

TECHNOLOGY FORESIGHT

Tecnologie e innovazioni dirompenti per il futuro:
quale impatto sugli obiettivi di sviluppo sostenibile?



POLITECNICO
MILANO 1863

CENTRO DI TECHNOLOGY FORESIGHT

Indice

- 3 → Prefazione
- 5 → Metodo di analisi
- 9 → Risultati
- 17 → Nuove prospettive e sviluppi futuri

Technology Foresight

Il termine Technology Foresight (letteralmente: previsione tecnologica) fa riferimento ad un insieme di processi e metodi che permettono di costruire e analizzare futuri possibili, al fine di promuovere nel presente azioni nella direzione degli scenari più desiderabili e di impedire, invece, sviluppi indesiderati.

Il presupposto di ogni attività di foresight è che il futuro non sia mai univocamente determinato e che, dall'analisi degli scenari alternativi futuri, sia possibile provocare intuizioni nel tempo presente, favorendo la creatività e preparando le persone ad affrontare le sfide importanti di domani.

Nell'ambito dei processi di sviluppo tecnologico, il foresight fornisce supporto all'innovazione e al trasferimento tecnologico e può contribuire ad orientare le scelte politiche e strategiche nel medio-lungo periodo.

—

Prefazione

Interpretare e anticipare i grandi cambiamenti in corso; comprendere il potenziale di tecnologie ad alto impatto; adottare un approccio critico allo sviluppo tecnologico che va dal possibile al realizzabile. Con questi obiettivi, il Politecnico di Milano, prima università tecnica italiana e indiscusso punto di riferimento in ambito di ricerca e formazione, nel 2020 istituisce il Centro di Technology Foresight.

In linea con la direzione intrapresa da alcuni dei più autorevoli atenei a livello mondiale e con l'intento di definire prospettive tecnologiche a servizio delle imprese e del Paese, il Politecnico sceglie di guardare avanti e di mettere le proprie competenze a servizio della comunità.

L'eccellenza dell'ateneo, radicata nell'elevata qualità scientifica dei docenti e dei ricercatori, non si limita infatti ad affrontare e a risolvere problemi specifici, ma è in grado di elaborare visioni a lungo raggio. Prospettive che anticipano le grandi sfide del futuro e le possibili soluzioni per affrontarle.

Il Technology Foresight è lo strumento che mette a sistema competenze specialistiche diffuse e la rete di esperti accademici ed industriali, nazionali ed internazionali, per elaborare previsioni di sviluppo tecnologico e fornire indicazioni utili a supporto delle scelte di investimento, sia pubblico sia privato, verso le innovazioni a maggior impatto per la società e per l'ambiente.

È infatti fondamentale fornire ai decisori informazioni selezionate e contributi critici per affrontare in modo consapevole le grandi questioni dell'umanità, ben rappresentate dagli Obiettivi

di Sviluppo Sostenibile e ampiamente condivise su scala mondiale. Se è vero che il futuro non può essere previsto, non dobbiamo tuttavia perdere l'occasione di scrutarlo per comprendere come le scoperte, invenzioni ed innovazioni tecnologiche siano capaci di migliorare il mondo di domani.

Questa pubblicazione è il resoconto delle prime attività realizzate dal Centro di Technology Foresight, alla quale ne seguiranno altre con cadenza periodica.

Ferruccio Resta

Rettore

Gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile

Sustainable Development Goals

Gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile sono stati adottati nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU nell'ambito dell'Agenda 2030, un programma d'azione che sancisce il loro impegno a raggiungere lo sviluppo sostenibile nelle sue tre dimensioni – economica, sociale e ambientale – in maniera equilibrata e interconnessa. Ai fini del sondaggio, i 17 Obiettivi previsti dall'Agenda 2030 sono stati raggruppati in 6 macro-aree:

- > **Bisogni essenziali della persona**
- > **Protezione dei valori universali**
- > **Sviluppo socio-economico**
- > **Uso sostenibile delle risorse**
- > **Salvaguardia del pianeta**
- > **Governance**

Metodo di analisi

Il sondaggio di opinione è uno dei metodi più comunemente impiegati nei processi di Technology Foresight ed è stato finalizzato, in questa prima esperienza, alla raccolta di opinioni in merito all'impatto che un selezionato gruppo di innovazioni e tecnologie emergenti potrà avere in un prossimo futuro sul perseguimento degli obiettivi globali di sviluppo sostenibile.

