terrestri (in particolare foreste) e il 26% dagli oceani.

Quindi le foreste e gli oceani svolgono un servizio importante nel diminuire l'impatto delle emissioni dei combustibili fossili sul sistema climatico. Senza questo contributo ci ritroveremo con un Pianeta ancora più caldo di quello che abbiamo oggi. Analogamente altri servizi di supporto alla nostra vita come la biodiversità, la fertilità dei suoli, la protezione idrogeologica, la qualità dell'aria, ma anche funzioni estetiche e spirituali come il paesaggio e l'uso sociale degli alberi in molte comunità umane sono servizi assicurati dagli ecosistemi. Per questo motivo la loro integrità è fondamentale per continuare a svolgere queste funzioni per le prossime generazioni.

Tuttavia, i cambiamenti climatici e le attività umane di sfruttamento delle risorse naturali stanno modificando e riducendo sensibilmente queste funzioni con il risultato di aggravare gli impatti sulla nostra vita. Negli ultimi anni la mortalità degli alberi è diventata un fenomeno diffuso in molti continenti, passando da un fenomeno naturale a un vero e proprio allarme di emergenza ambientale<sup>11</sup> e il rapporto AR5 dell'IPCC (AR5, IPCC) hanno mostrato come sia diffuso in molti continenti e regioni (tra cui l'area mediterranea) il deperimento di alberi e porzioni importati di

---

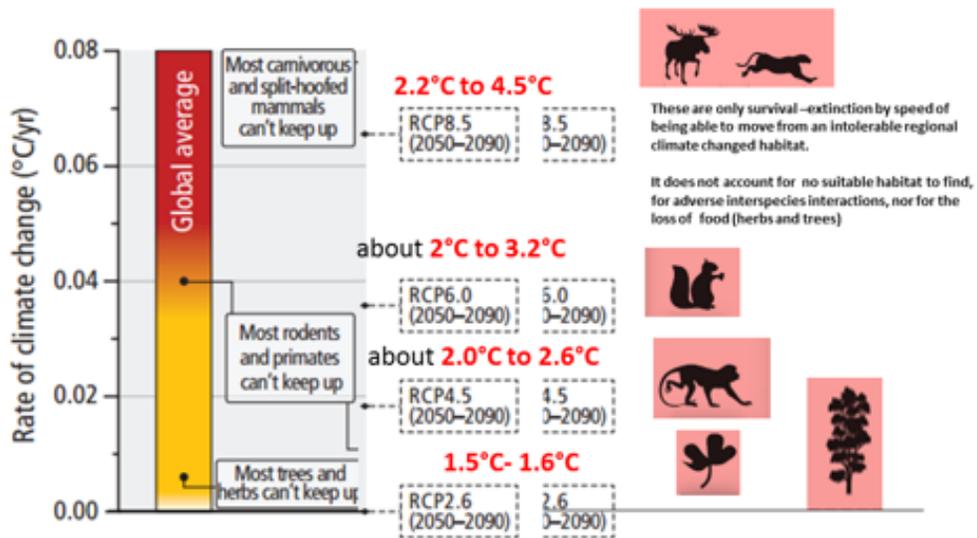
<sup>11</sup> Allen C.D., Macalady A.K. *et al.* "A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests". *Forest Ecology and Management*, Elsevier, 2010, 259 (4), p. 660 - p. 684. <10.1016/j.foreco.2009.09.001>. <hal-00457602>

foresta. Spesso questi fenomeni sono associati a estremi anomali di temperature o siccità intense ed estese per più giorni sia in foreste temperate e boreali,<sup>12</sup> che tropicali.<sup>13</sup>

Un altro elemento di preoccupazione è la velocità con cui si sta manifestando il cambiamento climatico. Per molti organismi viventi la velocità di adattamento non è sufficiente a contrastare il cambiamento climatico se questo è molto veloce. Ad esempio, per le piante anche solo una variazione di 0,01 °C per anno non è sostenibile, visto che non possono facilmente spostarsi e cambiare habitat.

Gli animali sono più veloci nell'adattarsi ma entro certi limiti. Ad esempio molti mammiferi carnivori (tra i più capaci di adattamento) soccombono a fronte di un aumento di temperatura di circa 0,06 °C per anno (figura 5).

**Figura 5.** L'illustrazione indica il rischio di compromissione degli ecosistemi terrestri e acquatici in reazione con il riscaldamento globale (credit: The Synthesis Report of the IPCC Fifth Assessment Report).



<sup>12</sup> Anderegg W.R.L., et al. "Drought's legacy: multiyear hydraulic deterioration underlies widespread aspen forest die-off and portends increased future risk". *Glob Change Biol* 2013; 19, 1188.

<sup>13</sup> Steinkamp J., Hickler T. "Is drought-induced forest dieback globally increasing?" *Journal of Ecology* 2015; 103 (1), 31.

Gli scenari futuri che abbiamo davanti si complicano molto per la molteplicità e la complessità dei feedback del nostro Pianeta. Ecco alcuni elementi di riflessione:

- 1. La pressione antropica sugli ecosistemi naturali negli ultimi 50 anni è aumentata a un ritmo eccezionale, mai sperimentata in tutta la storia del genere umano, che aggrava quanto già il cambiamento climatico sta facendo, riducendo i principali servizi ecosistemici del nostro capitale naturale e accelerando quindi la crisi sistemica globale.*
- 2. L'impatto dei cambiamenti climatici sulle funzioni di regolazione degli ecosistemi può generare dei feedback positivi (amplificazione) che possono aggravare ancora di più il livello di concentrazione dei gas serra nell'atmosfera, intensificando il riscaldamento globale. Ad esempio la mortalità degli alberi, sottraendo la capacità di fissazione del biossido di carbonio dall'atmosfera, oppure lo sfruttamento dei suoli boreali e gli incendi delle foreste tropicali, possono innescare un aumento dei livelli di gas serra nell'atmosfera, in aggiunta a quanto già contribuiscono i combustibili fossili.*
- 3. La velocità del riscaldamento globale può essere un fattore decisivo nei processi di estinzione di molte specie vegetali e animali che non riescono ad adattarsi velocemente.*
- 4. La pressione antropica sulle risorse naturali non si può risolvere solo con l'aumento dei sistemi di produzione (es. agricoltura intensiva), ma attraverso un'azione equilibrata di riduzione dei processi di consumo che hanno raggiunto livelli insostenibili per il Pianeta, includendo la necessità di riduzione degli sprechi e il riuso dei materiali.*

## **Cambiamenti globali, risorse alimentari e idriche**

I cambiamenti globali (eventi estremi, ondate di calore, inondazioni, siccità) hanno importanti implicazioni per il settore agricolo e dell'allevamento, mettendo a rischio la sicurezza alimentare del mondo intero. Grano, riso, mais e soia costituiscono i due terzi del consumo calorico umano a livello globale. È previsto che per ogni grado di aumento della temperatura media globale le rese agricole per queste colture diminuiscano del 6%, 3%, 7%, 3% rispettivamente, mentre la domanda per questi prodotti crescerà del 14% ogni decennio fino a metà del secolo corrente. Anche altri tipi di coltivazione quali caffè, cacao, the subiranno inevitabilmente riduzioni della produzione dovute ai vari aspetti del cambiamento globale.

Questi rischi per il comparto agricolo saranno particolarmente acuti nei Paesi in via di sviluppo a causa della mancanza in queste aree di adeguate conoscenze e tecnologie.

In molte regioni del globo i cambiamenti del regime delle precipitazioni e il ritirarsi dei ghiacciai stanno alterando le risorse idriche di acqua dolce costituendo un ulteriore impatto sull'agricoltura e l'allevamento che utilizzano circa il 70% delle risorse idriche a livello globale.

Anche la qualità di alcuni alimenti è destinata a deteriorarsi a causa dei cambiamenti globali. Grano, riso, orzo e patate cresciute in un ambiente con concentrazioni sempre crescenti di CO<sub>2</sub> vedranno diminuire il loro contenuto di proteine di circa il 10%, mentre altri prodotti subiranno una riduzione del contenuto di minerali e micronutrienti.

I cambiamenti climatici, inoltre, stanno producendo uno spostamento di organismi patogeni in aree in precedenza non interessate, causando effetti negativi sia sulle coltivazioni che sugli allevamenti.

Va anche detto che agricoltura e allevamento contribuiscono in maniera rilevante al cambiamento globale dell'ambiente. Oltre all'enorme consumo di acqua che il comparto richiede, la produzione di carne, particolarmente quella dei ruminanti, fornisce un notevole contributo al riscaldamento del clima a causa del metano emesso da queste specie animali. Tecnologie agricole più rispettose dell'ambiente e con un minore consumo idrico e una drastica riduzione del consumo di carne rossa a livello globale possono concorrere sostanzialmente a mitigare i cambiamenti globali.

Anche le risorse ittiche sono minacciate dal cambiamento globale. A causa del riscaldamento degli oceani, la loro produttività è destinata a diminuire riducendo allo stesso tempo le aree di pesca e le loro rese in termini di pescato, mettendo a rischio le risorse alimentari di circa 400 milioni di persone la cui dieta è essenzialmente costituita da pesce. Alcune specie ittiche che non hanno sufficiente capacità di adattamento sono destinate a scomparire riducendo ulteriormente la biodiversità del pianeta.

## **Cambiamenti globali e salute umana**

Il Rapporto sulla qualità dell'aria a livello globale preparato recentemente dall'*Health Effects Institute* offre un quadro completo dei rischi per la salute connessi con l'inquinamento atmosferico globale e con la qualità dell'aria negli ambienti domestici.<sup>14</sup>

La presenza in atmosfera del particolato atmosferico fine (PM<sub>2,5</sub>, colloquialmente definito polveri sottili) costituisce il sesto fattore di rischio per la salute umana (dopo l'ipertensione, il fumo, l'iperlipidemia, l'obesità, il colesterolo alto) e ha causato nel 2016 a livello globale 4,1

---

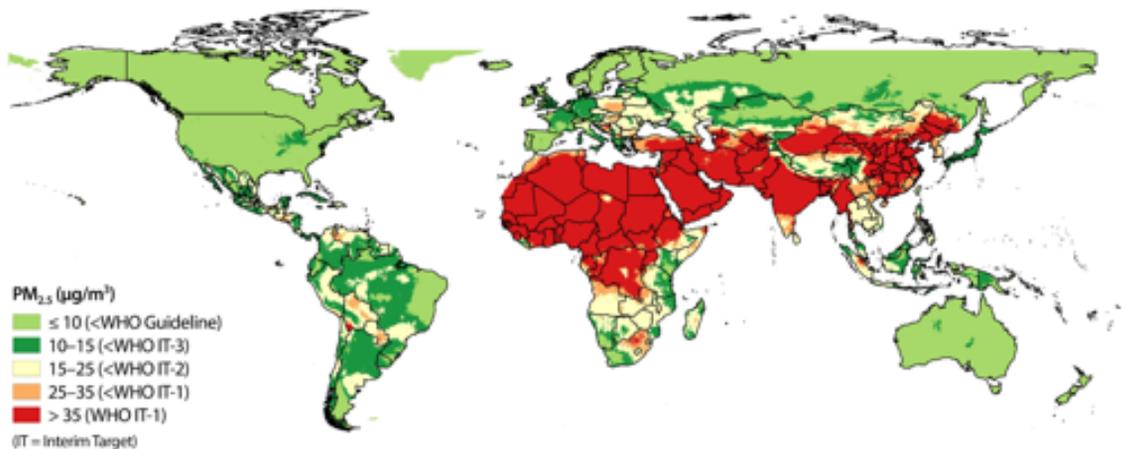
<sup>14</sup> Health Effects Institute, 2018. *State of Global Air 2018*, Special Report. Boston, USA.

milioni di morti per disturbi respiratori, cardiovascolari e per cancro polmonare, un numero molto maggiore di decessi rispetto a più noti fattori di rischio quali l'abuso di alcol o l'inattività fisica e simile a quello dei decessi dovuti a elevati livelli di colesterolo nel sangue o all'obesità.

Il secondo principale inquinante atmosferico che causa effetti negativi sulla salute è l'ozono ( $O_3$ ), un gas i cui livelli di concentrazione sono in aumento su tutto il globo, e che è stato responsabile nel 2016 di 234.000 decessi.

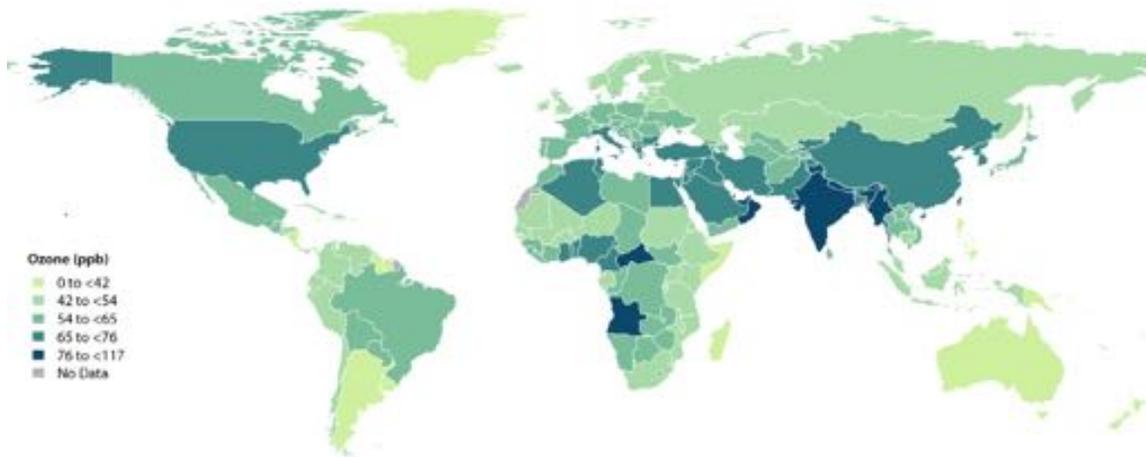
L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha stabilito, sulla base di varie ricerche epidemiologiche, un limite di concentrazione di  $PM_{2,5}$  per la tutela della salute umana di  $10 \mu g/m^3$  di media annua, con la consapevolezza però che non possono essere totalmente esclusi effetti nocivi anche a concentrazioni inferiori a questo livello. Il 95% della popolazione mondiale vive in zone nelle quali il limite stabilito dall'OMS non è rispettato. La figura 6 riporta la distribuzione di vari livelli di concentrazione di  $PM_{2,5}$  a livello globale.

**Figura 6.** Livelli di concentrazione media annuale di  $PM_{2,5}$ , espressi in  $\mu g/m^3$  nelle diverse aree del pianeta (Credit: Health Effects Institute, 2018. State of Global Air 2018. Special Report. Boston, USA).



I livelli di concentrazione di O<sub>3</sub> (valore limite OMS 100 µg/m<sup>3</sup> di media giornaliera) sono molto meno variabili rispetto a quelli di PM<sub>2,5</sub>, ma sono relativamente elevati negli USA, nell’Africa sub-Sahariana, nell’area del Mediterraneo, nel Medio Oriente, e nell’intero continente asiatico.

**Figura 7.** Livelli medi di concentrazione di O<sub>3</sub> a livello globale (Credit: Health Effects Institute, 2018. State of Global Air 2018. Special Report. Boston, USA).



### ***Inquinamento degli ambienti domestici***

Circa 3,5 milioni di decessi annui sono dovuti all’esposizione all’inquinamento negli ambienti domestici. Si tratta in questo caso di un fenomeno principalmente ristretto ai continenti asiatico e africano ed è dovuto principalmente all’utilizzo, per il riscaldamento e per la preparazione dei pasti, di combustibili di bassa qualità in stufe altamente inefficienti e in ambienti non adeguatamente ventilati. In ambienti domestici di questo tipo le concentrazioni di PM<sub>2,5</sub> possono raggiungere concentrazioni di 20 volte il limite fissato dall’OMS per l’aria ambiente. Questo tipo di particolato contiene a sua volta un’elevata percentuale di *black carbon*, un componente derivato dalla combustione inefficiente ed estremamente dannoso per la salute.

## **Energia per l'astronave Terra**

Il pianeta Terra è una specie di astronave che viaggia nell'infinità dell'Universo. È un'astronave del tutto speciale perché non potrà mai "atterrare" in nessun luogo per fare rifornimento, per essere riparata o per sbarazzarsi dei rifiuti che vi si accumulano. L'unico rapporto con l'esterno è l'energia che riceve dal Sole, risorsa fondamentale per la vita dei 7,3 miliardi di passeggeri. L'astronave Terra ha dimensioni limitate. Pertanto, le risorse di cui disponiamo sono finite e limitato è anche lo spazio in cui collocare i rifiuti. Una realtà che, a volte, economisti e politici sembrano non conoscere.<sup>15</sup>

Dopo aver goduto a lungo dell'energia dei combustibili fossili, oggi sappiamo che il "rifiuto" generato dalla loro combustione (biossido di carbonio, CO<sub>2</sub>) è il principale responsabile del cambiamento climatico. Se vogliamo salvare il pianeta, la nostra casa comune, dobbiamo smettere di usare i combustibili fossili. L'Accordo di Parigi ha segnato una svolta storica di cui, forse, non tutti hanno ancora capito l'importanza: l'Antropocene, l'Era dell'Uomo, caratterizzata da un intenso uso dei combustibili fossili, ci ha indotto ad accettare la progressiva, inevitabile rinuncia a questa fonte energetica.

### ***I combustibili fossili***

Nel 2017 su scala mondiale abbiamo immesso nell'atmosfera 32 miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub>, che abbiamo generato bruciando, ogni secondo, 1.140 barili di petrolio, 105.000 metri cubi di gas e 250 tonnellate di carbone. A questo ritmo, le riserve accertate di petrolio sono sufficienti per 50 anni, quelle di gas per 52 anni e quelle di carbone per 134 anni. È

---

<sup>15</sup> Armaroli N., Balzani V., *Energia per l'astronave Terra. L'era delle rinnovabili*, Terza edizione, 2015 Zanichelli, Bologna.

stato calcolato però che per avere almeno il 50% di probabilità che l'aumento della temperatura del pianeta non superi i 2 °C, come richiesto dall'Accordo di Parigi, devono rimanere inutilizzate il 30% delle riserve di petrolio, il 50% di quelle di gas e l'80% di quelle di carbone. Ciononostante, le compagnie petrolifere continuano a ricercare altro petrolio e gas. Esse, infatti, sperano che l'accordo di Parigi non sarà rispettato; anzi, con la loro grande potenza economica e politica operano in questo senso. Sono costrette a riconoscere che la transizione energetica dai combustibili fossili alle energie rinnovabili, già avviata, è ineluttabile, ma cercano almeno di rallentarla. Sostengono che le energie rinnovabili sono immature, costose e inaffidabili perché intermittenti e che quindi il loro sviluppo dovrà essere accompagnato dall'uso, come energia ponte, del più "innocente" dei combustibili fossili, il gas (metano).

A parità di energia prodotta, la quantità di CO<sub>2</sub> generata dal metano è inferiore di circa il 66% rispetto al carbone e il 24% rispetto al petrolio; ma questo non basta per raggiungere l'obiettivo di Parigi. Per di più, il metano è un gas serra 72 volte più potente di CO<sub>2</sub> e si stima che nella lunga filiera del gas ci siano perdite di almeno il 3% rispetto alla quantità usata. Quindi passando al gas non si combatte affatto il cambiamento climatico. Inoltre, studi recenti mostrano che l'uso del gas non è vantaggioso neppure per la salute dell'uomo perché, rispetto ai motori alimentati con gasolio, quelli alimentati con metano producono particelle in numero superiore e più piccole, quindi potenzialmente più pericolose per la salute.

### ***Le energie rinnovabili***

Le energie rinnovabili (biomassa, idroelettrica, eolica, solare, geotermica) hanno oggi una potenza pari a 2.195 GW e forniscono circa il 10%

dell'energia primaria e il 26,5% dell'energia elettrica. Per raggiungere l'obiettivo dell'Accordo di Parigi dovranno svilupparsi fino a coprire il 100% dell'energia elettrica entro il 2035-2040 e il 100% dell'energia primaria entro il 2050. Questo è possibile se si punta su energie rinnovabili in fase di rapido sviluppo, ben collaudate, poco costose e con basso impatto ambientale, come sono oggi l'energia eolica e l'energia fotovoltaica.

Gli impianti eolici possono essere installati sul suolo o in mare. La potenza eolica a fine 2017 ha raggiunto 539 GW (+9,6% rispetto al 2016), che hanno generato una quantità di energia paragonabile a quella di circa 180 reattori nucleari da 1.000 MW. Dalle pale eoliche con turbine di 15 m di diametro e 50 kW di potenza, si è passati a turbine con 140 m di diametro e 8,8 MW di potenza: una sola rotazione della turbina fornisce l'energia necessaria ad una abitazione per un giorno. Ogni volta che la capacità eolica globale raddoppia, il costo dell'elettricità che produce diminuisce del 15%.

Per quanto riguarda il fotovoltaico il suo grande vantaggio consiste nel poter generare energia elettrica in qualsiasi luogo illuminato dal Sole, consentendo l'accesso all'elettricità anche nei posti più isolati. Nel 2017 il fotovoltaico ha raggiunto 402 GW (+ 24% rispetto al 2016) e ha generato una quantità di energia paragonabile a quella ottenibile da 80 reattori nucleari da 1.000 MW. L'85% del fotovoltaico installato nel mondo usa pannelli rigidi nei quali il materiale fotoattivo è una sottilissima lamina di silicio; hanno efficienza di circa il 18-20% (per confronto, la fotosintesi naturale ha efficienza <0,5%) e durata di almeno 25-30 anni. In futuro verranno sostituiti con moduli flessibili di uso più generale e con celle a giunzione multipla (46% di efficienza in laboratorio).

Gli impianti eolici e fotovoltaici producono energia fino a 20 volte quella investita per costruirli, non hanno bisogno di acqua per il raffreddamento, richiedono una manutenzione minima e in fase di dismissione possono essere riciclati quasi integralmente. Gli impianti eolici comportano un uso ridotto del territorio perché l'agricoltura continua normalmente nei terreni su cui vengono installati. Gli impianti fotovoltaici possono essere collocati sui tetti di abitazioni, industrie, parcheggi e altre strutture già esistenti.

Eolico e fotovoltaico sono energie intermittenti; per ottimizzare le loro prestazioni è, quindi, necessario utilizzare sistemi di accumulo come batterie, pompaggio idroelettrico e anche produzione di idrogeno elettrolitico, che può essere riconvertito in energia elettrica mediante celle a combustibile. Il progresso nella generazione di energia elettrica con fotovoltaico ed eolico ha favorito lo sviluppo delle batterie, il cui prezzo è sceso dell'85% negli ultimi otto anni, dando inizio a quella che i tecnici chiamano *clean disruption* nel settore dei trasporti. Le previsioni indicano che nel 2025 saranno prodotte circa 30 milioni di auto elettriche. In molti Paesi, intanto, il prezzo dell'elettricità generata da eolico e fotovoltaico, compreso l'accumulo, è minore del prezzo dell'elettricità prodotta dai combustibili fossili, anche senza conteggiare i benefici economici legati ai danni evitati alla salute pubblica e all'ambiente.