50 tecnologie e innovazioni tecnologiche

Le tecnologie e innovazioni tecnologiche oggetto del sondaggio sono il risultato di un processo di aggregazione e selezione da un insieme molto ampio di elementi, frutto di studi di foresight realizzati da riconosciute istituzioni europee, quali gli studi del Fraunhofer Institute, dell'Imperial College e la lista di innovazioni emergenti identificate dalla Commissione Europea nel 2019.

Il processo ha fatto riferimento alle linee guida predisposte dalla United Nations Industrial Development Organization, adottando il criterio di avere un numero congruo ma non eccessivo di elementi, privilegiando le innovazioni tecnologiche rispetto a quelle sociali.

Nel testo, per brevità, ci si riferirà a tecnologie ed innovazioni tecnologiche con il solo termine tecnologie.

—

SIGLA	TECNOLOGIA	CATEGORIA
Aa	Automazione dell'agricoltura al chiuso	IA
As	Alimentazione senza fili	EN
Av	Automobili volanti	TR
Bc	Blockchain	IA
Bp	Bioplastiche	MA
Bs	Biostampa	BM
Bu	Bioluminescenza	EN
Ca	Cervello Artificiale	DS
Cc	Cattura CO ₂	EN, MA
Ci	Città senz'auto	TR
Cm	Interfaccia Cervello Macchina	IA, BM
Co	Riutilizzo CO ₂	MA
Cv	Comunicazione vegetale	DS
Em	Energia marina	EN
Fa	Fotosintesi artificiale	EN
Fi	Finestre intelligenti	MA
Ga	Guida autonoma	TR, IA
HI	Hyperloop	TR
Id	Idrogeno	TR
Ig	Idrogel	MA
Ii	Imaging iperspettrale	DS
Lc	Lab-On-A-Chip	BM
Ma	Materiali auto-riparanti	MA
Md	Materiali 2D	MA
Me	Membrane per la cattura e potabilizzazione dell'acqua	MA
Mg	Manipolazione del genoma	BM
Mp	Metabolizzazione della plastica	MA
Mt	Materiali transitori	MA
Nc	Nanotubi di carbonio	MA
Nn	Nanocellulosa - nanolegno	MA
No	Nano-Optics	DS
Oc	Organi su chip	BM

Elenco delle tecnologie e innovazioni tecnologiche selezionate, sigla e categoria di appartenenza.

Lista categorie:

BM: Biotecnologie e Medicina

DS: Dispositivi e strumenti

EN: Energia

IA: Intelligenza Artificiale

MA: Materiali

TR: Trasporti e Mobilità

—

Oe	Optoelettronica	DS
Og	Ologrammi	DS
Pt	Pittura termoelettrica	MA
Pu	Potenziatori di capacità umana	BM
Qc	Quantum computer	DS
Qd	Stampa 4D	MA
Ra	Realtà aumentata	IA
Re	Riconoscimento delle emozioni	IA
Rm	Riconoscimento molecolare	BM
Rn	Recupero dell'energia	EN
Sb	Sensori biodegradabili	DS
Sc	Stampa 3D del cibo	MA
Sf	Somministrazione di farmaci intelligenti	BM
Sp	Spintronica	MA
Tg	Transistor al grafene	MA, DS
Ti	Tatuaggi intelligenti	BM
Um	Umanoidi	BM
Vs	Vita sott'acqua	BM, MA

Il sondaggio svolto dal Politecnico di Milano presenta due principali aspetti di originalità rispetto a studi analoghi di altri centri di ricerca e università (ad esempio: Fraunhofer, Imperial College, Korea Institute of S&T Evaluation and Planning):

- la scelta di assumere come focus principale l'impatto che innovazioni e tecnologie possono avere nel favorire e accelerare la transizione verso una maggiore sostenibilità globale;
- la selezione dell'insieme dei partecipanti che comprende la comunità estesa del Politecnico di Milano —docenti, ricercatori, dottorandi, Alumni— indipendentemente dai propri ambiti di competenza specifica includendo, di fatto, differenti punti di vista tra le opinioni raccolte.

Nota metodologica

Il sondaggio è stato presentato nella forma di un questionario on-line, attraverso la predisposizione di una piattaforma progettata ad hoc cui poter accedere mediante le credenziali di Ateneo.

<https://www.foresight.polimi.it/survey/>

Per ciascuna delle 50 tecnologie selezionate è stata resa disponibile una scheda di descrizione generale e alcuni riferimenti bibliografici rilevanti e autorevoli in modo da fornire al partecipante al sondaggio —indipendentemente dal background di conoscenze pregresse— elementi generali sulla tecnologia/innovazione.