### ***La rivoluzione energetica***

La transizione energetica dai combustibili fossili alle energie rinnovabili comporta grandi cambiamenti nel modo di produrre, trasportare e utilizzare energia. I combustibili fossili generano energia termica che si può usare direttamente, oppure convertire, ma con bassa efficienza, in energia elettrica o meccanica. Le energie rinnovabili generano energia elettrica, che può essere usata come tale oppure può essere convertita con alta efficienza in calore e in energia meccanica. Quindi, l'economia

basata sulle fonti rinnovabili ha un'efficienza energetica molto maggiore dell'economia basata sui combustibili fossili.

Le energie rinnovabili hanno anche altri vantaggi rispetto a quelle fossili. I combustibili fossili si trovano allo stato grezzo sotto la crosta terrestre, solo in alcune regioni del mondo; quindi devono essere estratti, raffinati e trasportati nei luoghi d'uso. Tutte queste operazioni sono pericolose e spesso oggetto di incidenti, da quello della *Deepwater Horizon* costato alla BP 61,6 miliardi di dollari, a quello molto più piccolo, ma significativo, del 6 agosto 2018 in autostrada a Bologna. Le fonti rinnovabili (luce, vento, acqua) piovono dal cielo: l'elettricità che producono si deve solo raccogliere e può essere trasmessa e distribuita tramite fili, senza problemi.

### ***La transizione energetica***

La transizione energetica dai combustibili fossili alle energie rinnovabili è estremamente complessa dal punto di vista tecnico, economico, politico e anche psicologico. Si tratta infatti di passare dall'uso di fonti energetiche concentrate, presenti in pochi Paesi, pericolose, inquinanti, causa di controversie economiche e commerciali, esposte ad attentati e particolarmente adatte ad alimentare le guerre, a fonti energetiche diluite, diffuse su tutta la Terra, non pericolose, non inquinanti, che non possono essere usate per la guerra e neppure essere oggetto di attentati.

La transizione energetica, quindi, implica una vera rivoluzione culturale in quanto riguarda il modo di vivere e di affrontare il futuro, interessa tutti i livelli organizzativi della società e ha profondi effetti economici e politici. È una grande sfida che può portarci a vivere in un mondo più giusto, più equo e più pacifico.

Papa Francesco ha sottolineato tutto questo nell'enciclica *Laudato si'*. Ha anche scritto che "vi sono motivazioni etiche profonde per incamminarci urgentemente verso una transizione energetica globale" e ha ricordato che "sono i poveri a soffrire maggiormente delle devastazioni del cambiamento climatico" e che "la transizione verso l'energia accessibile e pulita è una responsabilità che abbiamo verso milioni di nostri fratelli e sorelle nel mondo, verso i Paesi poveri e verso le generazioni che verranno".<sup>16</sup>

La transizione energetica fermerà il cambiamento climatico, eviterà la morte prematura di molte persone, aumenterà il numero di posti di lavoro e porterà benefici economici. Porterà vantaggi anche dal punto di vista sociale perché le nazioni più povere, quelle più colpite dai cambiamenti climatici, sono le più ricche di energie rinnovabili. La transizione non avverrà, però, spontaneamente; richiede, anzi, un forte impegno perché è ostacolata dalla lobby dei combustibili fossili, da speculazioni finanziarie e da controversie economiche e politiche. È opinione diffusa che l'obiettivo dell'Accordo di Parigi non sia raggiungibile senza una forte mobilitazione delle persone.

Bisogna anche rendersi conto che le tecnologie che fornisce la scienza per utilizzare le abbondanti energie rinnovabili trovano limiti nelle risorse del pianeta, cioè nella disponibilità dei materiali necessari per costruire le apparecchiature di conversione, di trasmissione e di accumulo: turbine eoliche, pannelli fotovoltaici, reti elettriche, batterie, ecc. Quindi, non potremo disporre di tutta l'energia che ci farebbe comodo avere e dovremo abituarci a non sprecarla.

---

<sup>16</sup> Francesco, *Laudato si'*. Lettera enciclica sulla cura della casa comune, 2015 Paoline Libri, Roma.

## ***Oltre la transizione energetica***

Per vivere in un mondo ecologicamente sostenibile, la transizione energetica deve essere accompagnata da un'altra transizione: quella dall'economia lineare dell'usa e getta all'economia circolare, basata su un impiego più limitato, più consapevole e più efficiente delle risorse, su una minore produzione di rifiuti e sul loro recupero per creare nuove risorse.

Tutto questo però non è ancora sufficiente perché, se vogliamo vivere in pace nella "casa comune", l'Astronave Terra, è assolutamente necessario ridurre le disuguaglianze che affliggono l'umanità, sia su scala nazionale che globale. Dovremmo, come dice papa Francesco, "indignarci per le enormi disuguaglianze che esistono tra di noi; non ci accorgiamo più che alcuni si trascinano in una miseria degradante, mentre altri non sanno nemmeno che farsene di ciò che possiedono". Per ridurre le disuguaglianze bisogna, quindi, compiere una terza transizione, integrata alle due precedenti: la transizione culturale dal consumismo alla sobrietà, che è la qualità essenziale di ogni relazione, con le risorse, con i rifiuti, con gli altri e con se stessi.

## **Conclusioni**

I problemi ambientali coinvolgono competenze e comunità scientifiche molto diversificate, come appare anche dalla provenienza disciplinare degli autori di questo contributo (chimica, fisica, medicina). Difficile quindi tracciare un quadro della ricerca italiana nel settore, se non per sottolineare che su molti di questi temi il nostro Paese esprime realtà di assoluto valore internazionale, ma anche il costante restringersi delle risorse umane, economiche e strumentali, fenomeno comune a tutta la ricerca italiana.

La ricerca nel settore ambientale, inoltre, ha bisogno di un approccio interdisciplinare. Le scienze dell'ambiente non costituiscono nel sistema Università-Ricerca italiano un ambito disciplinare, ma si avvalgono del contributo di fisica, chimica, biologia, geologia, agraria, ingegneria, ecc. Queste diverse comunità scientifiche non parlano tradizionalmente lo stesso linguaggio e usano approcci scientifici a volte completamente diversi. Un'ulteriore complicazione è che per un approccio scientifico efficace ai problemi ambientali occorre andare al di là della pura e semplice multidisciplinarietà, ma occorre raggiungere una vera sintesi interdisciplinare, ottenibile solamente se gli attori riescono a comunicare nello stesso linguaggio e a usare strumenti concettuali comuni. La sfida vale a maggior ragione per l'integrazione fra le scienze naturali e le scienze umane e sociali (economia, sociologia, discipline giuridiche, ecc.), data l'importanza del fattore umano nei cambiamenti ambientali.

Questo nuovo approccio interdisciplinare, che si va sempre più affermando nella ricerca ambientale internazionale, pone chiaramente problemi sia dal punto di vista della ricerca sia della formazione. Ovviamente problemi di questo genere esistono anche in altri Paesi; la differenza è però che in Italia tutto questo sembra essere molto più difficile da affrontare. Ciò è anche da collegarsi alla burocratizzazione della ricerca in Italia, a inadeguati meccanismi di reclutamento e selezione del personale e alla cristallizzazione del sistema Università-Ricerca nazionale attorno ai Settori scientifico-disciplinari.

## **L'impatto della cybersecurity sull'economia e la democrazia del Paese: il ruolo della ricerca scientifica**

di *Marco Conti, Rocco De Nicola, Paolo Prinetto*

Il cyberspazio è la cosa più complessa che l'uomo abbia mai costruito: da un lato unione di migliaia di reti che rendono difficile anche solo avere una fotografia istantanea di chi vi è connesso, dall'altro stratificazione di programmi software e protocolli sviluppati negli ultimi quaranta anni. Questa complessità è generatrice di vulnerabilità (errori software, errate configurazioni e debolezze nei protocolli) che vengono sfruttate dai cybercriminali per sottrarre dati o arrecare danni.

### **Introduzione**

La *cybersecurity* è considerata una delle principali emergenze in Europa, assieme al cambiamento climatico e all'immigrazione e sono allo studio iniziative concrete per affrontare tale emergenza.<sup>1</sup> Blocco della operatività di aziende, controllo surrettizio dei servizi di infrastrutture critiche, furto della proprietà intellettuale o di informazioni cruciali per la sopravvivenza di un'azienda, sono esempi delle minacce che un Paese deve affrontare. Le recenti campagne dei cosiddetti *malware wannacry* e *notpetya* sono stati gli eventi visibili di una serie impressionante di attacchi in ogni angolo del pianeta.

In un mondo sempre più digitalizzato, gli attacchi informatici suscitano allarme nella popolazione, causano danni ingenti all'economia e mettono

---

<sup>1</sup> Proposta di regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio che istituisce il Centro europeo di competenza industriale, tecnologica e di ricerca sulla cybersicurezza e la rete dei centri nazionali di coordinamento.  
(<http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-12104-2018-INIT/it/pdf>)

in pericolo la stessa incolumità dei cittadini quando colpiscono reti di distribuzione dei servizi essenziali come la sanità, l'energia, i trasporti, vale a dire le infrastrutture critiche della società moderna. In Italia, interi settori di eccellenza, come la meccanica, la cantieristica, il made in Italy, il turismo, l'agroalimentare e i trasporti, potrebbero subire pesanti ridimensionamenti di fatturato a causa di attacchi perpetrati nel cyberspazio da stati sovrani o da concorrenti.

Un attacco informatico di successo potrebbe rappresentare un momento di non ritorno per la credibilità di un'azienda, lo sviluppo del suo business e la capacità di vendere prodotti in un regime di sana concorrenza. Ugualmente, un attacco informatico riuscito potrebbe destabilizzare il mercato azionario facendo sprofondare interi Paesi nel caos, oppure bloccare i rifornimenti di gas in inverno o la gestione del ciclo dei rifiuti urbani.

Molte volte i danni di attacchi informatici dipendono da un anello debole e spesso questo è il fattore umano. L'uomo è ormai parte integrante del cyberspazio e rappresenta la più importante e imprevedibile vulnerabilità di questo macrosistema. Un click sbagliato può in alcuni casi distruggere qualsiasi linea di difesa tecnologica di un apparato, di un'organizzazione, di un Paese. Sono le persone che si fanno "pescare" da una campagna di *phishing*, che usano come password il nome del gatto o del consorte, che usano lo stesso *smartphone* per far giocare i figli e per accedere alla rete aziendale. Esse sono le prime ad aprire le porte ai criminali verso i siti, le reti e i database delle loro organizzazioni, con effetti pericolosi e imprevedibili.

Non solo l'industria, ma anche la democrazia può essere oggetto di attacchi cyber. Le *fake news* sono l'evoluzione degli attacchi basati su ingegneria sociale: create e diffuse attraverso il cyberspazio, le false informazioni tendono a confondere e destabilizzare i cittadini di un

Paese, immergendoli in uno spazio informativo non controllato, con un insieme pressoché infinito di sorgenti di notizie.

*Un Paese che non metta la cybersecurity al centro delle proprie politiche di trasformazione digitale è quindi un Paese che mette a serio rischio la propria prosperità economica e la propria indipendenza.*

La tabella 1 riporta le percentuali di imprese italiane dell'industria e dei servizi privati non finanziari, con almeno 20 addetti, colpite da uno o più attacchi cyber tra settembre 2015 e settembre 2016.<sup>2</sup>

**Tabella 1.** Attacchi subiti da imprese italiane, settembre 2015-2016.

<b>Area geografica</b>	
Nord Ovest	44,2
Nord Est	47,3
Centro	52,3
Sud e Isole	35,9
<b>Numero addetti</b>	
20 – 49	42,7
50 – 199	48,4
200 – 499	56,0
500 e oltre	62,8
<b>Intensità tecnologica</b>	
Alta e medio-alta	48,8
Bassa e medio-bassa	43,8
<b>Incidenza delle esportazioni sul fatturato</b>	
Meno di 1/3	43,0
Tra 1/3 e 2/3	51,8
Più di 2/3	48,5
<b>Percentuale sul totale delle aziende</b>	
	45,2

<sup>2</sup> Biancotti C., "The price of cyber (in)security: evidence from the Italian private sector", *Questioni di Economia e Finanza* 407, Banca d'Italia, Novembre 2017, pp.1-43.  
[https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/qef/2017-0407/QEF\\_407.pdf?language\\_id=1](https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/qef/2017-0407/QEF_407.pdf?language_id=1)

A fronte di un'alta vulnerabilità del sistema delle imprese italiane, nel 2016 la spesa in sicurezza informatica è stata modesta: l'impresa mediana destinava alla prevenzione degli attacchi appena 4.530 euro, ovvero il 15% della retribuzione lorda annuale di un lavoratore medio. Esistevano però importanti differenze tra settori: la cifra saliva a 19.080 euro tra le imprese Information and Communication Technology (ICT), per scendere a 3.420 tra quelle a bassa tecnologia. Quasi tutte le aziende dichiaravano di usare almeno un software antivirus e due terzi di formare i dipendenti all'uso sicuro dei dispositivi informatici; risultava, invece, poco diffusa l'abitudine a cifrare i dati, adottata da meno di un terzo delle imprese non ICT.

Per quanto riguarda i danni provocati dagli attacchi, vari dati mostrano che nella maggior parte dei casi l'impatto monetario diretto è limitato; va però tenuto in conto il fatto che l'impatto economico di un attacco spesso non è limitato al costo immediato, ma comporta danni di immagine e può permettere di portare avanti attacchi indiretti, facendo leva sulla vulnerabilità di un soggetto per colpirne un altro.

Come cittadini, imprese, e Pubblica Amministrazione (PA) dobbiamo dunque essere pronti a monitorare e proteggere il nostro mondo digitale. La difesa e il monitoraggio del nostro cyberspazio devono entrare nel nostro modo di vivere, esattamente come l'avvento delle automobili ha reso naturale guardare a destra e a sinistra prima di attraversare una strada trafficata. Tenere sotto controllo i nostri dispositivi, aggiornarne i software, conoscere le nostre eventuali vulnerabilità, sono azioni che devono far parte di un processo continuo di gestione del rischio informatico.

In questo contesto, la ricerca scientifica svolge un ruolo essenziale nello sviluppo di metodologie e strumenti per valutare il livello di sicurezza del nostro mondo digitale e sviluppare strategie e soluzioni per aumentarne il

livello di sicurezza. Nel corso del 2017-2018, la comunità scientifica italiana, coordinata dal Laboratorio Nazionale di Cybersecurity del CINI, ha prodotto un Libro Bianco<sup>3</sup> in cui sono presentate le principali sfide di ricerca nel settore e vengono proposte al decisore politico una serie di attività progettuali per fornire al cyberspazio nazionale un livello di protezione allo stato dell'arte della ricerca scientifica.

In questo capitolo, discutiamo l'impatto degli attacchi cyber sugli assi portanti della nostra società e, quindi, partendo da quanto prodotto nel Libro Bianco, rielaboriamo e presentiamo, in modo sintetico, le principali sfide scientifiche per la ricerca in cybersecurity. Il capitolo si chiude con una discussione su come l'ecosistema cyber del Paese dovrebbe organizzarsi per affrontare al meglio questa sfida, una delle principali per la nostra società.

### **Impatto sugli assi portanti della nostra società**

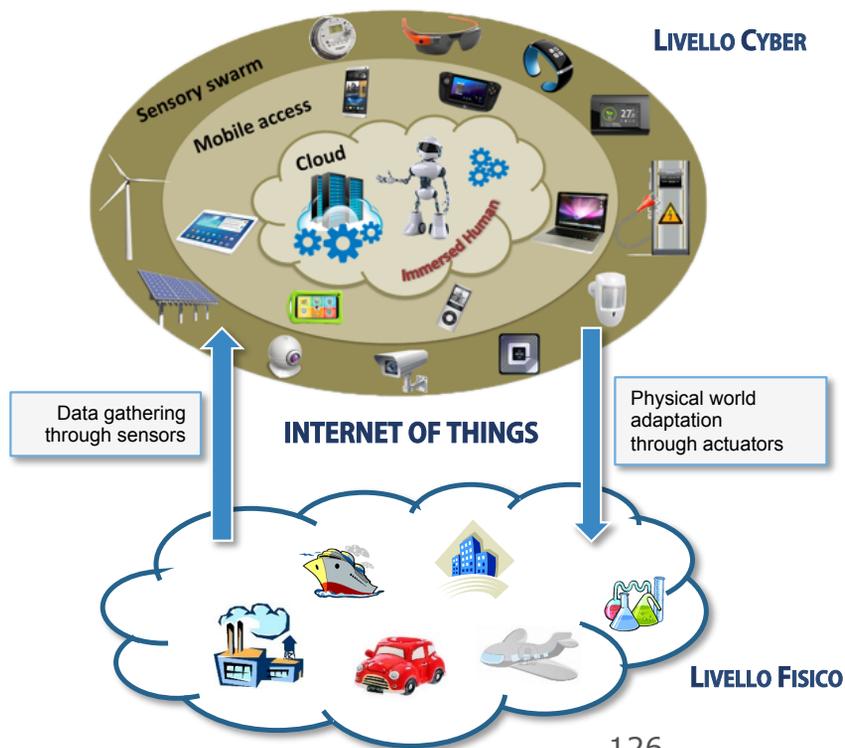
La trasformazione digitale sta interessando tutti i settori della nostra economia e cambierà profondamente la società, le nostre relazioni e il modo di fare industria. La trasformazione digitale, sia a livello industriale che della società, è caratterizzata dallo sviluppo di sistemi che hanno una duplice natura: fisica e virtuale. Come mostrato in figura 1, al sistema fisico viene sovrapposto un livello cyber (es., sensori ed attuatori, sistemi di calcolo, comunicazione e memorizzazione) al fine di aumentarne l'efficienza, l'affidabilità, l'adattabilità e la sicurezza. L'Internet delle cose (IoT), garantendo la connessione degli oggetti del mondo fisico ad

---

<sup>3</sup> Baldoni R., De Nicola R., Prinetto P., *Il Futuro della Cybersecurity in Italia: Ambiti Progettuali Strategici*, Roma Gennaio 2018, pp. 1-238 - <https://www.consortio-cini.it/images/Libro-Bianco-2018.pdf> - Vogliamo ringraziare tutti i colleghi che hanno contribuito al Libro Bianco che costituisce la bibliografia di riferimento di questo contributo. Un ringraziamento speciale va a Roberto Baldoni per aver promosso l'idea del Libro Bianco e aver contribuito significativamente al coordinamento dell'iniziativa.

Internet, costituisce la tecnologia di collegamento tra i due livelli, e le informazioni fluiscono in maniera continua tra i due livelli. Esempi tipici sono la Manifattura 4.0 (o Industry 4.0) e le Smart City. Questi sistemi operano, infatti, su due piani: il livello fisico (la fabbrica, la città) con le sue infrastrutture (i macchinari nel caso della fabbrica, le strade, la rete elettrica, i mezzi di trasporto, ecc., nel caso della città), e un secondo livello, il livello cyber, che contiene una rappresentazione "virtuale" ed interattiva del livello fisico, generata e mantenuta attraverso l'uso pervasivo delle tecnologie ICT. Obiettivo del livello cyber è quello di monitorare, in modo continuo, lo stato delle infrastrutture fisiche, adattandole alle esigenze della produzione/cittadini al fine di coniugare efficienza e qualità dei prodotti/servizi. Un attacco al livello cyber può, quindi, rendere il livello fisico (es. il sistema di trasporti in una città, piuttosto che i macchinari o il sistema logistico in una fabbrica) non utilizzabile, o addirittura pericoloso.

**Figura 1.** Sistemi cyber-physical.



In questo contesto, la cybersecurity è ovunque: nell'hardware, nei software, nei sistemi di interconnessione, nei processi aziendali e della PA, nei contratti, nelle policy, nel fattore umano, nelle interazioni cybersociali. La cybersecurity diventa quindi l'elemento essenziale di questa nuova dimensione per garantire nel tempo un adeguato livello di sicurezza alle nostre relazioni, ai nostri affari, alle nostre democrazie.

In questa sezione analizziamo l'impatto della trasformazione digitale su alcuni tra i più importanti settori portanti della società, evidenziando come la minaccia stia aumentando in questi settori a causa della trasformazione digitale e come la cybersecurity possa giocare un ruolo chiave per limitare i rischi legati a questa minaccia.

### ***Democrazia***

Per uno Stato democratico è indispensabile garantire elevati livelli di cybersecurity, sia per proteggere la sicurezza nazionale (inclusa la tutela delle libere elezioni e delle campagne elettorali da interferenze esterne) sia per garantire benessere economico e crescita del Paese. In tante nazioni si stanno sperimentando metodi e tecnologie per il voto elettronico; questi strumenti vanno tuttavia utilizzati con cautela, soprattutto per elezioni generali. Non esistono, infatti, sistemi informatici sicuri al 100% e le possibilità di successo di un attacco dipendono da quanto un attaccante sia disponibile a investire e, quindi, da quanto si possa potenzialmente guadagnare dall'attacco. Ebbene, nel caso di elezioni politiche possono essere numerosi i soggetti interessati a investire molto, con l'obiettivo di governare, controllare o destabilizzare un Paese. Per evitare rischi, vanno sviluppate strategie nazionali che allineino i bisogni di sicurezza nazionale con quelli di crescita economica e promuovano la sicurezza sin dalla progettazione di tutte le politiche digitali.

## ***Finanza***

La trasformazione digitale è stata anche l'occasione di un cambiamento radicale dei modelli di business di banche e assicurazioni. Tanti servizi bancari sono erogati tramite dispositivi mobili e hanno visto l'ingresso di operatori globali come Amazon e Google nell'area dei pagamenti. L'allargamento dell'ecosistema a operatori non bancari pone ovviamente seri problemi in termini di sicurezza operativa. La digitalizzazione dei servizi assicurativi comporta invece un crescente utilizzo dei dati di contesto associati a transazioni o raccolti dai dispositivi IoT (*Internet of Things*) per l'esecuzione di analitiche online. Questo uso ha aumentato il valore unitario dei dati finanziari sul mercato illegale e li ha resi un bersaglio più attraente per gli attaccanti. Il settore finanziario ha infatti subito, negli ultimi anni, attacchi senza precedenti, caratterizzati da vettori di attacco distribuiti e coordinati. L'analisi di questi attacchi permette di individuare tre minacce fondamentali: (i) compromissione temporanea delle funzionalità dei servizi bancari e assicurativi; (ii) furto organizzato su larga scala di dati bancari e finanziari; (iii) violazione dell'integrità dei dati presenti all'interno del sistema bancario/assicurativo.

## ***Trasporti***

Garantire cybersecurity nell'ambito trasporti richiede di considerare ambiti strettamente correlati e interdipendenti: i veicoli, i servizi e le infrastrutture. Per i veicoli e i servizi, la diffusione di dispositivi IoT, che permette di incrementare il comfort dei passeggeri e di offrire servizi innovativi, introduce sfide sia per il trattamento dei tanti dati generati, sia per l'aumento smisurato della superficie di attacco e della loro capillarità e pervasività. A breve diventerà ineludibile per il nostro Paese dotarsi di infrastrutture che nel medio/lungo periodo permettano la guida

completamente autonoma di veicoli su gomma e l'impiego di droni in ambito urbano; per fare questo è importante sapere che è indispensabile un radicale cambio di paradigma. Al di là dei necessari adeguamenti legislativi, occorre prevedere l'introduzione di norme che vincolino il progetto e la successiva realizzazione di queste nuove infrastrutture al concetto e alla pratica della *security by design*, non essendo né concepibile né tollerabile che si ripeta, per queste infrastrutture cyberfisiche, lo stesso errore commesso per quelle informatiche, inizialmente progettate senza considerare aspetti di cybersecurity. Ed è anche necessario definire nuovi standard in grado di integrare la vasta gamma di standard internazionali del mondo dei trasporti, definiti per affrontare problematiche di *safety*, di garanzia della qualità del servizio e di tolleranza ai guasti, con le problematiche di security introdotti dalle nuove tecnologie e, in particolare, dall'IoT.

## ***Industria***

La trasformazione digitale cambierà profondamente il modo di fare industria nel futuro. La nuova industria perderà completamente il concetto di perimetro fisico che l'ha caratterizzata fino a ora, trovandosi così immersa nel cyberspazio, con fornitori e clienti in un unico grande spazio virtuale. L'IoT, l'intelligenza artificiale, il *cloud* e le tecnologie delle aziende stanno eliminando completamente il perimetro, spostando dati e servizi al di fuori di esso. Per questo, a livello aziendale esistono numerosi rischi legati alla cybersecurity: tuttavia, in troppi contesti lavorativi, questa è ancora considerata esclusivamente un onere e non un *asset*. È importante che nelle aziende parta un processo di consapevolezza che coinvolga tutti, mirato a evidenziare che quello cyber è un rischio primario per la sopravvivenza delle aziende.

Tale processo deve portare all'avvio di processi di formazione del personale e di gestione del rischio cyber basato sulle migliori pratiche

internazionalmente riconosciute. Dal punto di vista della catena di approvvigionamento (*supply chain*), non si può più prescindere anche da un controllo su hardware e software che entrano nel perimetro aziendale. Da qui l'esigenza primaria della presenza di un sistema di certificazione sostenibile che possa aiutare un'azienda a orientarsi sui vari prodotti da acquisire, avendo la garanzia di un livello di sicurezza adeguato.

### ***Comunicazione e stampa***

Informare ed educare alla cybersecurity è una sfida che riguarda tutti: cittadini, imprese, istituzioni e università. Per questo è fondamentale individuare un linguaggio comune, adeguato a comunicare correttamente i temi della cybersecurity. La confusione linguistica porta all'uso di parole che rinviano a concetti deformanti. Un tipico esempio è quello della parola *hacker* e delle *attività di hacking*. L'equivalenza errata che identifica l'hacker con i criminali informatici sollecita paure irrazionali e ci priva di una teoria e di una pratica dove invece gli hacker possono essere i migliori alleati della cybersicurezza. Essere un hacker, un virtuoso della programmazione, esperto di reti e computer, è la condizione necessaria, ma non sufficiente, per penetrare abusivamente in un sistema informatico protetto. Gli hacker che agiscono senza obiettivi criminali possono essere dei formidabili difensori del nostro cyberspazio, e molti in effetti lo sono. Per questo è importante capire che esistono molte tipologie di hacker. Per quelli che commettono un reato l'aggettivo che li qualifica è *criminali*. Al riguardo, è importante che il legislatore capisca questa differenza di fondo e la normi in modo adeguato.

### **La ricerca scientifica a garanzia della cybersecurity**

La ricerca scientifica è fondamentale per affrontare le sfide che il *cybercrime* pone alla società digitale. Le sfide riguardano sia la ricerca

scientifica sia l'innovazione tecnologica. In molti casi, oltre all'ottenimento di risultati teorici, è necessaria la realizzazione di sistemi prototipali mirati a una più rapida industrializzazione delle soluzioni. Data la diversità degli obiettivi e delle competenze necessarie per affrontare queste sfide, è necessaria una forte sinergia tra il mondo della ricerca scientifica e quello della ricerca industriale. In particolare, le aziende avranno un ruolo fondamentale - all'interno di un sistema integrato - nella successiva prototipazione e industrializzazione delle soluzioni proposte. Il rapporto tra ricerca e industria dovrà essere di tipo circolare, nel senso che i problemi affrontati dovranno essere definiti in modo condiviso; gli approcci innovativi definiti sulla base di scenari e requisiti individuati in modo collaborativo; le soluzioni sviluppate andranno poi modificate e via via raffinate sulla base delle esperienze industriali sul campo. Tutto ciò permetterà di realizzare un trasferimento tecnologico tempestivo ed efficace. Infine, un ruolo importante è assegnato al Governo e alle istituzioni in termini di definizione dei necessari contesti normativi e della messa in atto di programmi di finanziamento per affrontare le sfide dettagliate nel seguito. Il resto di questa sezione è dedicato a presentare e discutere tre direttrici principali nella ricerca, e specificatamente: *Azioni abilitanti*, *Tecnologie abilitanti* e *Tecnologie da proteggere*.

## **Azioni abilitanti**

In quest'area sono incluse le azioni necessarie a rendere più sicuro il ciclo di gestione della minaccia: dalla protezione di applicazioni critiche alla creazione di una banca nazionale delle minacce, dalla difesa da attacchi cibernetici o sociali all'uso malevolo dell'Intelligenza Artificiale.

## *Protezione dei Servizi in Rete*

Le applicazioni e i servizi in rete stanno rapidamente diventando il canale preferito dagli utenti per l'accesso ai servizi digitali erogati dalla PA e dalle aziende. Si pensi, a titolo di esempio, ai portali dell'INPS e dall'Agenzia delle Entrate, ai servizi di biglietteria digitale e all'home banking. Tali applicazioni consentono di effettuare operazioni che presuppongono elevati standard di sicurezza, sia per la sensibilità dei dati trattati sia per l'impatto economico o reputazionale che un abuso del servizio da parte di malintenzionati comporterebbe. Spesso servizi avanzati sono erogati combinando sistemi diversi che interagiscono, dando vita a dei veri e propri ecosistemi. Poiché i dati presenti negli ecosistemi sono generati da applicativi interoperanti, di diversi livelli di sofisticazione, complessità e sicurezza, i rischi di una loro sottrazione sono amplificati. In questi casi, l'analisi di sicurezza risulta particolarmente complessa, in quanto i problemi possono emergere dall'interazione tra componenti, anche quando ciascuna di esse sia stata ben progettata, verificata e realizzata. È pertanto importante disporre di metodologie, strumenti e ambienti per valutare, analizzare e misurare il livello di sicurezza delle singole componenti, dei sistemi ottenuti tramite la loro interazione, e degli ecosistemi derivanti dalla composizione di altri sistemi. Questo si traduce in una serie di sfide scientifiche e obiettivi di ricerca.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> In particolare: (1) Per le applicazioni che ad esempio acquisiscono e trasmettono dati medico-sanitari sensibili tramite dispositivi personali, è necessario individuare le misure necessarie per considerare tali dispositivi come veri e propri dispositivi medici e sottoporli alle opportune certificazioni prima del loro utilizzo. (2) Occorre sviluppare metodologie automatiche di analisi della sicurezza, configurazione, gestione e test, in grado di analizzare applicazioni reali, complesse per dimensione, eterogeneità di linguaggi e flusso di dati e controllo. (3) È necessario sviluppare metodologie e strumenti per l'attestazione di integrità a livello sia di componenti (applicazioni, sistemi operativi, gestori di virtualizzazione, protezioni di sicurezza, sistemi embedded, ecc.) sia di infrastruttura (reti fisiche e virtuali, cloud e edge computing).

## ***Individuazione Malware***

I *malware* rappresentano una delle minacce primarie in ambito di cybersecurity, in quanto sono sia veicoli per accedere a un sistema remoto, per controllarlo e per comprometterlo (*botnet*), sia strumenti per la sottrazione o distruzione di informazioni presenti in sistemi informatici. Le violazioni causate da *malware* (codici malevoli) rappresentano il 69% delle violazioni censite, con un incremento annuo del 10%. Dietro la creazione e distribuzione di nuovi *malware* risiede un ampio riutilizzo di codice. Analisi dettagliate hanno evidenziato come molti codici di questo genere siano ottenuti tramite reingegnerizzazioni di *malware* preesistenti, limitando, di conseguenza, il successo dei sistemi di protezione tradizionali basati su *signature detection*, in quanto i nuovi *malware*, pur producendo gli stessi effetti di quelli originali, si presentano sotto forme diverse.<sup>5</sup>

## ***Lotta al Cybercrime***

Gli ultimi dieci anni sono stati caratterizzati da una enorme crescita del numero di incidenti legati alla sicurezza informatica di natura molto eterogenea: dal furto di identità al cyberspionaggio, dalle truffe finanziarie ai *ransomware*. Questo fenomeno è la conseguenza di un'evoluzione paradigmatica del mondo del cybercrime, che agisce oggi

---

<sup>5</sup> In questo settore gli obiettivi principali da perseguire per la ricerca scientifica possono essere così riassunti: (1) Creazione di una banca dati nazionale di codici malevoli, costruita a partire da un'infrastruttura che raccolga e permetta di coordinare le risposte in caso di attacco via malware. È necessario migliorare e adeguare gli schemi esistenti di rappresentazione delle minacce. Questo richiede strumenti di raccolta (honeypot) e strumenti di analisi automatica e classificazione del codice. (2) Sviluppo di un ecosistema di strumenti e metodologie per la sorveglianza automatica del cyberspazio e l'individuazione preventiva di campagne di malware attraverso il loro monitoraggio e raggruppamento in base ai canali di comunicazione utilizzati (ad esempio, condivisione di domini Internet o di algoritmi generatori di nomi di dominio) o per similarità e condivisione di codice, condivisione dei server remoti di comando e controllo, piattaforme o mercati obiettivo dell'attacco.

secondo un modello di *crime as a service* in cui strumenti di hacking estremamente potenti e complessi diventano accessibili a prezzi contenuti e possono essere utilizzati senza richiedere competenze tecniche approfondite. Allo stesso tempo è cresciuta anche la complessità degli attacchi.

Gli attacchi hanno mostrato come i cybercriminali siano in grado di infiltrarsi in organizzazioni complesse, prendere il completo controllo di sistemi di larga scala, e in tali sistemi persistere per anni, nascondendo efficacemente la loro presenza e le loro azioni. Questo tipo di attacchi particolarmente complessi e strutturati, tipicamente noti con il nome di *Advanced Persistent Threat (APT)*, rappresenta oggi un problema fondamentale per tutte le grandi organizzazioni (pubbliche e private) che agiscono in un contesto globale. L'asimmetria tra chi attacca e chi si difende continua a crescere: il tempo necessario per penetrare un sistema si riduce grazie a strumenti di attacco sempre più efficaci, mentre il tempo necessario per scoprire ed eradicare la presenza di una minaccia cyber cresce; ridurre questa asimmetria è un obiettivo fondamentale.<sup>6</sup>

### ***Individuazione di Fake News***

Proteggere i processi decisionali dalle attività di disinformazione e controinformazione è un'attività vitale per ogni Paese. Storicamente si tratta di un compito affidato ai servizi di intelligence e la partita si è

---

<sup>6</sup> In questo contesto, i principali obiettivi scientifici da perseguire sono i seguenti: (1) Sviluppo di piattaforme di Threat intelligence che permettano la costruzione di una base di conoscenza relativa a gruppi cyber-criminali, attraverso l'acquisizione da fonti nascoste e protette. (2) Identificazione di vulnerabilità in ambienti complessi attraverso lo sviluppo di un framework per il monitoraggio e l'analisi del comportamento di sistemi complessi per l'identificazione di vulnerabilità e possibili percorsi di attacco. (3) Automazione delle indagini forensi: sviluppo di strumenti finalizzati all'analisi automatizzata dei sistemi oggetto di attacco al fine di estrarre e correlare in modo automatizzato informazioni legate alle attività dell'attaccante.

finora disputata in uno scenario in cui la diffusione di informazioni e conoscenze avveniva tramite le testate giornalistiche, gli organi di partito o le gerarchie accademiche. Internet ha radicalmente cambiato il modo in cui si crea e si accede alla conoscenza, stravolgendo tutti i sistemi di mediazione a favore di un accesso diretto a una moltitudine di contenuti. La complessità dei fenomeni della realtà è apparentemente accessibile a tutti, ma non sempre in modo comprensibile: il nostro sistema cognitivo fatica ad adeguarsi a nuovi concetti come incertezza, complessità, probabilità, tendendo a favorire sintesi e narrazioni più semplici, e quindi rassicuranti. In questo nuovo contesto va affrontato il problema antico della diffusione delle notizie false (fake news) e delle sue conseguenze.

Il processo della diffusione delle informazioni false passa attraverso una serie di meccanismi cognitivi che porta ad acquisire le informazioni affini alla propria visione del mondo e a ignorare le tesi contrarie; tutti noi tendiamo poi a formare gruppi fortemente polarizzati su narrazioni condivise. Questo rende feconda la diffusione di informazioni false a fini pretestuosi, sia economici sia al servizio di altri interessi, che possono avere un peso notevole nel dibattito pubblico. Il problema è serio e delicato e la scienza in generale, e l'informatica in particolare, debbono svolgere un ruolo dirimente e fondamentale in questa sfida. Di seguito riportiamo i principali obiettivi da perseguire. Prima di farlo riteniamo utile sottolineare che per raggiungerli è necessario adottare un approccio multidisciplinare, mettendo in atto una serie di iniziative e sinergie su più piani per garantire una migliore comprensione del problema nel contesto attuale e per mettere a punto risposte efficaci attraverso sinergie tra i vari attori del sistema informativo. La sola soluzione tecnologica non è

sufficiente per via della complessità del fenomeno e l'analisi non può essere né solamente algoritmica, né lasciata esclusivamente all'uomo.<sup>7</sup>

## ***Intelligenza Artificiale***

L'Intelligenza artificiale (IA) merita un discorso a parte dovendo essere vista sia come tecnologia da proteggere sia come tecnologia da cui proteggersi.<sup>8</sup> Le capacità di apprendimento automatico stanno crescendo a un ritmo senza precedenti. Queste tecnologie sono alla base di applicazioni molto utili, che vanno dalla traduzione automatica all'analisi delle immagini in medicina, ed è prevedibile che ci saranno molte altre applicazioni di questo tipo nel breve e nel lungo termine. L'IA sta quindi attirando tantissima attenzione; minore attenzione è stata dedicata finora al fatto che l'IA può essere usata male. In questa sezione vogliamo esaminare le potenziali minacce alla sicurezza derivanti da usi malevoli dell'IA, cercando di individuare modi per prevedere, prevenire e mitigare queste minacce.

Man mano che le capacità dell'IA diventano più potenti e diffuse, se ne farà un uso crescente nel contesto della cybersecurity: i costi degli attacchi ai sistemi informatici potranno essere ridotti significativamente

---

<sup>7</sup> In questo contesto, i principali obiettivi scientifici da perseguire sono i seguenti: (1) Effettuare un continuo monitoraggio dei social media per identificare i temi di interesse e le loro tendenze, in modo da capire il fabbisogno informativo degli utenti. Il monitoraggio sarà utile per individuare e seguire la dinamica delle echo chamber, ovvero quei luoghi digitali dove si parla solo all'interno di gruppi che hanno idee omogenee, con meccanismi che si autoalimentano, rinforzando gli elementi comuni e attenuando, se non eliminando, quelli dissonanti. (2) Segnalare precocemente potenziali argomenti che possano essere veicolo di informazioni false-fuorvianti-strumentali, utilizzando approcci di tipo statistico, in cui un classificatore basato su machine learning usa caratteristiche sintattiche, semantiche, nonché la rete dei flussi di informazione, per fare previsioni accurate sui possibili argomenti suscettibili di veicolare o diventare essi stessi fake news.

<sup>8</sup> Brundage M., et al., *The Malicious Use of Artificial Intelligence: Forecasting, Prevention, and Mitigation*, February 2018, pp. 1-100 - <https://arxiv.org/pdf/1802.07228.pdf>

dall'uso scalabile di sistemi basati su IA: questi potranno essere utilizzati per svolgere rapidamente, e senza grandi costi aggiuntivi, attività che normalmente richiederebbero lavoro umano, intelligenza e competenza. E gli attacchi consentiti dall'uso dell'IA possono essere particolarmente efficaci, finemente mirati, difficili da attribuire, e in grado di sfruttare le vulnerabilità dei sistemi di IA utilizzati dai difensori. Di seguito prendiamo in considerazione separatamente tre domini di sicurezza, illustrando i possibili cambiamenti alle minacce all'interno di questi domini attraverso esempi rappresentativi.

*Sicurezza digitale:* L'uso dell'IA per automatizzare i compiti connessi all'esecuzione di attacchi cibernetici ridurrà il gap esistente tra la portata e l'efficacia degli attacchi. Questo può espandere la minaccia associata ad attacchi informatici ad alta intensità di lavoro (come *spear phishing* o pesca mirata). Ci aspettiamo inoltre nuovi attacchi che sfruttino le vulnerabilità umane (ad esempio attraverso l'uso della sintesi vocale per l'impersonificazione), le vulnerabilità software esistenti (ad esempio attraverso l'hacking automatico) o le vulnerabilità dei sistemi IA (ad esempio attraverso *adversarial learning* o apprendimento automatico in ambiente ostile e avvelenamento dei dati).

*Sicurezza fisica:* L'uso dell'IA per automatizzare i compiti connessi all'esecuzione di attacchi con droni e altri sistemi fisici (ad esempio, attraverso l'impiego di sistemi d'arma autonomi) può ampliare le minacce associate a tali attacchi. Ci aspettiamo inoltre nuovi attacchi che sovvertano i sistemi cibernetici (ad esempio, causando il blocco o incidenti di veicoli autonomi) o che coinvolgano sistemi fisici che sarebbe impossibile dirigere a distanza (ad esempio, uno sciame di migliaia di micro droni).

*Sicurezza politica:* L'uso dell'IA per automatizzare i compiti di sorveglianza (ad esempio analisi di dati raccolti in massa), persuasione

(ad esempio creazione di propaganda mirata) e inganno (ad esempio manipolazione di video) può espandere le minacce associate all'invasione della privacy e alla manipolazione sociale. Sono da aspettarsi anche nuovi attacchi che sfruttino una migliore capacità di analizzare comportamenti, stati d'animo e convinzioni umane sulla base dei dati disponibili. Queste preoccupazioni sono più significative nel contesto degli Stati autoritari, ma possono anche compromettere la capacità di democrazie mature a sostenere dibattiti pubblici veritieri.<sup>9</sup>

## **Tecnologie abilitanti**

Gli ambiti progettuali in quest'area mirano a irrobustire alcune delle tecnologie di base da utilizzare per proteggere i dati, limitare gli attacchi e i loro effetti e, in generale, per aumentare la resilienza dei sistemi anche attraverso soluzioni mirate di *security by design*. In particolare, in questa sezione, vengono considerate le architetture hardware che garantiscano livelli più alti di sicurezza, la crittografia, la blockchain, le tecnologie biometriche e quantistiche.

---

<sup>9</sup> Per limitare gli attacchi all'IA i principali obiettivi della ricerca scientifica dovrebbero includere: (1) Tecniche per il rilevamento di code injection per scoprire la presenza di software non voluto, fondendo risultati provenienti da più contesti, come ad esempio quelli dell'anomaly detection, del secure coding o dell'analisi statica o dinamica del codice, in un unico quadro che garantisca flessibilità e accuratezza nella rilevazione.(2) Nuovi approcci per rendere più robusti la maggior parte degli algoritmi di machine learning utilizzati attualmente come supporto all'automazione e che non sono stati pensati per essere resistenti ad attacchi cyber. (3) Promozione di una cultura della responsabilità che porti i ricercatori a considerare la natura a duplice uso (civile e militare) del loro lavoro. (4) Collaborazione tra politici, ricercatori e tecnici per studiare, prevenire e mitigare i potenziali usi dannosi di IA. La collaborazione con la comunità di sicurezza di informatica dovrà contribuire all'utilizzo di tecniche basate su attacchi mirati per scoprire vulnerabilità, migliorare l'efficacia dei sistemi, nonché la divulgazione responsabile delle vulnerabilità riscontrate.

## *Architetture Hardware*

Analogamente a quanto avviene per il software, i dati e le infrastrutture di comunicazione, anche l'hardware deve essere progettato, costruito, collaudato, usato e mantenuto tenendo conto dei possibili attacchi cyber e delle loro conseguenze. L'hardware esegue il software e costituisce, di fatto, l'ultima linea di difesa: se l'hardware è corrotto, tutti i meccanismi introdotti per rendere sicuro il software (a qualsiasi livello) possono rivelarsi inutili. Un hardware non opportunamente protetto può costituire l'anello debole della catena, diventando una facile porta di accesso al sistema, alle sue funzionalità e ai dati trattati.

Come per il software, le vulnerabilità dell'hardware possono derivare da errori di progetto o da componenti malevoli inseriti intenzionalmente all'interno di dispositivi. Inoltre, a differenza del software, l'hardware può essere osservato e controllato, e quindi fisicamente attaccato, dall'esterno.

Le vulnerabilità derivanti dall'hardware possono essere corrette solo modificando il progetto e sono quindi di fatto destinate a rimanere presenti per sempre all'interno dei dispositivi.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Per poter utilizzare in modo sicuro dispositivi vulnerabili occorre: (1) Sviluppare soluzioni di architettura in grado di tollerare le vulnerabilità hardware impedendone lo sfruttamento da parte di attaccanti malevoli. È necessario pertanto progettare e realizzare delle cosiddette architetture tolleranti le vulnerabilità, cioè architetture in grado di garantire livelli di sicurezza predefiniti anche in sistemi con vulnerabilità di diversa natura, note o non ancora rivelate, presenti indifferentemente nei dispositivi hardware o nelle applicazioni software. Le soluzioni proposte devono essere in grado di fornire livelli di sicurezza variabili e adattabili alle diverse criticità dei sistemi. (2) Garantire il controllo del Paese sulle architetture utilizzate in ambienti critici richiede l'allestimento di una produzione nazionale che punti a rendere affidabile (e quindi sviluppata in ambienti protetti dal punto di vista di fiducia nelle persone coinvolte, negli strumenti di ausilio alla progettazione impiegati e nelle eventuali terze parti reperite a qualsiasi titolo sul mercato estero) l'intera filiera, che va dalla progettazione al processo di produzione, al collaudo, alla certificazione, all'installazione, alla manutenzione, agli aggiornamenti e alla dismissione di componenti.

## **Crittografia**

La crittografia rappresenta la tecnica di base per garantire informazioni sicure dal punto di vista della indecifrabilità dei messaggi. È infatti uno dei meccanismi fondamentali per la protezione dei dati e per l'identificazione, utilizzato in modo pervasivo ad esempio quando ci colleghiamo alla nostra banca via Web, utilizziamo il bancomat, le carte di credito e disabilitiamo il dispositivo che immobilizza la nostra automobile.

Negli ultimi anni il numero di vulnerabilità dei sistemi crittografici è aumentato considerevolmente. Sistemi ritenuti fino a qualche anno fa inviolabili sono oggi considerati insicuri; basti pensare alle funzioni *hash* crittografiche quali MD5 e SHA1 per le quali è stato dimostrato che è possibile computare le collisioni e, conseguentemente, falsificare eventuali firme digitali basate su tali funzioni. Inoltre, l'avvento di computer quantistici metterà in crisi i sistemi di cifratura standard, come RSA, ed è quindi di fondamentale importanza studiare algoritmi *post quantum* che siano robusti rispetto a tecnologie che, verosimilmente, saranno disponibili tra pochi anni.<sup>11</sup>

## **Biometria**

La verifica dell'identità digitale è elemento essenziale per la sicurezza di un sistema, informatico e non. I metodi tradizionali per il riconoscimento

---

<sup>11</sup> In questo contesto, i principali obiettivi della ricerca scientifica dovrebbero riguardare: (1) Lo sviluppo di strumenti e tecniche per valutare il livello di sicurezza crittografica di applicazioni, librerie e API crittografiche, monitorare gli errori crittografici tipici in modo da prevenire futuri attacchi, e investigare tecniche di crittoanalisi applicata in grado di aggirare le garanzie di sicurezza degli algoritmi crittografici. (2) L'avanzamento dello stato attuale della crittoanalisi dei sistemi, utilizzando problemi matematici diversi dalla fattorizzazione di interi e dall'estrazione del logaritmo discreto. (3) Il progetto di nuovi crittosistemi il cui livello di sicurezza sia quantificabile con precisione rispetto all'utilizzo di calcolatori quantistici o classici, e investigare l'attuabilità dei crittosistemi post quantum su dispositivi di calcolo di uso generale o dedicato.

degli individui sono basati su chiavi, token, documenti di identità e password. Questi approcci, seppur ancora validi, stanno mostrando tutti i loro limiti in termini di sicurezza e soprattutto di usabilità. Per questo motivo, stanno diffondendosi tecnologie di riconoscimento biometrico che valutano tratti fisici o comportamentali della persona, quali l'impronta digitale o la faccia, acquisiti tramite sensori. I sistemi biometrici digitalizzano il tratto biometrico dell'utente e ne producono una rappresentazione, chiamata template, che sintetizza le caratteristiche univoche e costanti del tratto analizzato rispetto all'individuo che lo possiede. Il template di un individuo, memorizzato su un documento o in un archivio, viene quindi utilizzato durante le successive fasi di riconoscimento, confrontando i template memorizzati con la rappresentazione acquisita di una persona sottoposta a verifica. Il sistema biometrico decide se il riconoscimento è avvenuto utilizzando una misura di similarità fra il template acquisito e quelli presenti in archivio.

Le prestazioni di un sistema biometrico possono variare notevolmente in base al tratto biometrico impiegato e al livello di cooperazione richiesto agli utenti. La scelta del tratto biometrico da usare per applicazioni specifiche avviene sulla base di un'accurata analisi dei requisiti operazionali e di sicurezza, tenendo ovviamente in considerazione le leggi sulla protezione dei dati personali.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Tra i principali obiettivi che la ricerca deve affrontare vanno, quindi, annoverati i seguenti: (1) Mettere a punto metriche che permettano di validare i sistemi biometrici rispetto a criteri fondamentali quali l'usabilità, la resistenza ad attacchi sofisticati (miranti a replicare le biometrie e i comportamenti di un individuo), l'interoperabilità, i costi e le prestazioni. (2) Avviare sperimentazioni sulla definizione di tratti comportamentali da impiegare nelle biometrie comportamentali che siano allo stesso tempo biometrici e sicuri, in quanto non replicabili. (3) Sviluppare tecnologie usabili al fine di incrementare la diffusione dei sistemi biometrici in ambito commerciale e privato, con particolare riferimento a tecniche di acquisizione senza contatto e a maggiore distanza. (4) Sviluppare tecniche che utilizzino più banche dati biometriche sfruttando metodi di comparazione basati su metodi di fusione multimodale in funzione delle biometrie disponibili.

## ***Blockchain e Distributed Ledger***

La tecnologia del *Distributed Ledger* (DLT), o blockchain, è la tecnologia utilizzata per le criptovalute. Le criptovalute sono solo una delle possibili applicazioni di questa tecnologia che, utilizzando crittografia a chiave pubblica e algoritmi di consenso, permette di mantenere un database distribuito di transazioni garantendo verificabilità, irreversibilità e integrità. Vi sono due categorie di piattaforme DLT: *unpermissioned* (aperta) e *permissioned* (regolata). La prima, di cui Bitcoin è l'esempio più noto, è mantenuta da nodi pubblici, ed è accessibile a chiunque. La seconda coinvolge solo nodi autorizzati e quindi permette transazioni più veloci, sicure e convenienti. Molti Paesi e più di 90 banche centrali stanno investendo sull'adozione della DLT; è strategico per l'Italia analizzare le opportunità, i rischi e le sfide legate all'adozione di una infrastruttura DLT nazionale. Una blockchain nazionale (aperta o regolata) apre sfide di Ricerca e Innovazione: dal controllo in campo monetario, ai servizi per la PA e alla gestione dei diritti digitali e alla protezione dei brevetti; dalle innovazioni nel voto elettronico e nelle catene di distribuzione.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> I principali obiettivi di ricerca nel nostro Paese potrebbero essere: (1) Fornire al Governo, attraverso il monitoraggio e l'analisi delle transazioni nelle DLT esistenti, gli strumenti in grado di rilevare attività illegali come il riciclaggio di denaro, l'evasione fiscale, i traffici illeciti e i pagamenti per ransomware (un tipo di malware che limita l'accesso del dispositivo che infetta, richiedendo un riscatto *-ransom* in inglese- da pagare per rimuovere la limitazione). (2) Realizzare una DLT *permissioned* per il sistema Paese dove poter migrare i servizi pubblici che necessitano di un controllo normativo e di elevate garanzie in termini di integrità di protezione di dati e funzioni, come tutte le applicazioni che richiedono la registrazione di tipo legale di documenti. (3) Utilizzare DLT per registrare vendite, prestiti, donazioni e altri trasferimenti di opere d'arte protette da copyright o da brevetto, e risolvere le relative dispute. Lo sviluppo di blockchain in questo settore può consentire politiche di licenza multiterritoriale e aumentare la certezza del diritto per i creatori e gli acquirenti, fornendo meccanismi di risoluzione delle controversie su tariffe, condizioni di licenza, diritti di gestione. (4) DLT nei processi di gestione delle catene di distribuzione per ridurre i costi e costituire un deterrente per attività illecite, usando le transazioni riportate nel ledger per verifiche anti frode e anti contraffazione, con ricadute sulle garanzie di autenticità dei prodotti finali e sulla possibilità di ricostruire in maniera affidabile la storia di qualsiasi prodotto, dall'origine fino alla distribuzione al dettaglio.

## ***Tecnologie quantistiche***

Lo sviluppo, negli ultimi due decenni, delle tecnologie quantistiche ha posto le premesse per creare nuovi sistemi di comunicazione intrinsecamente sicura utilizzando la crittografia quantistica, e in particolare la distribuzione quantistica di chiavi crittografiche (*Quantum Key Distribution*, QKD), che, utilizzando le proprietà della luce a livello quantistico, permette di rivelare in tempo reale la presenza di attacchi e violazioni del canale di comunicazione, e così garantire la sicurezza della trasmissione. La QKD consiste nella generazione di chiavi crittografiche, condivise unicamente tra il trasmettitore e il ricevitore mediante la trasmissione di singoli fotoni attraverso canali di comunicazione convenzionali e non protetti (ad esempio fibre ottiche o in *free space*). Le chiavi crittografiche, la cui sicurezza è garantita dalle leggi della fisica, potranno poi essere utilizzate per cifrare messaggi tra due utenti, o per altri protocolli crittografici.

Le tecnologie quantistiche sono una tecnologia strategica per il Paese ed è quindi fondamentale che l'Italia potenzi le proprie capacità scientifiche e tecnologiche in questo settore al fine di limitare, se non eliminare, la propria dipendenza da Paesi e aziende straniere in un campo così strategico. Al riguardo occorre sviluppare e testare sul campo le nuove tecnologie, e raccorderle con le più avanzate tecniche classiche di sicurezza e protezione dei dati.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Questo obiettivo può essere raggiunto attraverso i seguenti sottobiettivi: (1) Sviluppo di una piattaforma sperimentale italiana di QKD su scala globale, basata su sistemi QKD in fibra ottica e in *free space*. (2) Integrazione e interazione tra le tecniche di sicurezza classica e quantistica. (3) Sviluppo di nuovi schemi e tecnologie per QKD di prossima generazione. (4) Studio e sviluppo di schemi di codifica dell'informazione quantistica che permettano la massima efficienza e sicurezza. (5) Progettazione e implementazione di protocolli di comunicazione quantistica avanzati quali il teletrasporto quantistico, i quantum repeater e l'*entanglement swapping*.

## **Tecnologie da proteggere**

La strategia di cybersecurity contempla inoltre strumenti e azioni necessarie a proteggere alcune tecnologie chiave, quali le comunicazioni wireless, i servizi cloud, le logiche funzionali dei sistemi e, anche nella prospettiva di *Impresa 4.0*, i sistemi IoT, i sistemi di controllo industriale e i robot.

### ***Comunicazioni wireless e sistemi 5G***

La rete 5G include non solo la rete cellulare ma anche la rete fissa, fornendo servizi con parametri prestazionali migliori anche di diversi ordini di grandezza rispetto alle soluzioni attuali; è caratterizzata da soluzioni tecniche radicalmente nuove, tra cui la realizzazione in software di funzioni di rete, complesse e critiche, oggi realizzate in hardware e la suddivisione della rete in fette, ognuna delle quali fornisce a un sottoinsieme degli utenti una rete virtuale autonoma, capace di soddisfare specifiche esigenze, in un quadro complessivo che vede la convivenza all'interno della rete di diverse organizzazioni (*multi tenancy*). L'insieme di queste caratteristiche muta profondamente le problematiche di sicurezza della rete.<sup>15</sup>

### ***Cloud***

Il paradigma del cloud offre sicuramente benefici economici e flessibilità nell'utilizzo delle risorse. Tuttavia, il problema della sicurezza in ambienti cloud rappresenta una delle maggiori preoccupazioni per le aziende e le

---

<sup>15</sup> Al riguardo si ritiene vadano perseguiti i seguenti obiettivi: (1) Sviluppare piattaforme, architetture, soluzioni tecniche e linguaggi per la programmazione software delle funzioni di rete per realizzare e gestire in modo sicuro reti virtualizzate e segmentate logicamente. (2) Studiare tecnologie e contesti di comunicazione e wireless sensing emergenti per gestire la sicurezza e proteggere i dati in scenari di rete 5G dedicati al supporto di servizi IoT.

organizzazioni pubbliche che vogliono spostare i propri servizi, applicazioni e dati sensibili su questa modalità.

Un sistema informatico è considerato sicuro in base alla correttezza dell'insieme di regole atte a garantire un opportuno livello di protezione e alla sua capacità di applicare tale politica correttamente. Il paradigma cloud è basato sul principio della delega a una terza parte della gestione di infrastrutture, dati e applicazioni. Questa delega rende inaccessibile parte del sistema e quindi impossibile non solo verificare la corretta applicazione delle politiche previste, ma in alcuni casi anche semplicemente specificare con la dovuta precisione la politica di sicurezza da adottare. Normalmente, le politiche di protezione anche avanzate dei cloud provider risultano inaccessibili per gli utenti e soprattutto non monitorabili. E così anche la garanzia che i vincoli normativi locali siano rispettati può diventare un problema insormontabile.

La sfida principale per la corretta adozione del cloud passa per la costruzione di metodi e tecniche che permettano di definire e verificare il livello di sicurezza di un sistema informatico che utilizzi al suo interno servizi cloud. Lo sviluppo di metriche di sicurezza che permettano di valutare quantitativamente un'offerta di servizi di questo genere rappresenta una delle sfide più sentite dal punto di vista degli utenti.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Al riguardo, i principali obiettivi da perseguire sono i seguenti: (1) Progettare e sviluppare metriche di sicurezza e di security benchmarking che permettano agli utilizzatori di valutare e confrontare i servizi e le policy di sicurezza implementate dai provider con i propri requisiti di sicurezza e le normative vigenti su protezione e località dei dati. (2) Definire modelli e strumenti utili alla stesura di polizze assicurative per i provider, capaci di stimare il rischio residuo e valutare il danno subito a fronte di un attacco informatico. (3) Definire modelli e strumenti per cloud federation sicure, che possano consentire di integrare in maniera affidabile servizi offerti da cloud diversi. (4) Sviluppare soluzioni per garantire la confidenzialità dei dati su cloud anche a fronte della eventuale compromissione di parte dell'infrastruttura. (5) Sviluppare servizi di sicurezza open source che possano essere adottati e specializzati da enti pubblici, e soprattutto dalle imprese italiane, permettendo loro di rispettare vincoli normativi che possono avere costi esorbitanti se applicati in piccolo all'utilizzo di servizi in cloud.

## ***Internet delle cose***

I dispositivi IoT hanno ormai larghissimo impiego perché permettono sia di migliorare la qualità dei servizi offerti dalle apparecchiature in cui sono inseriti, sia di crearne di nuovi. La loro diffusione ha però accresciuto a dismisura la cosiddetta superficie di attacco, introducendo di fatto nuove vulnerabilità che possono avere conseguenze gravi per gli utenti, se non prevenuti e trattati in modo specifico. Questo fenomeno è oggi particolarmente sentito anche in ambito industriale dove, grazie anche agli incentivi resi disponibili dai vari piani di sviluppo di Impresa 4.0, la diffusione di dispositivi IoT ha raggiunto livelli significativi.<sup>17</sup>

## ***Industrial Control System***

Si registra oggi, in ambito industriale, un elevato livello di integrazione tra l'Information Technology (IT) e l'Operational Technology (OT). Questo processo evolutivo, portatore di nuove funzionalità e servizi, ha fatto emergere la necessità di incrementare la sicurezza e la resilienza dei

---

<sup>17</sup> Al fine di incrementare la resilienza di apparati e servizi che impiegano dispositivi IoT è necessario attivare un insieme di progetti che, nella loro globalità, mirino al raggiungimento dei seguenti obiettivi: (1) Sviluppare adeguati modelli per descrivere e analizzare i possibili attacchi a sistemi che impiegano dispositivi IoT, considerando sia il livello fisico, dove le conseguenze sono, tipicamente, errati valori di grandezze fisiche rilevati da sensori e trasmessi al sistema di controllo, sia il livello funzionale, dove si manifestano funzionalità anomale del sistema come conseguenza dei valori errati di cui sopra. (2) Proporre soluzioni efficienti, in termini di usabilità e costi, per la misura e la verifica della correttezza di grandezze e caratteristiche fisiche di dispositivi IoT, sviluppando soluzioni nelle quali sia possibile una distribuzione gerarchica della catena di fiducia, demandando, a titolo di esempio, a terminali certificati il controllo della sicurezza di un insieme di dispositivi IoT a essi connessi. (3) Sviluppare piattaforme e sistemi di monitoraggio in grado di identificare comportamenti anomali in dispositivi IoT impiegati nel controllo di sensori e attuatori. (4) Definire metodologie e strumenti per la progettazione e lo sviluppo di applicazioni basate su dispositivi IoT sicure, distribuite ed eterogenee, nonché piattaforme per l'installazione, la gestione e l'operatività sicura e usabile di sistemi IoT eterogenei e dinamici. (5) Definire architetture che rispettino la protezione dei dati personali dell'utente e lo proteggano da potenziali accessi malevoli ai dati sfruttando dispositivi IoT.

sistemi di controllo industriale (Industrial Control System - ICS).

Tra gli aspetti di cui tener conto nella progettazione e nello sviluppo di soluzioni per la sicurezza di questi sistemi, una particolare attenzione va posta alla differenza tra il tempo di vita di un sistema ICS e quello di un sistema IT. Tipicamente, infatti, mentre il tempo di vita di un sistema ICS, basato su tecnologie progettate e sviluppate per uno specifico dominio, è dell'ordine di 10-15 anni, quello di un componente IT è molto inferiore, mediamente dell'ordine di 3-5 anni. Questa differenza rappresenta un fattore estremamente critico nel momento in cui si pianificano attività di aggiornamento e manutenzione dei sistemi ICS, a causa dei requisiti stringenti di disponibilità e affidabilità posti da tali sistemi.<sup>18</sup>

## ***Robot***

La robotica sta oggi oltrepassando le proprie delimitazioni classiche e, da sistema automatico utilizzato principalmente nel mondo industriale e dell'automazione, si sta ibridando con tecnologie quali il Cloud Computing, l'Intelligenza Artificiale e l'IoT. Essa gioca, inoltre, un ruolo centrale nel contesto di Impresa 4.0, dando vita, nel contempo, alla informatizzazione del settore industriale, alla robotizzazione del mondo consumer e alla delocalizzazione dell'intelligenza in cloud (*Cloud Robotic*).

Per quanto concerne gli aspetti di cybersecurity, oltre ai problemi di sicurezza derivanti dalle azioni fisiche del robot (visto come dispositivo in grado di compiere direttamente azioni meccaniche nel mondo fisico senza

---

<sup>18</sup> In relazione alle sfide poste dalla sicurezza dei sistemi ICS, occorre attivare iniziative progettuali finalizzate al raggiungimento dei seguenti obiettivi: (1) Definire tecniche specifiche per l'analisi delle vulnerabilità dei sistemi ICS/SCADA, motivate dalle peculiarità di tali sistemi, derivate anche dalla coesistenza e integrazione di tecnologie IT e OT. (2) Definire un framework per l'analisi delle proprietà di sicurezza passiva e attiva di questi sistemi (safety e security), l'individuazione e la modellizzazione delle loro interdipendenze e dei loro requisiti (che possono anche essere tra loro conflittuali) e la valutazione automatica dell'impatto di problematiche di security sugli aspetti di safety.

un diretto e continuo controllo da parte di un operatore umano), un ulteriore aspetto da considerare riguarda il fatto che la capacità di movimento autonomo può essere strumentale anche all'acquisizione di dati e informazioni tramite sensori mobili, con potenziali rischi per la protezione delle informazioni e dei dati personali. La diffusione dei robot pone pertanto una serie di sfide di natura interdisciplinare che investono, oltre alla sfera scientifica e tecnologica, anche quella sociologica e giuridica.

Per quanto riguarda l'ambito sociologico e giuridico, l'Italia, come molti altri Paesi, è ancora sprovvista di norme che regolino l'utilizzo di robot e dispositivi autonomi. Ad esempio, attualmente è illegale il volo di droni autonomi in modo non supervisionato.

In generale, manca ancora una comprensione approfondita dei profili di criticità introdotti da possibili attacchi cyber in ambiti diversi dal punto di vista sia tecnico sia sociale.<sup>19</sup>

## **Conclusioni**

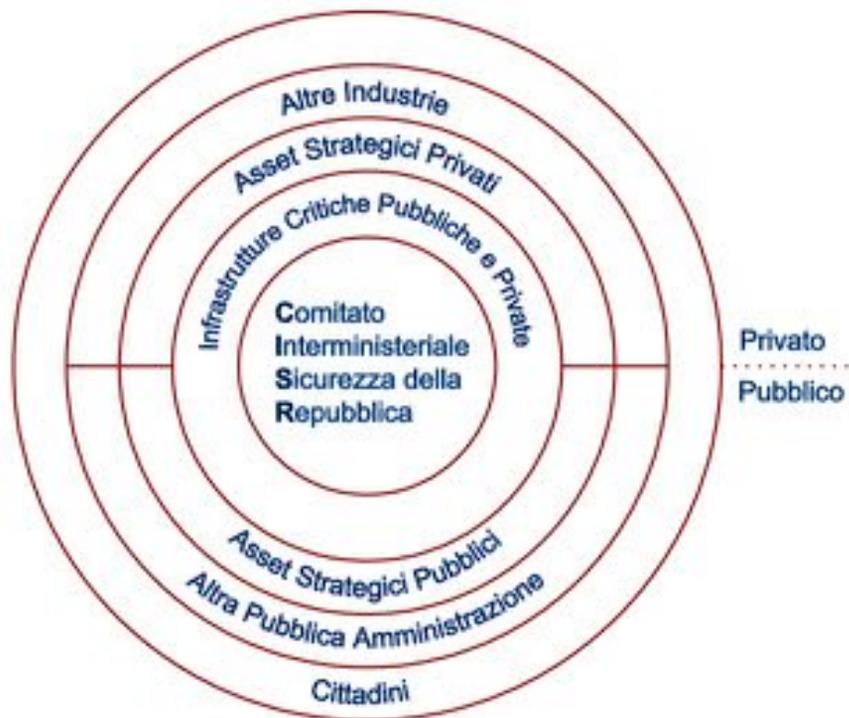
Dopo questa ricognizione, riteniamo utile fare alcune raccomandazioni ai decisori politici relativamente ai passi necessari per rispondere in modo adeguato alla sfida della trasformazione digitale. Per far questo è necessario affrontare le sfide a diversi livelli.

---

<sup>19</sup> Riteniamo utile perseguire pertanto i seguenti obiettivi: (1) Sotto il profilo strettamente tecnico, specializzare tecnologie di cybersecurity ai sistemi robotici autonomi, sviluppando protocolli e soluzioni di sicurezza che garantiscano non solo le informazioni, ma anche la sicurezza fisica di questi sistemi e siano quindi in grado di coniugare opportunamente safety e security, ad esempio nella gestione della circolazione di veicoli e mezzi di trasporto automatizzati o autonomi. (2) Sotto il profilo sociale occorre studiare gestione o manipolazione dei dati personali dell'individuo acquisiti dal robot nei contatti sociali e la possibile manipolazione delle emozioni umane dei soggetti deboli in contatto quotidiano con macchine artificiali sociali (robot in ambienti domestici o paradomestici, in particolare vicini ad anziani, bambini, malati).

La figura 2 rappresenta il quadro d'insieme degli asset pubblici e privati del nostro Paese: dai Ministeri costituenti il Comitato Interministeriale per la Sicurezza della Repubblica fino ai cittadini. Innalzare il livello di sicurezza e di resilienza del Paese richiede necessariamente l'innalzamento del livello di sicurezza e di resilienza di ciascuna delle componenti del quadro d'insieme. Più vicini si è al centro, più deve aumentare il coordinamento e la velocità nella risposta. Il settore con difese non adeguate diventa, infatti, l'anello debole dell'intero sistema Paese.

**Figura 2.** Gli asset pubblici e privati del Paese da difendere.



Le raccomandazioni che facciamo non intendono certamente essere esaustive, ma vanno a toccare due punti che noi riteniamo essenziali per una corretta implementazione di una politica di sicurezza cibernetica a livello nazionale:

- *Lo sviluppo di un ecosistema cibernetico nazionale che veda il governo, l'industria e la ricerca unite e coordinate per rendere il Paese resiliente ai nuovi attacchi cyber che possono impattare direttamente sui nostri valori e sulla nostra democrazia, oltre che sulla nostra prosperità.*
- *Un piano straordinario per affrontare la carenza di competenze in questo settore, sia attraverso un rafforzamento della capacità formativa e di ricerca delle università italiane sia tramite lo sviluppo di politiche di contrasto all'emigrazione intellettuale forzata.*

Questi due punti sono brevemente illustrati rispettivamente nelle due sezioni che seguono.

### ***Una rete di centri per la difesa dagli attacchi informatici***

La difesa di uno Stato sovrano contro gli attacchi cyber, perpetrati da organizzazioni criminali sempre più strutturate e articolate, richiede la realizzazione di un *eco-sistema cyber nazionale* che, grazie al contributo di soggetti e attori diversi, supporti la realizzazione della politica nazionale cyber. La struttura portante di questo ecosistema sarà costituita da una solida rete di centri di competenza di varia tipologia e natura che ruoterà attorno al *Centro Nazionale di Ricerca e Sviluppo in Cybersecurity*. In particolare, il Centro dovrà essere il punto di riferimento di una costellazione di altri *Centri Territoriali di Competenza in Cybersecurity*, distribuiti sul territorio con valenza di città metropolitana, regionale o interregionale e da un insieme di *Centri Verticali di Competenza in Cybersecurity*.

***Il Centro Nazionale di Ricerca e Sviluppo in Cybersecurity*** potrà costituire uno dei pilastri basilari di tutto il processo di implementazione del *Piano Nazionale per la protezione cibernetica e la sicurezza*

*informatica*.<sup>20</sup> Questo Centro, caratterizzato da una struttura centralizzata, multidisciplinare, con adeguata massa critica, in parte governativa e in parte legata al mondo della ricerca pubblica e privata, ha come compito principale la ricerca, lo sviluppo di piattaforme, di adeguate soluzioni architetture e di applicazioni e la messa in atto di azioni di varia natura, finalizzate all'interesse nazionale. Il Centro avrà ovviamente anche il compito di assistere i policymaker e i vari stakeholder pubblici nelle attività di analisi, ricerca scientifica, sviluppo, *scouting* tecnologico e ingegnerizzazione dei sistemi, tenendo conto del panorama internazionale.

Il Centro dovrà essere in grado di attrarre ricercatori e investitori pubblici e privati (nazionali) per sviluppare ricerche di punta su tematiche di interesse strategico, per il Paese, nel settore cyber. Al riguardo, è auspicabile che vengano definiti e resi operativi con urgenza meccanismi agili e flessibili che permettano a ricercatori e docenti di università e di enti di ricerca pubblici di ottenere il distacco temporaneo presso il Centro, senza penalizzazioni né per il personale distaccato né per i rispettivi enti di provenienza. Seguendo l'esempio dei *Federally Funded Research and Development Center* (FFRDC) statunitensi, il Centro dovrà essere la punta di diamante della ricerca cyber nazionale, coordinandosi con altri centri di ricerca presenti in Italia, e attivandosi per implementare le necessarie sinergie con omologhi centri presenti nei Paesi con i quali l'Italia storicamente collabora.

***I Centri Territoriali di Competenza in Cybersecurity*** dovranno essere caratterizzati da almeno due obiettivi ben definiti relativi al supporto all'economia e all'amministrazione locale, e alla sensibilizzazione

---

<sup>20</sup> Direttiva recante indirizzi per la protezione cibernetica e la sicurezza informatica nazionali (Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 17 febbraio 2017) <https://www.sicurezzanazionale.gov.it/sisr.nsf/wp-content/uploads/2017/04/DPCM-17-02-2017.pdf>

dei cittadini. Per gli aspetti economico-amministrativi, questi centri territoriali dovranno aiutare le imprese e la Pubblica Amministrazione locale a fronteggiare le sfide poste dall'evoluzione della minaccia cyber. Faranno questo curando il trasferimento tecnologico, la formazione, la consulenza e fornendo supporto per la protezione di knowhow e di asset fisici e virtuali, e strumenti utili a migliorare offerta e competitività. Questi centri potranno anche gestire osservatori locali sulla cybersecurity per condividere informazioni sugli attacchi tra i diversi enti, garantendo la dovuta riservatezza, e potranno contribuire all'identificazione e gestione di progetti di ricerca e di trasferimento tecnologico di interesse strategico locale.

**I Centri Verticali di Competenza in Cybersecurity** dovranno rispondere alla necessità di settori di mercato specifici, quali, ad esempio, energia, trasporti, sanità, mercati finanziari. I vari attori potranno utilizzare i centri verticali, da un lato, per rispondere alla necessità, espressa dai diversi settori di disporre di centri ad hoc per lo sviluppo di attività dedicate e peculiari per il dominio e, dall'altro, per garantire la condivisione delle informazioni attraverso tavoli di scambio e di analisi. Nell'ambito della cybersecurity la condivisione delle informazioni è infatti alla base di qualunque strategia di difesa; avere informazioni tempestive, complete e affidabili consente decisioni più consapevoli e accelera le azioni di protezione, come pure le azioni di rilevamento, reazione, contenimento e ripristino in tempo di crisi.

Il complesso mosaico necessario a supportare la politica nazionale cyber necessita anche di altri pezzi, peraltro già previsti dal *Piano Nazionale per la protezione cibernetica e la sicurezza informatica*. Ci riferiamo a tre strutture e specificatamente: al *Laboratorio Nazionale di Crittografia*, alla rete di *Cyber Range* e al *Centro di Valutazione e Certificazione*. Il primo, che dovrà operare in stretto collegamento con il Centro Nazionale di Ricerca e Sviluppo per coniugare al meglio teoria e pratica, servirà a

mettere a fattor comune le tante conoscenze matematiche della nostra accademia e la lunga tradizione dei nostri apparati militari nel settore della crittografia. Il secondo coordina poligoni virtuali dedicati all'addestramento dei professionisti del settore, costituiti da ambienti e sistemi controllati che si prestano a un'ampia varietà di impieghi, quali la formazione e l'aggiornamento individuale alla cybersecurity, l'addestramento e la valutazione delle capacità di squadre di operatori mediante lo svolgimento di esercitazioni, la valutazione e messa a punto di nuove tattiche e tecniche di difesa. Il terzo dovrà invece avere il duplice scopo di valutare la sicurezza dei prodotti e dei dispositivi da installare all'interno delle infrastrutture critiche nazionali e di rilasciare certificazioni di sicurezza ai prodotti.

### ***Un piano straordinario per formazione, ricerca e occupazione***

Per essere realizzati, i progetti e le azioni che abbiamo proposto richiedono una notevole forza lavoro in termini di tecnici, ingegneri, esperti e ricercatori, distribuita sul territorio. Questo richiede di avviare, quanto prima, un piano straordinario per trattenere in Italia il maggior numero possibile di competenze legate alla cybersecurity e per formarne ancora di più. Alcune proiezioni prevedono una carenza di competenze mondiale di 3 milioni e mezzo di personale esperto nell'ambito della sicurezza cibernetica, e tante realtà a livello internazionale si stanno organizzando per ovviare ai problemi connessi a questa lacuna. Ricordiamo, ad esempio, l'iniziativa della città di New York<sup>21</sup> che, attraverso un piano di investimenti strategici pubblico-privati, punta a "far crescere la forza lavoro della sicurezza informatica, aiutare le aziende a guidare l'innovazione e costruire reti e spazi comuni". Le figure professionali legate alla sicurezza hanno un mercato mondiale e

---

<sup>21</sup> <https://www.cyber-nyc.com>

spesso in Italia ci troviamo a competere con realtà che offrono condizioni lavorative di gran lunga migliori. La fuga dall'Italia per cogliere opportunità salariali importanti e la scarsa creazione di figure professionali adeguate rispetto al bisogno rendono il deficit di competenze in Italia ancora più critico. Pertanto, è necessario e urgente mettere a punto strategie di *brain retention* che rendano più attraente lavorare su tematiche di sicurezza informatica nel nostro Paese. Inoltre, dobbiamo creare le condizioni per riportare in Italia i nostri migliori cervelli nell'ambito della scienza e dell'imprenditoria nel settore della sicurezza.

Al momento, il numero di figure professionali prodotte dalle nostre università è troppo basso anche a causa del basso numero di docenti presenti in Italia in questo settore che di fatto impedisce sia l'attivazione di nuovi corsi di laurea in cybersecurity in molte università italiane, sia lo sviluppo di significative attività di ricerca. Per raggiungere nel più breve tempo possibile un livello di forza lavoro adeguato alle esigenze del Paese, auspichiamo che, come avvenuto nel passato per altre aree, ad esempio per la chimica negli anni '60, si riconosca la strategicità del settore della cybersecurity e venga avviato in Italia un piano straordinario per l'assunzione di ricercatori e professori universitari che si occupino di sicurezza informatica e, in generale, di trasformazione digitale in tutte le sue componenti: giuridiche, economiche e soprattutto tecnologiche. Solamente una significativa azione straordinaria può aumentare la velocità di creazione della massa critica necessaria.

Investire nella formazione e nell'addestramento in sicurezza cibernetica fornisce una risposta unica a molteplici problemi del Paese e diventa indispensabile nell'ambito della progressiva digitalizzazione promossa dal piano Impresa 4.0. Formare le nuove generazioni innescherà un processo virtuoso in cui la classe dirigente e i tecnici del futuro avranno le competenze, il bagaglio culturale e le capacità operative necessarie per

confrontarsi con le sfide tecnologiche e scientifiche che cambieranno le nostre vite nei prossimi decenni, sviluppando le necessarie iniziative necessarie per affrontare i continui cambiamenti e i relativi rischi che ci aspettano in futuro.

## **La ricerca scientifica contribuisce alla sicurezza collettiva: il caso della dinamica delle folle**

*di Nicola Bellomo, Livio Gibelli, Valentina Romano*

L'ansia indotta dalla necessità di vivere in una società sicura ha ormai pervaso la nostra società in ambiti diversi, che vanno dalla sicurezza informatica a quella fisica. Le tragiche vicende di Parigi, Bruxelles e Nizza hanno posto in evidenza come condizioni di normale vita quotidiana possano rapidamente evolvere in tragedie di vaste proporzioni. Questi esempi si caratterizzano per la presenza di atti terroristici dove la folla diventa un bersaglio. Altri tragici eventi, dal naufragio della nave Costa Concordia all'isola del Giglio o al tentativo di evacuazione della folla in Piazza San Carlo a Torino, si caratterizzano per incidenti improvvisi, non prevedibili, a seguito dei quali la dinamica è sfuggita al controllo degli addetti alle situazioni di crisi.

Non sempre queste dinamiche sono indotte da incidenti. Infatti, situazioni di pericolo possono nascere ogniqualvolta il livello di stress individuale subisce un'improvvisa impennata per eventi che, per cause non prevedibili, inducono panico. Questo rapidamente pervade l'intera folla generando comportamenti irrazionali, che creano concentrazioni locali di individui superiori ai livelli accettabili di sicurezza.

Tuttavia, la presa di coscienza del problema e dei rischi ai quali si può andare incontro non deve tradursi nella sola ansia, seguita poi dalla proposta di soluzioni semplicistiche, spesso indotte dalla ricerca di un facile consenso piuttosto che dal tentativo di fronteggiare reali situazioni di crisi. Infatti, problemi di rischio nella dinamica delle folle richiedono uno studio scientifico e quindi rigoroso della dinamica di molti soggetti

interagenti, dove i comportamenti individuali conducono a dinamiche collettive non immediatamente prevedibili.

Il nostro intento è di analizzare come la ricerca scientifica possa contribuire a migliorare i livelli di sicurezza fisica nelle situazioni di possibile crisi nella dinamica delle folle, e quindi anche descrivere come i risultati delle ricerche in corso possano essere organizzati a beneficio della società.

Vorremmo quindi rispondere ai seguenti quesiti: cosa si intende per folla e quali comportamenti razionali e irrazionali caratterizzano la sua dinamica in situazioni di crisi? Quale ruolo possono svolgere i modelli matematici e computazionali nei problemi di sicurezza e in quali direzioni si muove la ricerca scientifica? Come viene finanziata questo tipo di ricerca e quali figure professionali sono state formate?

### **Folla e comportamenti razionali e irrazionali**

È importante prima di tutto capire le caratteristiche principali del comportamento della folla in condizioni di stress con l'obiettivo di indicare gli elementi di comportamento da inserire in un modello computazionale.

Lo studio della dinamica delle folle richiede di distinguere fra evacuazione ordinata e razionale ed evacuazione in condizioni di stress (panico). Nel primo caso la folla si muove in modo ordinato, ha un determinato traguardo e lo raggiunge evitando zone di forte densità locale secondo traiettorie soggettivamente ottimali. Nel secondo caso i singoli soggetti della folla sono attratti a riprodurre le stesse traiettorie del moto dei soggetti circostanti creando, di conseguenza, pericolose zone di alta concentrazione. Queste, nelle situazioni a più alto rischio, possono localizzarsi anche lontano da pareti e ostacoli.

Le situazioni di maggior rischio si verificano a partire da zone di tensione localizzata generate da incidenti, ma alle volte anche dalla presenza anche di un solo soggetto con comportamenti apparentemente aggressivi. In queste circostanze, la folla si muove con elevate velocità che risentono fortemente dell'eterogenea capacità motoria dei singoli individui. Inoltre, il panico si propaga velocemente nella folla.

In estrema sintesi, la dinamica di ogni individuo in una folla è indotta da un processo decisionale che determina le traiettorie e la velocità con la quale l'individuo si muove in una situazione di evacuazione sia ordinata che in condizioni di stress. Il processo decisionale corrisponde a una scelta, ponderata, fra le seguenti tendenze:

- 1. Direzione di uscita, individuata visivamente ed eventualmente a seguito di indicazioni vocali.*
- 2. Scelta di traiettorie sicure che evitino il contatto con pareti o ostacoli.*
- 3. Scelta di traiettorie ottimali che evitino zone a elevata densità locale.*
- 4. Attrazione a seguire il flusso principale di evacuazione.*
- 5. Aumento della velocità di movimento in condizioni di stress.*

Il quarto punto è in contrapposizione con i primi tre, nel senso che condizioni di stress elevato ampliano questa tendenza rispetto alle altre. L'attrazione a seguire il flusso principale di evacuazione induce a concentrarsi con altri nella stessa zona e rappresenta la causa principale di incidenti nella folla.

Il peso relativo nella scelta fra queste quattro tendenze dipende da vari fattori:

- La tendenza 1 (*direzione di uscita*) è individuata dai soggetti prossimi alle possibili vie di evacuazione ed è seguita dagli altri mediante dinamiche di apprendimento collettivo.
- La tendenza 2 (*traiettorie che evitino il contatto con ostacoli*) dipende dalla geometria dell'area dove avviene il processo di evacuazione.
- Le tendenze 3 e 4 sono in conflitto fra loro e dipendono sia dalla qualità fisica dell'area dove il processo di evacuazione avviene sia dal livello di stress al crescere del quale la tendenza 4 prevale rispetto alla tendenza 3.
- La tendenza 5 solo in apparenza migliora le condizioni di flusso. Infatti quando prevale la tendenza 4, indotta da elevate condizioni di stress, la folla tende ad aggregarsi rapidamente in zone di elevata concentrazione, dove possono aver luogo incidenti gravi.

## **Ruolo dei modelli matematici**

I modelli più recenti, e concettualmente avanzati, sono stati derivati nell'ambito del Progetto Europeo eVACUATE<sup>1</sup> tenendo conto non solo dei rilevamenti sperimentali elaborati nel progetto, ma anche dell'analisi dei comportamenti psicologici della folla, anche questi supportati da dati

---

<sup>1</sup> European Union - Settimo Programma Quadro, Contratto Numero 313161 (eVACUATE). Titolo del progetto: "A holistic, scenario independent, situation awareness and guidance system for sustaining the Active Evacuation Route for large crowds" sviluppato nel periodo Maggio 2013 - Luglio 2017.

sperimentali.<sup>2,3</sup> Una caratteristica importante del progetto è stato lo studio della dinamiche delle folle in ambienti complessi, in particolare l'interno di una nave, una stazione di metropolitana, dalla piattaforma di attesa del treno alle vie di uscite, lo stadio.

Ai modelli matematici e computazionali si chiede molto, in particolare di prevedere la densità numerica della folla, il numero di soggetti per metro quadrato, tenendo conto sia della geometria sia della qualità dei percorsi che possono variare molto nel tentativo di raggiungere le vie di fuga.

Aspetto chiave della modellizzazione è la necessità di tener conto di come il livello di stress si propaghi nella folla e modifichi il comportamento degli individui, considerando che livelli elevati di stress agiscono contro la sicurezza fisica, in quanto favoriscono il crearsi di zone a elevata densità. Queste, a loro volta, possono indurre incidenti gravi, a volte mortali.

Senza entrare in dettagli è comunque possibile fornire alcune caratteristiche dei modelli matematici sviluppati nel progetto:

- 1. Lo stato di ogni individuo è definito non solo da posizione e velocità di movimento, ma anche da altre variabili quali il livello di stress.*
- 2. Lo stato complessivo della folla è descritto da una distribuzione di probabilità sugli stati microscopici. Da questa si passa alle variabili macroscopiche quali la densità numerica locale e la velocità media sempre locale.*
- 3. Una teoria dei giochi aleatori è stata sviluppata per descrivere come i soggetti interagiscono fra loro e tengano conto della geometria e della*

---

<sup>2</sup> Bellomo N., Gibelli L., "Behavioral crowds: Modeling and Monte Carlo simulations toward validation", *Computers & Fluids*, 2016; 141: 13-21.

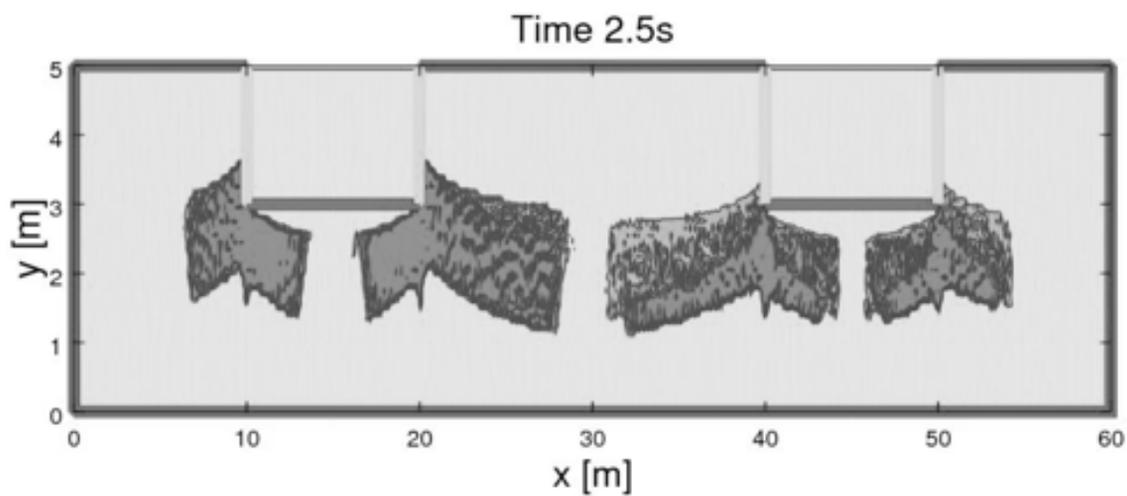
<sup>3</sup> Bellomo N., et al., "Human behaviours in evacuation crowd dynamics: From modeling to 'big data' toward crisis management", *Physics of Life Reviews*, 2016; 18: 1-21.

*qualità dell'ambiente così come esso è percepito visivamente da ogni individuo.*

- 4. La dinamica delle interazioni prevede prima uno scambio di informazioni fra i soggetti e, successivamente, l'elaborazione di una strategia di moto basata su una scelta eterogenea fra le varie tendenze sopra descritte.*
- 5. Il modello matematico è infine ottenuto mediante un'equazione di bilancio numerico nel volume elementare degli stati microscopici. Le simulazioni sono ottenute con metodi noti con la denominazione "Monte Carlo", che tengono conto del carattere statistico della dinamica.*

La costruzione dei modelli e la loro trattazione computazionale ha richiesto l'elaborazione di metodi innovativi attualmente oggetto di studi teorici intesi a indagare le caratteristiche complessive del metodo matematico, ora noto come "Teoria cinetica delle particelle attive".

**Figura 1.** Simulazione di evacuazione di folla da due uscite, a sinistra con propagazione di stress.



I modelli matematici vanno validati secondo le procedure applicate ai sistemi di molti soggetti viventi, quindi complessi, interagenti. Si chiede quindi ai modelli di riprodurre risultati empirici a seguito di esperimenti e misure su situazioni reali osservate nel comportamento delle folle.

Occorre distinguere fra due tipi di risultati empirici: quelli in condizioni di flusso stazionario, uniforme almeno in alcuni tratti, e i comportamenti collettivi emergenti osservati per condizioni ambientali particolari. Per quanto riguarda i primi risultati, si chiede ai modelli di riprodurre questi anche rispetto a misure quantitative. Per quanto riguarda i secondi, si chiede ai modelli di riprodurre i comportamenti emergenti per condizioni generali prossime a quelle realmente osservate.

## **Due tipi di sicurezza**

Lo studio della dinamica delle folle, in situazioni di crisi, rende necessaria una definizione precisa del termine "*sicurezza*", che va distinto in riferimento agli obiettivi cui tale termine può riferirsi. Questa distinzione non pare necessaria nell'uso della lingua inglese, dove sono presenti due termini distinti. In particolare, occorre distinguere fra:

- Sicurezza-protezione (security) *intesa come protezione da possibili incursioni esterne, ad esempio presenze terroristiche, comunque da soggetti ritenuti portatori di rischio.*
- Sicurezza fisica (safety) *intesa come supporto a evitare il danno fisico ai cittadini, ad esempio in condizioni di evacuazione forzata indotta da incidenti.*

A queste due interpretazioni del termine sicurezza corrispondono azioni diverse necessariamente correlate. Inoltre, a queste due interpretazioni corrispondono competenze e responsabilità diverse non facilmente integrabili. La comunità delle nazioni europee pare attenta a questo

complesso lavoro di integrazione, come vedremo nella sezione successiva, in quanto le dinamiche relative alla sicurezza-protezione hanno forti implicazioni nella sicurezza fisica. Si tratta quindi di sviluppare ricerche sui problemi di criminalità e terrorismo.

Studi recenti<sup>4</sup> indicano come livelli elevati di professionalità e addestramento, indubbiamente costosi, degli apparati di sicurezza, possano avere un ruolo fondamentale in un supporto efficace nelle situazioni di crisi. Pertanto la necessità di sicurezza non deve solo essere rivolta ad aumentare il numero di addetti agli apparati, ma soprattutto a elevare il loro livello di professionalità.

I risultati della ricerca, condotta durante il progetto e successivamente, sono stati superiori alle aspettative. Infatti, il simulatore si è dimostrato in grado di tener conto sia dei livelli di stress della folla, sia della complessità dei percorsi da seguire nel processo di evacuazione. Risultati più recenti, successivi alla conclusione del progetto, hanno consentito anche la simulazione della propagazione dello stress nella folla a partire da zone di concentrazione iniziale con elevata tensione individuale.

Una visione generale sull'utilizzo di questi risultati è immediata. Infatti, le simulazioni consentono di organizzare le vie di fuga ottimali e le azioni intese a produrre una dinamica di evacuazione in condizioni di livelli ottimali di sicurezza. Tutto ciò anche a vantaggio di una crescita del livello professionale degli addetti alla sicurezza fisica. Attualmente, le ricerche in corso sono finalizzate a un ulteriore sviluppo dei modelli computazionali per tener conto della presenza di gruppi antagonisti, e alla progettazione di una piattaforma con intelligenza artificiale che, ponendo in relazione situazioni reali e risultati di simulazione, conduca rapidamente a ottimizzare le possibili azioni di supporto alle situazioni di crisi.

---

<sup>4</sup> Bellomo N., *et al.*, "From a system theory of sociology to modeling the onset and evolution of criminality", *Networks and Heterogeneous Media*, 2015; 10: 421-441.

## **Finanziamenti e nuove professionalità**

La ricerca scientifica va finanziata non solo in quanto è un investimento a sostegno dell'innovazione tecnologica, ma anche perché può contribuire a una vita più serena dei cittadini. Investire oggi vuol dire non dover far fronte a spese ingenti domani quando, come è prevedibile, l'esigenza diventi necessità.

Non affrontiamo qui il problema, che pure esiste, del finanziamento della ricerca in generale. Piuttosto osserviamo che interessanti fonti di ricerca sono offerte dall'Unione Europea nell'ambito del finanziamento al sistema delle imprese, se possibile in collaborazione con centri di ricerca anche a livello accademico. L'idea base che guida questi finanziamenti è quella di individuare nuove prospettive di ricerca che abbiano future ricadute sulla società, consentendo a Paesi consapevoli di queste emergenze di acquisire competenze che a medio termine potranno rivelarsi preziose.

Non sempre il sistema delle imprese - almeno quelle medio piccole - è in grado di investire su progetti di ricerca sul tema della sicurezza. Pertanto è utile fornire un quadro conoscitivo relativo ai finanziamenti in questo settore resi disponibili dalla Comunità europea.

Le fonti di finanziamento per la ricerca accademica e i metodi di allocazione dei fondi si sono evoluti negli ultimi decenni. La ricerca accademica è ancora in larga parte finanziata da fonti pubbliche, ma fa sempre più affidamento a finanziamenti privati. Spesso i fondi per la ricerca all'interno delle università pubbliche vengono allocati in maniera competitiva e direttamente ai ricercatori, aumentando l'importanza dell'eccellenza scientifica e delle misure quantitative dei risultati della ricerca.

I dati OCSE evidenziano che negli ultimi anni la quota media di spesa in Ricerca e Sviluppo rispetto al PIL in Italia (1,28% nel 2016) è inferiore

alla media europea (1,93% nel 2016) e a quella dei principali Paesi industrializzati (2,3% nel 2016).<sup>5</sup>

Per questo motivo l'università italiana fa sempre più affidamento a fonti di finanziamento da parte di soggetti esterni e, in particolare, per portare avanti le attività di ricerca, ai programmi quadro per la ricerca Horizon 2020 è infatti il più grande Programma Quadro di finanziamento in Europa per la ricerca e lo sviluppo che, con una dotazione finanziaria complessiva di circa 80 miliardi di euro, a partire dal 2014 ha già approvato quasi 20 mila progetti, per un valore complessivo di oltre 30 miliardi di euro.

All'interno del programma una linea di finanziamento è rivolta a progetti in grado di contribuire alla sicurezza dei cittadini: "Secure societies", con un budget di 1,7 miliardi di euro tra il 2014 e il 2020 finanzia attività di Ricerca e Innovazione finalizzate a proteggere cittadini, società,

---

<sup>5</sup> In Italia inoltre risulta particolarmente modesta la spesa sostenuta dal settore privato, pari in rapporto al PIL a circa la metà di quella media dei Paesi dell'Unione Europea. Il contributo rispetto al PIL del settore pubblico è anch'esso inferiore alla media europea. Indicazioni analoghe si ottengono dai dati relativi al personale impiegato in attività di Ricerca e sviluppo, la cui quota sul totale delle forze di lavoro, pur in crescita nell'ultimo trentennio, è ancora nettamente inferiore rispetto alla media europea e OCSE e rispetto a quanto riscontrato negli altri principali Paesi europei e di altri continenti.

Tra il 2000 e il 2008 si è verificata una crescita complessiva delle entrate dell'università, determinata sia dall'incremento dei trasferimenti dal MIUR, sia dalla crescita delle entrate contributive e delle entrate finalizzate da altri soggetti. Dal 2008, nonostante il continuo aumento delle entrate contributive, si assiste alla stabilizzazione delle entrate finalizzate da altri soggetti, più che raddoppiate dall'inizio dello scorso decennio, e alla sensibile riduzione dei trasferimenti dal centro, determinando un complessivo calo delle entrate delle università. Il calo, significativo per molte voci di spesa, è stato determinato principalmente da quello del Fondo di finanziamento ordinario che da solo rappresenta oltre il 90% delle risorse complessive. Anche i principali programmi di finanziamento del MIUR per la ricerca hanno subito un decremento dopo il 2009. Si veda a questo proposito *Main Science and Technology Indicators*, OECD (2018).

economia, infrastrutture e servizi, garantire prosperità, stabilità politica e benessere, con un focus esclusivo sulle applicazioni civili.<sup>6</sup>

La partecipazione ai programmi di finanziamento è tuttavia diventata altamente competitiva, come dimostrano i tassi di successo dei progetti, che nel programma Horizon 2020 risultano essere dell'11,6% (contro il 18,4% del precedente Programma Quadro di Ricerca e sviluppo).<sup>7</sup> L'aumento della competitività internazionale e la diminuzione di fonti governative a supporto delle università aiutano a comprendere come oggi più che in passato la qualità del lavoro accademico sia strettamente legata alle capacità degli uffici di supporto di comprendere e soddisfare i bisogni dei ricercatori. Gli uffici di supporto alla ricerca, nati nelle università italiane a partire dal 2000, si avvalgono di personale specializzato e altamente qualificato, in grado di offrire un supporto mirato al ricercatore valorizzando le attività che aumentano le probabilità di successo.

Si assiste quindi all'emergere di una nuova figura professionale, quella dei Research Manager and Administrator (RMA), già riconosciuta negli Stati Uniti e in Gran Bretagna, le cui competenze sono indispensabili per assicurare l'attrazione, la gestione, la promozione e lo sfruttamento dei finanziamenti alla ricerca.

Dall'esperienza personale degli autori di questo capitolo è emerso che, a livello europeo, esiste una rete di imprese attive su tematiche di Ricerca

---

<sup>6</sup> Obiettivi principali di questo programma di finanziamento sono: (1) Aumentare la resilienza della società contro disastri naturali o causati dall'uomo, dallo sviluppo di nuovi strumenti per la gestione delle crisi all'interoperabilità delle comunicazioni e alla protezione delle infrastrutture. (2) Combattere il crimine e il terrorismo tramite l'utilizzo di strumenti differenti, che spaziano dall'attività forense alla protezione contro gli esplosivi. (3) aumentare la difesa dei confini, inclusi quelli marittimi e sviluppare gli strumenti di supporto alle politiche comunitarie e la prevenzione dei conflitti. (4) Aumentare la sicurezza informatica.

<sup>7</sup> *Key findings from the Horizon 2020 interim evaluation*, European Union, 2017.

e Innovazione tecnologica. La partecipazione, per queste aziende e per le università, significa anche una sorgente di finanziamento. Le piccole e medie imprese ne traggono un rilevante vantaggio, che consente loro di lavorare per il futuro senza esporre investimenti che sarebbero altrimenti proibitivi. Le università possono invece alimentare ricerche parallele. Questa partecipazione permette infatti il training di giovani ricercatori in ambiti di lavoro molto ricettivi, dove possono soddisfare le loro ambizioni a svolgere ricerca a livelli altamente competitivi.

Purtroppo però il livello di attenzione del sistema universitario in Italia è molto inferiore a quello di altre nazioni europee, dove la partecipazione di ricercatori è incentivata e riconosciuta. Di conseguenza, molti ricercatori, dopo aver operato nei progetti europei, hanno lasciato il Paese essendo reclutati in ambito internazionale.

Contrariamente a quanto il senso comune a volte suppone, la matematica non è rimasta solo su livelli astratti, ma ha fornito strumenti concettuali utili, superando le barriere delle frammentazioni accademiche. Inoltre, un nuovo fenomeno sta prendendo consistenza. Cresce, infatti, la mobilità di ricercatori affermati e con posto fisso. Questi lasciano l'Italia a favore di sedi dove incontrano certezza di finanziamenti, di meritocrazia, di retribuzioni più elevate, e forse anche di minore presenza di dinamiche di cooptazione interne ai centri di ricerca che in molti casi sostituiscono la selezione meritocratica. Tutto ciò sarebbe accettabile in presenza di un flusso analogo verso l'Italia. Tuttavia le statistiche parlano chiaro: questo flusso è trascurabile.

L'espressione "fuga di cervelli" appare quindi una semplificazione. Meglio sarebbe parlare di fuga di competenze e risorse culturali, oltre che economiche. Per invertire la tendenza è necessario superare molti ostacoli e occorre cambiare mentalità. In particolare, il sistema delle imprese dovrebbe ampliare l'iniziativa imprenditoriale a sostegno

dell'innovazione, che è motore di competizione a livello internazionale e quindi di sviluppo socioeconomico del Paese. L'accademia, a sua volta, dovrebbe sviluppare la capacità di rinnovarsi e introdurre processi meritocratici, basati anche sul riconoscimento della capacità di individuare tematiche di frontiera che aprano il dialogo fra scienze di base e problemi della società.

## **Conclusioni**

Investire sulla ricerca rivolta a problemi di sicurezza è una necessità per i cittadini in quanto la ricerca scientifica conduce a strumenti operativi piuttosto che a semplificazioni di un problema grave. Importante rendere sistematico il dialogo fra ricerca di base e sistema delle imprese. In tal senso, la Comunità europea dovrebbe favorire il dialogo e non limitare i finanziamenti alla ricerca di base ai soli ERC individuali.

Il sistema delle imprese dovrebbe seguire la tendenza generale che vede nel problema della sicurezza un futuro settore di sviluppo. L'accademia dovrebbe acquisire la consapevolezza che la ricerca applicata alle volte genera problemi concettuali di grande complessità.

Il dialogo fra scienze *hard* (ad esempio matematica, fisica, chimica, computer science) e alcune scienze *soft* (ad esempio biologia, sociologia, comportamenti umani) identifica un ambito della ricerca che nei prossimi anni impegnerà un numero crescente di ricercatori. Da questo dialogo la comunità scientifica si attende una graduale transizione, anche nelle scienze *soft*, dall'uso di metodi euristici allo sviluppo e applicazione sistematica di metodi rigorosi.

## **Nutrizione sostenibile per la salute dell'uomo e del pianeta**

*di Mauro Serafini, Daniele Del Rio, Maurizio Battino*

Una corretta alimentazione rappresenta un fattore centrale per il benessere della società, soprattutto quella occidentale, caratterizzata da un crescente aumento dell'obesità e delle patologie degenerative correlate. Ogni volta che noi consumiamo un pasto ad alto contenuto energetico, o sbilanciato dal punto di vista nutrizionale, causiamo nel nostro organismo uno stress post prandiale, inducendo meccanismi di protezione endogena che coinvolgono il sistema immunitario. Questa condizione, se continuata nel tempo, può causare condizioni di obesità e sovrappeso associate a un aumento di diversi fattori di rischio metabolici (trigliceridi, infiammazione, insulino-resistenza, ecc.). Il consumo in eccesso di questi cibi "stressogeni" rappresenta un danno non solo per la salute dell'individuo, ma anche un costo enorme per il Pianeta, date le emissioni di gas climalteranti prodotte lungo la filiera alimentare.

La sostenibilità nutrizionale si basa su alcuni cardini quali la preservazione della biodiversità, la sicurezza alimentare, la riduzione degli sprechi, il basso impatto ecologico del cibo e la funzionalità degli alimenti, rafforzando il concetto che la salute dell'uomo non può essere svincolata dalla salute del Pianeta. La sfida dei prossimi anni per la comunità scientifica sarà concentrata sulla capacità di aumentare le conoscenze dei rapporti tra dieta, salute e ambiente. La risoluzione di questo "trilemma" passa attraverso la riduzione degli sprechi alimentari e del danno ambientale che ne deriva e nel fornire ai cittadini opzioni per un utilizzo sostenibile del cibo attraverso la definizione di stili di vita funzionali e a basso impatto ambientale.

## **Bisogni nutrizionali e nutrizione personalizzata**

Non vi è ormai più alcun dubbio sul fatto che un'alimentazione varia ed equilibrata sia alla base di una vita in salute. Un'alimentazione scorretta, intesa soprattutto come un inadeguato consumo di alimenti e apporto di energia e nutrienti, rappresenta infatti uno dei principali fattori di rischio per l'insorgenza di numerose malattie croniche. Una corretta alimentazione passa quindi per un adeguato apporto di energia, macro e micronutrienti e altri elementi (primo fra tutti l'acqua). Con l'obiettivo di definire i fabbisogni medi per la popolazione (o, in alcuni casi, l'assunzione raccomandata o adeguata), in Italia vengono pubblicati i LARN, acronimo ora corrispondente a "Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia per la popolazione italiana".

Tuttavia, è ormai evidente come la risposta del nostro organismo al consumo di alimenti sia suscettibile alla variabilità fra individui. Negli ultimi anni, pertanto, il mondo della ricerca scientifica si sta muovendo sempre più verso una nutrizionale più personalizzata e indirizzata ad apportare il massimo beneficio a ciascuno proprio sulla base delle caratteristiche individuali. In questo contesto, i LARN, pur sembrando nettamente in contrapposizione con il concetto di nutrizione personalizzata, essendo indirizzati a tutta la popolazione, possono in realtà costituire la base per una ricerca scientifica nel campo della nutrizione sempre più raffinata e precisa, finalizzata a massimizzare i benefici di una corretta alimentazione sia per il singolo individuo sia per la collettività.

Molte ricerche hanno osservato come la risposta del nostro corpo al consumo di alimenti vari radicalmente all'interno della popolazione.<sup>1</sup> I

---

<sup>1</sup> Betts J.A., Gonzalez J.T., "Personalised nutrition: What makes you so special?", *Nutrition Bulletin*, December 2016; Volume 41, Issue 4, 1: 353-359.

fattori che definiscono questa variabilità sono legati allo stile di vita, allo stato di salute e alle caratteristiche genetiche del consumatore.

Molto recentemente, anche il cosiddetto microbiota intestinale, ossia la popolazione di microrganismi che coabita nel nostro intestino, e che rappresenta una componente cruciale nel mantenimento della nostra salute, è stato riconosciuto come fattore fondamentale nella modulazione delle risposte alla dieta. Questo, infatti, varia da individuo a individuo ed è in grado di trasformare i componenti della dieta con cui entra in contatto. A microbiota differente corrispondono prodotti differenti di tali trasformazioni dei nutrienti e non nutrienti che introduciamo con la dieta, con chiari effetti individuali sullo stato di salute.<sup>2</sup>

La nutrizione personalizzata identifica quindi un approccio dietetico che risulta cucito su misura sull'individuo e non sull'intera popolazione e che sviluppa una serie di indicazioni, raccomandazioni, prodotti e servizi specifici. L'approccio della nutrizione personalizzata potrà, in futuro, essere applicato sia alla gestione di soggetti che si trovano in una particolare condizione fisiologica, e che si trovano, per questo, in condizioni di necessità particolare (ad esempio in gravidanza o nei soggetti anziani), ma anche nello sviluppo di strategie preventive per tutta la popolazione, ma considerata per le peculiarità di ciascuno, con l'obiettivo di massimizzare i benefici associati a un'alimentazione corretta.

Malgrado si parli di nutrizione personalizzata da diversi anni, la mole di ricerche che permettano la definizione di raccomandazioni personalizzate per la quasi totalità dei nutrienti è ancora insufficiente. Questo nuovo approccio richiede inoltre una caratterizzazione del consumatore a un livello di dettaglio mai considerato prima, creando un inevitabile aumento dell'invasività della sfera personale.

---

<sup>2</sup> Ordovas J.M., *et al.*, "Personalised nutrition and health", *BMJ* (Online), 2018; Volume 361. Article number k2173.

Queste ricerche hanno quindi la necessità di riesaminare popolazioni studiate in passato da grandi studi epidemiologici. Se infatti molte delle raccomandazioni su cui si basano i LARN sono centrate su indagini di popolazione, è ora necessario esaminare le caratteristiche individuali esistenti per segmentare la popolazione in diversi gruppi. Questo approccio dovrebbe essere considerato soprattutto per le coorti di soggetti per le quali esistono biobanche, ossia per le quali è stato previsto uno stoccaggio sistematico di campioni biologici ottenuti dai volontari per ricerche future.

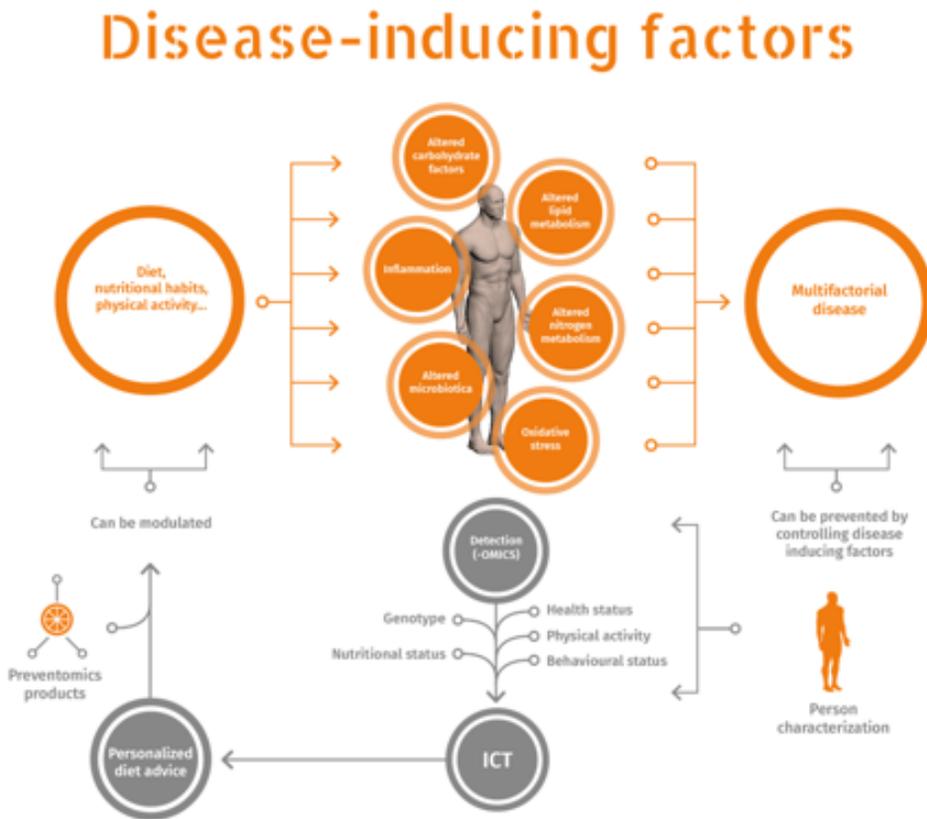
Allo stesso modo, risulta anche fondamentale la realizzazione di robusti studi di intervento nutrizionale in cui i volontari sono preselezionati per caratteristiche individuali nel contesto del comportamento, delle preferenze, delle barriere psicologiche e logistiche, delle caratteristiche genetiche e del microbiota intestinale. A differenza degli studi osservazionali, questi studi prevedono di sottoporre un gruppo di solito più piccolo di volontari a un intervento (come una dieta predefinita) tenendo sotto stretto controllo tutti gli altri fattori che potrebbero confondere i risultati. Un schema esemplificativo di un approccio attuale alla nutrizione personalizzata nel campo della prevenzione è quello del progetto Horizon 2020 Preventomics, rappresentato in figura 1, che utilizza strumenti innovativi (Information Communication Technology) per la profilazione dell'individuo e per la guida alle scelte alimentari.

Risulta poi fondamentale per il futuro l'integrazione di competenze e metodologie provenienti da diversi campi delle scienze biomediche e sociali, in modo da valutare in modo più ampio gli effetti dell'alimentazione sui singoli individui e al contempo adottare strategie minimamente invasive per la valutazione delle suddette caratteristiche.

Questo programma di ricerca nel settore degli alimenti e della nutrizione necessita di un consistente finanziamento, che permetta di sostenere le

attività volte alla comprensione e a successivi interventi di prevenzione, con evidenti ritorni per la qualità della vita dei cittadini e per i costi di salute pubblica associati alle malattie cronico-degenerative, ora più che mai associate a scelte alimentari scorrette.

**Figura 1.** Schema del concetto di nutrizione personalizzata per la prevenzione delle malattie: progetto EU "PREVENTOMICS" (courtesy of Eurecat. European project PREVENTOMICS - Grant Number 818318, [www.preventomics.eu](http://www.preventomics.eu)).



## Alimenti funzionali e salute

Negli ultimi anni numerosi studi hanno dimostrato che il regime alimentare e lo stile di vita, insieme all'ambiente, sono le cause principali della longevità. La più affascinante di queste ricerche è senz'altro quella delle *blue zone*, ossia aree del Pianeta nelle quali il tasso di longevità in

salute è più alto rispetto alle altre zone del mondo. Sono cinque le *blue zone* finora individuate: la Sardegna, nelle aree storiche dell'Ogliastra e della Barbagia,<sup>3</sup> l'isola greca di Ikaria, l'isola giapponese di Okinawa, la penisola di Nicoyain Costa Rica e Loma Linda, in California, nella comunità cristiana degli Avventisti del settimo giorno. Queste zone presentano caratteristiche alimentari, ambientali e culturali in comune, prima fra tutti un'alimentazione parca, frugale, semplice, genuina, povera di grassi, di zuccheri e di cibi industriali, caratterizzata da un elevato apporto di cibi di origine vegetale (frutta e frutta secca, verdura, legumi e cereali tipici della zona) che provengono dalla coltivazione della propria terra e da un moderato consumo di carne bianca o pesce (un paio di volte alla settimana), latte e formaggi per lo più caprini. Inoltre, gli anziani di queste zone sono generalmente molto attivi, con una ricca vita sociale, coltivano hobby, dedicano molto tempo alla famiglia e agli amici, impiegano parte della giornata alla meditazione, alla preghiera e alle passeggiate nella natura, dormono in media più dei loro coetanei di altre zone, vivendo la vecchiaia in modo sereno. Fra tutti i fattori coinvolti, sicuramente l'alimentazione "semi vegetariana" gioca un ruolo fondamentale nel promuovere la longevità e diminuire l'incidenza delle malattie legate all'invecchiamento.

Le diete con più alto consumo di frutta e verdura infatti producono sostanziali miglioramenti in alcuni fattori di rischio quali la pressione arteriosa, i livelli di lipidi plasmatici, la resistenza insulinica, i livelli di infiammazione, la funzione endoteliale e il controllo del peso corporeo. Tutto questo perché frutta, verdura e cereali, insieme ai legumi, oltre ad essere le principali fonti di fibre alimentari, sono ricchissimi di vitamine, minerali, fibre e composti bioattivi, noti come polifenoli, a spiccata attività antiossidante, antinfiammatoria, antiaterosclerotica, antitumorale

---

<sup>3</sup> Pes G.M., *et al.*, "Male longevity in Sardinia, a review of historical sources supporting a causal link with dietary factors", *Eur J Clin Nutr*, 2014: 1-8.

e immunomodulatoria. Questi composti contribuiscono a potenziare le difese endogene del nostro organismo e a mantenere l'omeostasi fisiologica, con un'azione ancora più marcata, tesa a restaurare l'omeostasi nei soggetti a rischio di sviluppare una patologia (obesi e sovrappeso caratterizzati da stress ossidativo e infiammatorio) o negli individui ammalati. Il modo migliore per garantire un apporto equilibrato e ottimale di tutti questi nutrienti e composti bioattivi è quello di seguire una dieta variegata, che comprenda tutte le diverse tipologie di alimenti, seguendo possibilmente la loro stagionalità.

Non esiste un unico alimento, o "super food", che sia in grado di fornire tutti i nutrienti necessari al mantenimento di un buon stato di salute e alla prevenzione delle malattie. Non a caso, "super food" non è un termine scientifico ma coniato dal marketing, con lo scopo di promuovere ingannevolmente alimenti potentissimi, fuori dal comune, quasi miracolosi. Si richiamano a questa moda cibi poco noti, esotici, come la guava, le bacche di goji, l'avocado e le alghe. Valutare gli effetti che un certo alimento può avere sull'uomo è molto complesso: i geni, le abitudini alimentari, lo stile di vita e l'ambiente variano da persona a persona, rendendo difficile studiare l'impatto dei nutrienti sulla salute. Vi è poi da considerare che spesso le decantate proprietà nutrizionali di questi alimenti non sono supportate da appropriate ricerche scientifiche nell'uomo, e anche quando sono loro riconosciute importanti qualità nutrizionali, queste sono spesso comuni a molti altri prodotti più economici e di più semplice reperibilità.

Diverso è invece il caso degli alimenti funzionali, definiti come qualsiasi alimento, parte di alimento, bevanda o gruppi di alimenti, dotati di effetti

positivi addizionali sul mantenimento della salute, dell'omeostasi fisiologica o sulla prevenzione delle malattie.<sup>4</sup>

Grazie al progresso della scienza e della tecnologia alimentare infatti negli ultimi anni sono comparsi sul mercato, accanto agli alimenti tradizionali, "nuovi alimenti" in grado di apportare componenti benefici per la salute, generalmente non-nutrienti (come polifenoli, probiotici, prebiotici), che sono in grado di regolare positivamente e selettivamente una o più funzioni fisiologiche del nostro organismo.

Questi alimenti possono essere "naturalmente funzionali", come frutta, verdura e cereali al naturale (ad es., il pomodoro per il licopene, l'olio di oliva per i tocoferoli, tè verde per le catechine, etc.) o cibi tradizionali (ad es., prodotti lattiero-caseari, prodotti da forno e pasticceria, condimenti per insalate, bevande non alcoliche) tecnologicamente modificati (yogurt probiotici, alimenti prebiotici e alimenti simbiotici). Grazie alle loro proprietà, questi composti possono contribuire al benessere dell'organismo con diverse attività biologiche, quali azione antiossidante, antinfiammatoria, antipertensiva, ipocolesterolemica, antimicrobica, antivirale, e così via.

Tuttavia, per essere definito tale, non è sufficiente che l'alimento possieda queste componenti, ma la sua efficacia nel mantenere un buono stato di salute e nel prevenire l'insorgenza delle malattie deve essere dimostrata da rigorose ricerche scientifiche. L'approccio da utilizzare in questi studi dovrebbe essere sia di tipo osservazionale (dove i ricercatori osservano gli effetti delle differenze nelle diete delle persone senza intervenire) che interventistico (dove i ricercatori manipolano la dieta per determinare l'effetto di un alimento o nutriente). È importante che tali studi vengano svolti mediante protocolli standardizzati su determinati

---

<sup>4</sup> Gul K., et al., "Nutraceuticals and Functional Foods: The Foods for the Future World", *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2016; 56(16): 2617-27.

gruppi di persone, non solo già colpite dalla malattia, ma anche su individui sani caratterizzati da fattori di rischio al fine di stabilire l'efficacia di un determinato alimento nel ritardare o addirittura prevenire quella malattia e al tempo stesso migliorare la qualità della vita della popolazione, abbattendo i costi della spesa sanitaria pubblica per le patologie indotte da una scorretta alimentazione.

È fondamentale sottolineare che gli alimenti funzionali non sono né farmaci né integratori e che il loro consumo, anche se in grado di dare un contributo concreto alla salute, non deve prescindere da uno stile di vita sano accompagnato da attività fisica costante, tenendone presente il valore dietetico, la quantità e la frequenza di consumo, la possibile interazione con altri alimenti e farmaci, l'impatto sul metabolismo e i rischi di allergia.

Nonostante il concetto di alimenti funzionali sia stato introdotto circa 30 anni fa, permangono ancora aspetti critici, come la grande lacuna della legislazione europea, la tutela del consumatore da informazioni false o fuorvianti che possano indurlo a scelte sbagliate e la mancanza di un'informazione corretta e semplice. Innanzitutto, non è stata ancora sviluppata una specifica normativa a riguardo, che riconosca gli alimenti funzionali come categoria alimentare definitivamente a se stante.

Di conseguenza, ogniqualvolta la Commissione Europea e l'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA) si trovano a dover disciplinare l'entrata in commercio di potenziali alimenti funzionali, è necessario un lungo e dispendioso lavoro di valutazione, scelta e interpretazione delle giuste linee guida da seguire e delle corrette norme da applicare. Al tempo stesso, gli alimenti funzionali non devono incoraggiare consumi eccessivi di quel determinato cibo, non devono far nascere timori nei consumatori, devono essere facilmente comprensibili per il consumatore medio e devono evitare messaggi che attribuiscono

proprietà curative o terapeutiche all'alimento. Questo ultimo aspetto è particolarmente importante, visto che i maggiori acquirenti di alimenti funzionali sono individui affetti da malattie molto comuni, come diabete, malattie cardiovascolari e obesità, che vedono questi cibi come una alternativa pratica, più naturale e meno dannosa, in termini di effetti collaterali, rispetto ai farmaci. Inoltre, c'è una generale carenza di informazione; basti pensare che la maggior parte dei consumatori non sa nemmeno definire il termine "alimento funzionale" e spesso confonde erroneamente gli alimenti funzionali con gli integratori, i nutraceutici o addirittura i prodotti erboristici. La scarsa conoscenza del concetto di alimento funzionale determina l'aumento dello scetticismo riguardo gli effetti benefici attribuiti ai cibi funzionali e ciò può costituire un ostacolo allo sviluppo del mercato di tali prodotti. Inoltre, considerando che la principale fonte di informazione riguardo gli alimenti funzionali è la pubblicità, è inevitabile che la scelta dei consumatori sia influenzata più dal marketing che dalla consapevolezza del beneficio reale di questi alimenti.

Per risolvere questi problemi, istituzioni, esperti del settore, scuola e ricerca dovrebbero essere maggiormente coinvolti e responsabilizzati nella diffusione di materiale informativo riguardante l'alimentazione funzionale, in modo da tutelare il consumatore, permettendogli di effettuare scelte alimentari consapevoli. Dovrebbe inoltre cambiare la strategia di comunicazione dei produttori, che anziché essere incentrata sulla descrizione degli ingredienti funzionali specifici (la maggior parte dei quali è nota solo a persone che hanno una preparazione scientifica), dovrebbe chiarire gli effetti benefici derivanti dall'assunzione di tali ingredienti. Dovrebbe essere anche incoraggiato lo sviluppo di una specifica normativa europea per regolamentare il mercato di questi alimenti. Infine, servirebbero maggiori finanziamenti alla ricerca in

ambito nutrizionale, per sviluppare soprattutto robusti studi di intervento nell'uomo, tanto utili quanto laboriosi e costosi.

## **Nutrizione ecosostenibile**

Da sempre siamo consapevoli che la nostra salute è fortemente condizionata dalle scelte alimentari che facciamo, allo stesso modo la produzione di alimenti che decidiamo di consumare condiziona a sua volta la qualità dell'ambiente che ci circonda.<sup>5</sup> Secondo stime delle Nazioni Unite che prevedono una popolazione mondiale di 9 miliardi nel 2050, la produzione alimentare dovrà essere quasi raddoppiata per sostenere l'aumento dei consumi alimentari che passeranno da un consumo calorico mondiale di 2,772 Kcal/giorno a persona (18 trilioni Kcal totali) del 2006 a circa 3,070 Kcal/giorno a persona (28 trilioni Kcal; 3,500 Kcal/giorno a persona nei Paesi industrializzati). L'aumento di ricchezza nei Paesi industrializzati ha portato a una maggior richiesta di carne, prodotti lattiero-caseari e uova. La crescita della domanda globale di proteine animali sta mettendo in difficoltà le risorse già limitate del nostro Pianeta, come gli oceani, il suolo agricolo e l'acqua potabile. Circa il 75% della superficie agricola e l'80% dell'acqua disponibile sulla Terra viene annualmente sfruttata per produrre capi avicoli, bovini, ovini e prodotti d'acquacoltura, che rappresentano circa il 50% della produzione mondiale di pesce.

Si stima che a livello mondiale, entro il 2050, il quantitativo di prodotti animali richiesto toccherà i 465 milioni di tonnellate, comportando inevitabilmente una maggior emissione di gas serra, tra i responsabili dei cambiamenti climatici, la deforestazione provocata dal pascolo intensivo e un generale degrado ambientale, conseguenza diretta dello smaltimento

---

<sup>5</sup> Tilman D., Clark M., "Global diets link environmental sustainability and human health", *Nature*, 2014; 515: 518-522.

del letame e di altre sostanze inquinanti. I gas a effetto serra derivanti dalla produzione di bestiame, incluso il trasporto e l'alimentazione, rappresentano il 18% delle emissioni globali prodotte dall'uomo. Il metano, che viene prodotto dalle fermentazioni enteriche degli animali, corrisponde al 35-40% delle emissioni.

La presa di coscienza da parte dell'uomo di aspetti legati alla salute e all'ambiente ha risvegliato un nuovo interesse verso le diete "sostenibili" che, preservando la salute dell'uomo, non danneggiano l'ecosistema. La FAO definisce le diete sostenibili come: "Diete a basso impatto ambientale che contribuiscono alla sicurezza alimentare e nutrizionale nonché a una vita sana per le generazioni presenti e future. Le diete sostenibili concorrono alla protezione e al rispetto della biodiversità e degli ecosistemi, sono accettabili culturalmente, economicamente eque e accessibili, adeguate, sicure e sane sotto il profilo nutrizionale e, contemporaneamente, ottimizzano le risorse naturali e umane".

Per illustrare l'impatto ambientale degli alimenti che consumiamo, il Barilla Center for Food and Nutrition ha sviluppato la "piramide ecologica", dove viene calcolato il costo ambientale dei vari alimenti, valutato utilizzando l'impronta di carbonio, l'impronta idrica e l'impronta ecologica.<sup>6</sup> Relativamente al ciclo vitale di un alimento, l'impronta di carbonio calcola l'impatto espresso in termini di emissioni di biossido di carbonio equivalente (kg CO<sub>2</sub>eq), l'impronta idrica misura il consumo di acqua impiegata e l'impronta ecologica permette di misurare la superficie terrestre o marina (biologicamente produttiva) utilizzata per la produzione dell'alimento.

Analizzando la piramide ambientale, si nota così che gli alimenti di origine vegetale, che si posizionano sulla punta della piramide, sono quelli a

---

<sup>6</sup> Barilla Center for Food and Nutrition (BCFN), *Doppia piramide 2015. Le raccomandazioni per un'alimentazione sostenibile*, 2015 ([www.barillacfn.com](http://www.barillacfn.com)).

minor impatto ambientale e che conferiscono maggiore protezione per la salute dell'individuo (vedi piramide mediterranea). Gli alimenti di origine animale, come carne e derivati, hanno un impatto ambientale più elevato per il fatto che le risorse utilizzate - come acqua, e metri quadrati di terreno occupati dagli allevamenti - sono notevoli, in associazione con un'enorme produzione di CO<sub>2</sub>, e si posizionano alla base della piramide. A parità di calorie consumate, la produzione di carne bovina ha un costo ambientale enormemente superiore a quello degli altri tipi di carne (pollame e maiale), delle uova e dei prodotti lattiero caseari. Basti pensare che per produrre 225 g di patate, pomodori, pollo e bovini si producono emissioni di CO<sub>2</sub> equivalenti a quelle prodotte guidando un'auto per 300 m, 320 m, 1,7 Km e 15,8 Km.

È quindi evidente che, sulla base dei dati della piramide ecologica, la scelta alimentare basata su un consumo quotidiano di alimenti di origine animale è dannosa per l'ambiente. Va però osservato che questi si riferiscono a un confronto a parità di peso: infatti l'utilizzo di risorse per produrre un kg di carne sarà più elevato di quello necessario a produrre un kg di frutta o ortaggi. Diventa quindi fondamentale valutare l'impatto ambientale degli alimenti in funzione dei consumi della popolazione e di regimi alimentari ottimali, come la dieta mediterranea, per poter calcolare il vero impatto ambientale di una dieta.

Esiste poi un altro aspetto cruciale del trilemma "cibo, pianeta e ambiente": il rapporto tra l'impatto ambientale, il valore nutrizionale e funzionale del cibo e i consumi raccomandati. Un esempio a tale proposito ci viene dalla dieta mediterranea, ormai universalmente riconosciuta come modello di dieta salutare in grado di soddisfare i bisogni nutrizionali e conferire protezione nei confronti dell'insorgenza delle patologie da eccesso di cibo. In questa dieta, così come nei modelli alimentari di popolazioni longeve come le *blue zone* della Sardegna o di

Okinawa, è previsto un consumo moderato di alimenti di origine animale associato però a un alto consumo di alimenti di origine vegetale. In linea con tale modello, le raccomandazioni nutrizionali che suggeriscono di mangiare circa cinque porzioni al giorno di frutta e verdura, dato l'elevato contenuto di sostanze ad alto valore nutrizionale (vitamine, sali minerali ecc.) e funzionale (antiossidanti, sostanze anti-infiammatorie, basso indice glicemico, etc.), hanno un loro costo ambientale se valutate nella prospettiva del consumo giornaliero, ma sicuramente tale costo è bilanciato dalla valenza salutistica di questi alimenti. Il problema posto dagli alimenti di origine animale, sotto il profilo ambientale e di salute, si basa sull'aumento esponenziale dei consumi negli ultimi settant'anni, associato all'epidemia obesigena e delle connesse malattie degenerative. La domanda che si pone spontanea è quale sarebbe il costo ambientale degli alimenti di origine animale se tornassimo a un consumo moderato, saltuario, in linea con i regimi alimentari salutistici?

L'impatto ambientale degli alimenti cambia significativamente rispetto ai dati della "piramide ecologica", se valutato sulla base dei consumi raccomandati, come evidenziato dalla "clessidra ambientale" ottenuta moltiplicando l'impatto ambientale degli alimenti per le quantità settimanali suggerite dalle linee guida nazionali italiane per una dieta sana ed equilibrata.

Dall'analisi dei dati si vede come l'impatto di 14 porzioni settimanali di carne, uova, pesce, legumi e salumi sia di 5,9 kg CO<sub>2</sub>eq e quello di 24 porzioni settimanali di latte, yogurt e formaggi (5,6 kg CO<sub>2</sub>eq) sia comparabile a quello di 35 porzioni settimanali di frutta e ortaggi (5,6 kg CO<sub>2</sub>eq) e a 51 porzioni settimanali di pane, pasta riso, biscotti e patate (4,2 kg CO<sub>2</sub>eq). Conferma a tale evidenza viene anche dal lavoro svolto dall'Università di Parma dove si dimostra come una dieta vegana e lattovo-vegetariana abbiano un impatto totale significativamente più basso

rispetto a una dieta onnivora.<sup>7</sup> Quando però andiamo a valutare l'impatto ambientale dei singoli gruppi di alimenti, la produzione di CO<sub>2</sub> dovuta al consumo di carne e pesce degli onnivori (1,44 kg CO<sub>2</sub>eq/giorno) è comparabile all'impatto degli alimenti di origine vegetale nei vegani (1,42 kg CO<sub>2</sub>eq/giorno) e superiore a quello del latte-ovo-vegetariani (1,0 kg CO<sub>2</sub>eq/giorno). È altresì vero che se aggiungiamo il contributo degli alimenti di origine animale (latte, uova ecc.) pari a 0,9 kg CO<sub>2</sub>eq/giorno negli onnivori, 0,63 kg CO<sub>2</sub>eq/giorno per i latte-ovo-vegetariani rispetto allo zero dei vegani spieghiamo il maggior impatto ambientale della dieta onnivora.

L'analisi di questi dati suggerisce come sia fondamentale valutare l'impatto ambientale del cibo in associazione con il valore nutrizionale e funzionale, valutando per ogni situazione costi e benefici del rapporto impatto ambientale/valore salutistico al fine di suggerire regimi alimentari (apporti raccomandati e frequenza) in grado di tutelare la salute dell'uomo e quella del pianeta.

È necessario sviluppare un approccio complessivo che permetta di valutare al meglio parametri metabolici, nutrizionali e ambientali in grado di fornire informazioni dell'impatto della dieta a vari livelli. Considerare questi elementi insieme fornirebbe un quadro più completo e innovativo, in quanto lo stato di salute è correlato a un corretto stile di vita e questo non solo aiuta a prevenire l'instaurarsi di patologie degenerative ma anche a limitare i costi ambientali delle risorse. Questa nuova visione potrebbe permettere di sviluppare studi *ad hoc*, per esempio stratificando i soggetti sulla base del loro impatto ambientale per capire quali siano i gruppi alimentari che impattano di più l'ambiente e come questo impatto sia correlato a marcatori nutrizionali o metabolici, aumentando la

---

<sup>7</sup> Scazzina F., *et al.*, "Environmental impact of omnivorous, ovo-lacto-vegetarian, and vegan diet", *Scientific Report*, 2017; 7:6105.

comprensione dei rapporti tra il costo ambientale e lo stato di salute in base al tipo di scelte alimentari.

## **Insetti edibili**

Il termine scientifico per il consumo di insetti è "entomofagia", dal greco *éntomos* (insetto) e *phǎgein* (mangiare). L'entomofagia rappresenta una delle prime forme di alimentazione nell'uomo: pitture rupestri di Altamira, nel nord della Spagna, datate da 30.000 a 9.000 anni a.C., raffigurano collezioni di insetti commestibili. Testimonianze scritte risalenti al 2000 a.C. narrano quanto assiri e siriani fossero ghiotti nel consumare cavallette. A conferma di ciò, sulle pareti del maestoso palazzo assiro di Ninive, è possibile scorgere un bassorilievo raffigurante scene di un banchetto inaugurale, in cui i servitori trasportano piatti contenenti spiedini di cavallette. Aristotele stesso, nella sua *Historia Animalium*, elogia il piacere sensoriale che si prova mangiando la cicala madre. Plinio il Vecchio in *Naturalis Historia* racconta la modalità di preparazione e degustazione di una larva, probabilmente la *Lucanus cervus* o *Prionus scorioranus*.

Stando alle stime della FAO, esistono oltre 1.900 specie di insetti commestibili consumati a tutti i vari stadi di crescita (uova, larve, crisalidi e adulti). Gli insetti più comunemente utilizzati appartengono all'ordine dei Coleotteri (31%), principalmente scarafaggi, seguono i Lepidotteri (18%), cioè i bruchi, mangiati principalmente dalle popolazioni dell'Africa sub-sahariana, al terzo posto, gli Imenotteri (14%), rappresentati da vespe, api e formiche, consumati prevalentemente nell'America Latina e gli Ortotteri (13%), con cavallette, locuste e grilli, seguiti da cicale, cocciniglie e cimici, appartenenti all'ordine degli Emitteri (10%).<sup>8</sup>

---

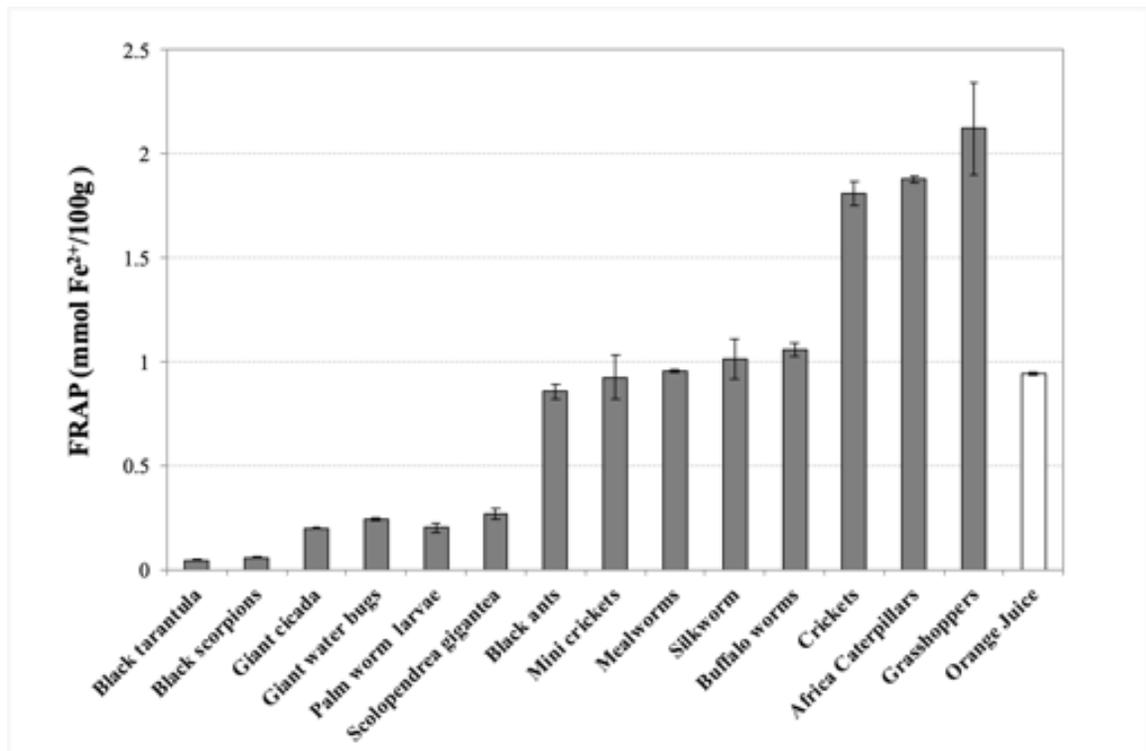
<sup>8</sup> Van Huis A., *et al.*, "Edible insects: future prospects for food and feed security", *FAO Forestry Paper*, 2017; 171.

Come visto nel paragrafo precedente, la carne e i prodotti di origine animale, rappresentano i gruppi di alimenti che impattano maggiormente dal punto di vista ambientale, la riduzione del consumo di proteine animali è ormai diventata una priorità globale per ridurre lo sfruttamento del terreno e le emissioni di gas serra. A prescindere da soluzioni avveniristiche ed estremamente costose come lo sviluppo di carne da colture cellulari, una delle strategie che sta assumendo una rilevanza sempre maggiore, in linea con la tradizione storica dell'Uomo in moltissime regioni del mondo, risiede nell'utilizzo degli insetti, fonte proteica e non solo, a basso impatto ambientale. Sebbene i valori nutrizionali degli insetti commestibili siano altamente variabili, sia per l'elevata varietà di specie sia per lo stato metamorfico dell'insetto, il tipo di dieta, l'habitat e le stagioni, si può affermare con certezza che gli insetti forniscono quantità soddisfacenti di energia e proteine, sono ricchi di acidi grassi monoinsaturi e polinsaturi, di micronutrienti, come rame, magnesio, ferro, fosforo, zinco, selenio e manganese, nonché acido pantotenico, riboflavina e biotina con un contenuto calorico che oscilla tra le 293 e le 762 kilocalorie per 100 g di sostanza secca. Dal punto di vista proteico risultano possedere proteine di buona qualità e alta digeribilità, il contenuto di aminoacidi essenziali è pari al 10-30% di tutti gli aminoacidi. Inoltre studi molto recenti suggeriscono come grilli, cavallette e bruchi d'africa esibiscono valori di capacità antiossidante non enzimatica in vitro (FRAP), superiori al succo d'arancia, in generale anche altre specie d'insetti come bachi da seta, formiche nere e larve della farina hanno valori comparabili al succo d'arancia (figura 1). Sebbene questi dati necessitino di una conferma in vivo nell'uomo, suggeriscono per gli insetti anche potenzialità funzionali oltre il loro contenuto proteico.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Di Mattia C., Battista N., Serafini M., Antioxidant activities in vitro of water and liposoluble extracts obtained by different species of edible insects. Submitted to *Frontiers Immunology*.

**Figura 1.** Potenziale riducente totale (FRAP) di estratti idrosolubili d’insetti edibili e succo d’arancia.<sup>10</sup>



Altro vantaggio innegabile a favore dell’utilizzo di insetti risiede nell’elevata efficienza di conversione del mangime in massa corporea: la produzione di 1 kg di grilli richiede appena 1,7 kg di mangime rispetto ai 2,5 kg per i prodotti avicoli, 5 kg per il maiale e 10 kg per la carne bovina. Si è inoltre stimato che fino all’80% di un grillo è commestibile e digeribile rispetto al 55% per pollo e suino e al 40% del bestiame. Ciò significa che i grilli sono due volte più efficaci nella conversione di alimenti di derivazione mammifera; almeno 4 volte più efficienti dei suini e 12 volte più dei bovini. Relativamente all’impatto ambientale, vermi della farina, locuste e grilli producono basse emissioni di CO<sub>2</sub>, basti pensare che per avere un aumento di un kg di peso si producono meno di

<sup>10</sup> Ibidem.

100 gas serra equivalenti per vermi della farina, grilli e locuste, rispetto ai 2.800 gas serra equivalenti di un bovino,<sup>11</sup> e che per ogni ettaro di terreno necessario per produrre 1 kg di proteine dal verme della farina sono necessari 2,5 ettari, rispetto ai 10 ettari per produrre un kg di proteine da bovino.

Sebbene siano ancora molte le perplessità, da parte sia degli addetti ai lavori sia della gente comune, sull'utilizzo degli insetti come alimento abituale della nostra dieta, essi rappresentano una fonte proteica a basso impatto ambientale e a costi ridotti. Dovrà ora essere compito della comunità scientifica chiarire se esistono i presupposti dal punto di vista nutrizionale, funzionale, organolettico, immunologico e microbiologico, per considerare l'entomofagia come un'ulteriore opzione nell'ambito delle strategie di riduzione dell'impatto ambientale alimentare o una mera trovata mediatica.

## **Gli sprechi alimentari**

Uno degli aspetti rilevanti e potenzialmente più preoccupanti per la salute ambientale è rappresentato dal danno causato dalla quantità di cibo prodotto e che non raggiunge la tavola del consumatore, cioè lo spreco alimentare (*food waste*), oppure dal cibo che si perde durante la coltivazione agricola, il raccolto e le trasformazioni industriali (*food loss*). La FAO ha stimato come il volume globale di cibo sprecato sia di circa 1,3 Gtonnellate, un numero impressionante soprattutto se confrontato con la produzione agricola totale, che è di circa 6 Gtonnellate.<sup>12</sup> Per produrre tale cibo sono utilizzate risorse economiche ma soprattutto ambientali (acqua, terra, ecc.) che hanno un costo e che si traducono in un danno ambientale di proporzioni elevatissime anche e soprattutto per le alte

---

<sup>11</sup> Vedi nota 8.

<sup>12</sup> FAO, "Food Wastage Footprints, Impact on Natural Resources", *Summary Report*, 2013 ([www.fao.org](http://www.fao.org)).

emissioni di anidride carbonica. In Italia i dati raccolti da Last Minute Market e dall'Università di Bologna indicano che circa 1,5 milioni di tonnellate di prodotti agricoli vengono lasciate nei campi ogni anno, pari al 2,73% della produzione agricola totale. Mentre nel settore della distribuzione ogni anno vengono buttate via circa 270.000 tonnellate di cibo ancora consumabili. Il sondaggio condotto su 3.500 nuclei familiari ha messo in evidenza che circa un terzo degli intervistati è consapevole di buttare via gran parte del cibo acquistato, a fronte di un altro terzo che invece spreca pochissimo. Recentemente, il Progetto "Reduce" condotto dall'Università di Bologna e finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole su un campione di 430 famiglie italiane ha messo in luce come siano stati fatti significativi passi in avanti per la riduzione dello spreco domestico: lo studio ha quantificato uno spreco per famiglia pari a circa 84 kg, 36 a persona, rispetto ai dati del 2016 dove lo spreco era di 145 kg a famiglia e 63 kg a persona. Un ottimo risultato frutto delle campagne d'informazione messe a punto da associazioni e dal governo, inclusa la Legge Gadda che prevede sgravi fiscali a favore di chi dona cibo per solidarietà. Sebbene la consapevolezza degli italiani dello spreco alimentare sia aumentata in questi anni, le statistiche indicano ancora uno spreco pari a 2,2 milioni di tonnellate di cibo l'anno, pari allo 0,6% del PIL.

Recentemente è stato sviluppato dall'Università di Teramo un nuovo indice, lo Spreco Alimentare Metabolico, che per la prima volta quantifica l'insostenibilità nutrizionale dell'obesità, sia in termini di impatto economico sul Sistema sanitario nazionale, sia di spreco di risorse naturali ed emissioni climalteranti, dando un'idea di quale sia l'impatto dell'eccesso di peso sulla salute del Pianeta.<sup>13</sup> Il rationale di questo indice si basa sul concetto che, se si è in una condizione di sovrappeso o

---

<sup>13</sup> Serafini M., Toti E., "Unsustainability of Obesity: Metabolic Food Waste", *Front Nutr*, 2016, 3: 40.

obesità, nella maggior parte dei casi si è adottato un regime alimentare ricco di cibi “stressogeni” ad alto contenuto energetico, con un carico calorico e nutrizionale enormemente più elevato rispetto a quello raccomandato. Tale eccesso di calorie rappresenta un danno non solo per la salute dell’individuo, ma anche un considerevole costo ambientale. Lo Spreco Alimentare Metabolico valuta i chili di cibo associati al grasso in eccesso, calcolato sulla base dell’Indice di Massa Corporea, e il suo impatto ambientale in termini di emissioni di anidride carbonica, consumo di acqua e di terreno. I dati pubblicati finora, valutando il consumo di cibi “obesigeni” (zuccheri, grassi di origine animale, alcolici, ecc.) in sessanta soggetti sani sovrappeso o obesi, hanno mostrato come lo spreco alimentare metabolico fosse pari a 5.710 chili di peso per l’intero campione (63,1 kg/procapite e 127,2 kg/procapite rispettivamente per i soggetti sovrappeso e i soggetti obesi). Utilizzando i dati dei Food Balance Sheets della FAO, lo spreco alimentare metabolico per la popolazione italiana in sovrappeso e obesa è risultato essere di oltre 2 miliardi di chili di cibo, un consumo di acqua pari al 13% del volume del Lago di Garda, una quantità di emissioni di CO<sub>2</sub> pari all’11,8% delle emissioni prodotte dalla produzione agricola in Italia e un consumo di terreno pari al 73% della superficie di Asia e Africa (tabella 1).

**Tabella 1.** Spreco Alimentare Metabolico (MFW) stimato nella popolazione italiana in sovrappeso (OW) e obesa (OB).<sup>14</sup>

<b>MFW</b>	<b>OW</b>	<b>OB</b>
Million kg food	1.322	790
Million m3 water	4.098	2.233
Million kg CO2eq	2.370	1.445
Million m2 terra	34.589	19.329

<sup>14</sup> Vedi nota 13

Lo spreco alimentare metabolico associato all'obesità a livello mondiale è risultato essere di circa 141 miliardi di tonnellate di cibo sprecato. Tra le sette regioni FAO considerate, l'Europa e il Nord America/Oceania si caratterizzano per il maggiore spreco metabolico con 39 e 32 miliardi di tonnellate di cibo sprecate. Seguono America Latina, Asia industrializzata, Nord Africa e Asia centrale e occidentale, Asia meridionale e sudorientale e Africa sub sahariana (5 miliardi).

Sebbene i dati sullo spreco alimentare e su quello metabolico siano stati ottenuti con due metodologie diverse e si riferiscano a due valutazioni molto diverse tra loro, ci forniscono un'idea dell'enorme quantità di cibo che viene sprecata o consumata in eccesso nel nostro Paese, con ingenti danni ambientali ed economici. Gli sforzi futuri dovrebbero essere incentrati su una comunicazione ad ampio respiro, basata su solide prove sperimentali derivanti da studi sull'uomo, che si prefigga l'obiettivo di educare la popolazione a un consumo alimentare funzionale, salutare e a basso impatto ambientale.

# Autori

## **Vincenzo Balzani**

Accademico dei Lincei, è professore emerito di Chimica all'Università di Bologna. Ha contribuito allo sviluppo di importanti settori della Chimica, fra i quali quello delle Macchine Molecolari. Per la sua attività scientifica ha ricevuto vari riconoscimenti: fra i più recenti l'Archiginnasio d'oro della Città di Bologna e il Nature Award for Mentoring in Science. Alla ricerca scientifica affianca un'intensa attività di divulgazione sul rapporto fra scienza e società e fra scienza e pace, con particolare riferimento ai temi dell'energia e delle risorse. È autore di libri scientifici e divulgativi. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

## **Maurizio Battino**

Associato di Biochimica nella Facoltà di Medicina dell'Università Politecnica delle Marche, Direttore dell'Area di Salute e Nutrizione dell'Universidad Europea dell'Atlantico, Santander, Spagna nonché Distinguished Researcher dell'Universidad de Vigo, Spagna dove coordina un gruppo di ricerca di eccellenza sulle Scienze Alimentari e Nutrizionali. *Highly Cited Researcher* negli ultimi 4 anni consecutivi e autore di circa 300 pubblicazioni su *WoS* di cui attualmente 21 sono *Highly Cited Papers*, si occupa dei fenomeni legati allo stress ossidativo in molteplici patologie croniche degenerative e di come i composti bioattivi naturali possono intervenire nel modulare molteplici vie metaboliche coinvolte nella carcinogenesi, nell'obesità o nelle malattie parodontali. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

## **Nicola Bellomo**

Professore emerito del Politecnico di Torino. I suoi principali interessi di ricerca vertono sui metodi matematici per lo studio dei sistemi viventi, in particolare modelli di competizione immunitaria e dinamica delle folle, degli sciami e dei sistemi sociali in generale. È autore di vari libri scientifici rivolti ai temi della sua attività di ricerca sui temi prima indicati e su equazioni della fisica matematica. Ha coordinato per 8 anni una rete europea di ricerca e formazione sulle interazioni fra matematica e oncologia. Successivamente ha esteso il suo interesse dalla dinamica delle cellule a quella delle folle con responsabilità in ambito di progetti europei rivolti a problemi di sicurezza. È presidente del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

## **Marco Conti**

È dirigente di ricerca e consigliere scientifico, per le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Ha pubblicato più di 400 articoli scientifici sulle reti di calcolatori, Internet di nuova generazione, reti sociali e sistemi pervasivi. È il rappresentante del CNR nel Centro di competenza in cybersecurity toscano (C3T), nel Comitato nazionale per la ricerca in cybersecurity, e nel Centro di competenza per la Sicurezza e ottimizzazione delle infrastrutture strategiche - START4.0 nell'ambito del Piano nazionale industria 4.0. È il general co-chair della terza conferenza italiana sulla cybersecurity (ITASEC 2019). Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

## **Rocco De Nicola**

Professore di Informatica presso la Scuola IMT Alti Studi di Lucca, direttore del Centro di Competenza in Cybersecurity Toscano (C3T), membro del Comitato Nazionale per la Ricerca in Cybersecurity, nonché responsabile formazione del Laboratorio di Cybersecurity del CINI, il Consorzio Interuniversitario di Informatica che raggruppa 46 Università italiane. È uno dei tre curatori del volume, *Il Futuro della Cybersecurity in Italia: Ambiti Progettuali Strategici* ed è autore di quasi trecento articoli scientifici su tematiche connesse ai sistemi distribuiti e alla loro sicurezza e alla specifica e verifica di loro proprietà. È fellow dell'EATCS, l'associazione europea degli informatici teorici, Editor in Chief di una rivista internazionale e associate editor di varie altre. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

### **Daniele Del Rio**

Presidente della Scuola di Studi Superiori in Alimenti e Nutrizione dell'Università di Parma e Direttore Scientifico del NNEdPro Global Center for Nutrition and Health di Cambridge, UK, Daniele Del Rio sta crescendo un folto gruppo di giovani e promettenti ricercatori che si occupano di studiare i meccanismi molecolari che legano dieta e salute, con particolare attenzione alle differenze interindividuali nel metabolismo dei composti fitochimici di origine alimentare. Per queste ricerche, il suo gruppo è parte del progetto Europeo Preventomics. Del Rio è Editor in Chief dell'*International Journal of Food Sciences and Nutrition*. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

### **Maria Cristina Facchini**

Direttrice dell'Istituto di Scienze dell'Atmosfera del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche. I suoi principali campi di ricerca riguardano la chimica dell'atmosfera, le interazioni aria-mare e le relazioni fra qualità dell'aria e clima. È stata membro dell'Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), l'organismo delle Nazioni Unite per la valutazione dello stato del clima globale e fa parte della lista *Highly Cited Researchers* che comprende l'1% degli scienziati più citati al mondo nel campo delle Geoscienze. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

### **Sandro Fuzzi**

Associato di Ricerca dell'Istituto di Scienze dell'Atmosfera del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Pioniere negli studi sulla chimica dell'atmosfera, la sua principale attività di ricerca riguarda i processi chimici e fisici nel sistema Terra e gli effetti dei cambiamenti della composizione dell'atmosfera sul clima, gli ecosistemi, la qualità dell'aria e la salute umana. È membro dell'Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), l'organismo delle Nazioni Unite per la valutazione dello stato del clima globale e fa parte della lista *Highly Cited Researchers* che comprende l'1% degli scienziati più citati al mondo nel campo delle Geoscienze. Si occupa inoltre del trasferimento tecnologico verso le imprese ed è Presidente del Cluster "Energia e Sviluppo Sostenibile" della Rete Alta Tecnologia della Regione Emilia-Romagna. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

### **Silvio Garattini**

Dottore in Medicina. Libero docente in Chemioterapia e Farmacologia. Assistente

e aiuto presso l'Istituto di farmacologia dell'Università di Milano fino all'anno 1962. Fondatore nel 1963 e presidente dell'Istituto di ricerche farmacologiche Mario Negri. Autore di molte centinaia di lavori scientifici pubblicati in riviste nazionali ed internazionali e di numerosi volumi nel campo della farmacologia. Fondatore dell'European Organization for Research on Treatment of Cancer. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

### **Livio Gibelli**

Lettore all'Università di Edimburgo. È autore di numerose pubblicazioni in riviste internazionali e di un libro pubblicato da Birkhauser-Springer USA. I suoi principali interessi di ricerca vertono sulla modellistica multiscala di fluidi bifase, sui metodi computazionali per le equazioni cinetiche e sulla dinamica delle folle in condizioni critiche (ad esempio problemi di evacuazione). La carriera accademica precedente si è svolta nelle seguenti sedi: Politecnico di Milano, Università della British Columbia (Canada), Politecnico di Torino, Università di Warwick.

### **Pier Mannucci Mannucci**

È professore emerito di Medicina Interna dell'Università Statale di Milano, dove ha diretto la clinica medica presso la Fondazione IRCCS Ospedale Maggiore di Milano, di cui è stato direttore scientifico dal 2010 al 2015. Insignito di premi internazionali scientifici, è dal 2008 Editor in Chief di *European Journal of Internal Medicine*. Autore di 1.263 pubblicazioni originali, i principali temi scientifici trattati sono nel campo dell'emofilia, della fisiopatologia e genetica della cardiopatia ischemica, del tromboembolismo venoso. Più recentemente si è occupato di inquinamento dell'aria (ha scritto il libro *Cambiamo Aria!*, Baldini & Castoldi, 2017) e dei problemi legati all'uso inappropriato dei farmaci nell'anziano. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

### **Luca Moretti**

È un tecnologo del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) dal 1991. Nel 2005 è stato distaccato presso l'ufficio di collegamento del CNR-UE a Bruxelles, dove, nel 2010, è stato nominato Capo dell'Ufficio. Dal 1995 al 2005 ha gestito centinaia di progetti, dal Quarto Programma Quadro per la ricerca e lo sviluppo a Horizon 2020. Dal 2010 al 2016 è stato nominato consigliere per la ricerca e l'innovazione presso la Rappresentanza permanente d'Italia presso l'UE a

Bruxelles. Durante il semestre della Presidenza italiana dell'UE, è stato presidente del Research working party presso il Consiglio dell'Unione Europea.

### **Leopoldo Nascia**

Ricercatore presso l'ISTAT e autore da anni del RIO country report per conto del Joint Research Center della Commissione Europea. Le sue principali attività di ricerca riguardano l'innovazione e la R&S nelle imprese, l'economia dei trasporti, l'analisi della spesa pubblica e il lavoro. Ha partecipato a diversi progetti di ricerca internazionali, diretto rilevazioni statistiche nazionali e internazionali e pubblicato numerosi saggi tra cui, con Andrea Baranes, *Con i nostri soldi*, 2014, Ponte alle Grazie, Firenze.

### **Mario Pianta**

È professore di politica economica alla Scuola normale superiore, Dipartimento di scienze politico-sociali di Firenze, in convenzione con l'Università di Urbino. È stato membro del Centro linceo interdisciplinare "Beniamino Segre" dell'Accademia Nazionale dei Lincei e ha partecipato alla preparazione delle Dichiarazioni delle Accademie delle Scienze dei Paesi del G7 del 2017 e 2018. I suoi campi di ricerca sono la crescita economica, la ricerca e l'innovazione tecnologica, l'occupazione e le disuguaglianze, le politiche economiche e industriali. Dal 2013 è coautore del rapporto annuale RIO sull'Italia dell'Osservatorio Ricerca e Innovazione della Commissione Europea-JRC. Ha svolto ricerca all'European University Institute, LSE, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, Columbia University.

### **Paolo Prinetto**

Professore ordinario di Sistemi di Elaborazione delle Informazioni presso il Politecnico di Torino, Adjoint Professor della University of Illinois at Chicago, IL (USA) e direttore del Laboratorio Nazionale di Cybersecurity del CINI, il Consorzio Interuniversitario di Informatica che raggruppa 46 Università italiane, del quale è stato presidente dal 2013 al 2018. È il Coordinatore del Comitato Nazionale per la Ricerca in Cybersecurity e nel 2018 ha curato, con i colleghi Roberto Baldoni e Rocco De Nicola, il Libro Bianco: *Il Futuro della Cybersecurity in Italia: Ambiti Progettuali Strategici*. Le sue attività di ricerca sono principalmente rivolte a Hardware Security, Digital Systems Design, Test, & Dependability.

## **Valentina Romano**

È responsabile dell'Ufficio progetti collaborativi dell'area ricerca al Politecnico di Torino. In tale ufficio cura il supporto alla progettazione di progetti europei, nazionali e regionali. È membro del Comitato sullo sviluppo e il riconoscimento professionale dei research manager & administrator nell'associazione europea EARMA (European Association of Research Managers and Administrators). Ha curato l'inserimento del Politecnico nel partenariato e ha seguito le attività del progetto eVACUATE, finanziato nell'ambito del Settimo Programma Quadro, rivolto alla progettazione di una piattaforma per la gestione dell'evacuazione da ambienti complessi.

## **Mauro Serafini**

Mauro Serafini è Professore di Prima Fascia di Alimentazione e Nutrizione Umana, responsabile del laboratorio "Alimenti funzionali e prevenzione stress metabolico" presso la Facoltà di Bioscienze dell'Università di Teramo. Le sue ricerche sono tese a svelare i meccanismi di difesa dell'organismo nei confronti degli stress esogeni nutrizionali, a identificare ingredienti e alimenti funzionali al fine di pianificare strategie nutrizionali sostenibili a basso impatto ecologico per la salute dell'uomo e del pianeta. Docente a invito alla Facoltà di Tecnologie Alimentari e Biotecnologie dell'Università di Zagabria. Chief Editor di *Frontiers in Nutritional Epidemiology*. Editore associato di *Frontier in Ecological Sustainability e Nutritional Immunology*. Membro del Direttivo della Società Italiana di Scienza dell'Alimentazione. Incluso, per il settore agricoltura, nella lista degli *Highly cited researchers*. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

## **Luigi Tavazzi**

Medico cardiologo, ha diretto il Dipartimento di cardiologia del Policlinico San Matteo Fondazione IRCCS di Pavia e alcuni centri della fondazione Salvatore Maugeri IRCCS. Ora è scientific advisor del GVM Care and Research. Golden medallist della European Society of Cardiology, membro onorario della Société Française de Cardiologie e foreign invited member del Royal College of Medicine, UK. Si occupa di ricerca clinica in ambito cardiovascolare, in particolare in tema di cardiopatia ischemica e scompenso cardiaco. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

## **Riccardo Valentini**

Ha svolto attività di ricerca presso il Department of plant biology, the Carnegie Institution of Washington e ha lavorato presso the Joint Research Center della Commissione Europea. Dal 2000 è professore ordinario presso l'Università degli studi della Tuscia diventando, nel 2002, direttore del Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue risorse. La sua attività di ricerca riguarda l'ecologia, i sistemi agro-forestali e i temi connessi con l'attuazione delle convenzioni internazionali per la protezione dell'ambiente globale. Ha ricevuto nel 2006 lo Zayed International Prize for the Environment come membro del Millennium Ecosystem Assessment Board, nel 2015 il premio "Ernst Heckel" della Federation of European Ecological Societies, nel 2018 la medaglia della Accademia Italiana delle Scienze "detta dei XL" per la Fisica e le Scienze Naturali. Insieme ad altri scienziati del Comitato Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC), nel 2007 è stato insignito del premio Nobel per la pace per le ricerche condotte sul cambiamento climatico. Fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica.

# La ricerca scientifica in Italia per una società sostenibile e sicura

economia, salute, ambiente, cyberspazio  
sicurezza, alimentazione

La sicurezza è un valore individuale e sociale importante, ma raramente lo troviamo coniugato con la ricerca scientifica, che in Italia vive da anni in una condizione di stagnazione degli investimenti e di disattenzione politica. Eppure la ricerca può aiutarci ad affrontare razionalmente i molti aspetti della sicurezza e offrire soluzioni capaci di rendere la nostra comunità più sicura e sostenibile.

Il clima che cambia, i farmaci, l'organizzazione della sanità, l'alimentazione, la sfera digitale e l'incolumità delle persone nei raduni di massa sono oggetto di ricerche scientifiche raccontate in questo volume firmato dagli esperti del Gruppo 2003.



Il **Gruppo 2003 per la ricerca scientifica** è un'associazione per la promozione della ricerca in Italia. Composto da scienziati italiani ai vertici delle classifiche internazionali, il Gruppo è stato incoraggiato dai Presidenti della Repubblica Carlo Azeglio Ciampi, Giorgio Napolitano e Sergio Mattarella a proseguire nell'azione di stimolo e divulgazione della cultura scientifica, tradizionalmente deficitaria nel nostro Paese.

**Per avere più informazioni:**  
[www.gruppo2003.org](http://www.gruppo2003.org)