Al rispondente è stato chiesto di esprimere una opinione in merito al possibile impatto di ogni singola tecnologia sulle aree in cui sono stati raggruppati gli obiettivi di sviluppo sostenibile (aree SDG): prima in merito al tipo di impatto (nessuno, positivo o negativo), quindi alla sua entità (molto basso, basso, alto e molto alto).

In accordo con gli obiettivi primari di questo esercizio, tutte le risposte ricevute sono state considerate valide senza operare alcun filtro sui dati raccolti, né in relazione al numero di tecnologie verso cui il rispondente ha espresso una opinione, né in relazione alla coerenza intrinseca delle risposte.

—

Il sondaggio è rimasto attivo dal 21 ottobre 2020 al 21 dicembre 2020, raccogliendo le opinioni di oltre 800 partecipanti.

Il sondaggio e le opinioni espresse dai partecipanti hanno permesso di segnare in maniera fondamentale la nascita del Centro di Technology Foresight e di tracciare la direzione delle sue attività future.

Risultati

Nel testo, le tecnologie sono colorate quando citate con accezione di impatto **positivo** o **negativo**.

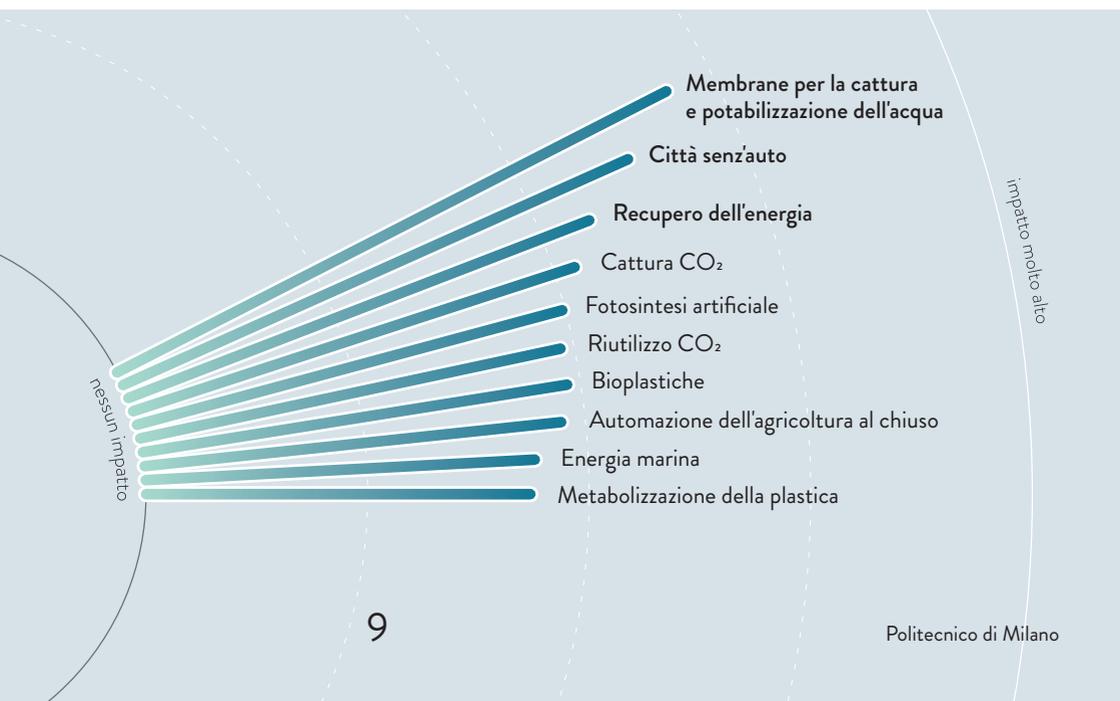
La Comunità Politecnica si è interrogata su quelli che potranno essere gli impatti di ciascuna tecnologia nelle diverse aree che raggruppano gli obiettivi di sviluppo sostenibile, esprimendo oltre 50.000 opinioni.

Una prima fase di analisi si focalizza sulle tecnologie e sull'entità dell'impatto che queste tecnologie potranno avere nel futuro, considerando il valor medio assoluto complessivo, senza distinguere tra le aree di impatto o sul fatto che l'impatto atteso sia positivo o negativo.

Dal sondaggio le tre tecnologie che potrebbero avere il maggiore impatto sono le **Membrane per la cattura e potabilizzazione dell'acqua**, la **Città senz'auto** e il **Recupero dell'energia**.

FIGURA A

Le prime 10 tecnologie per impatto assoluto medio.



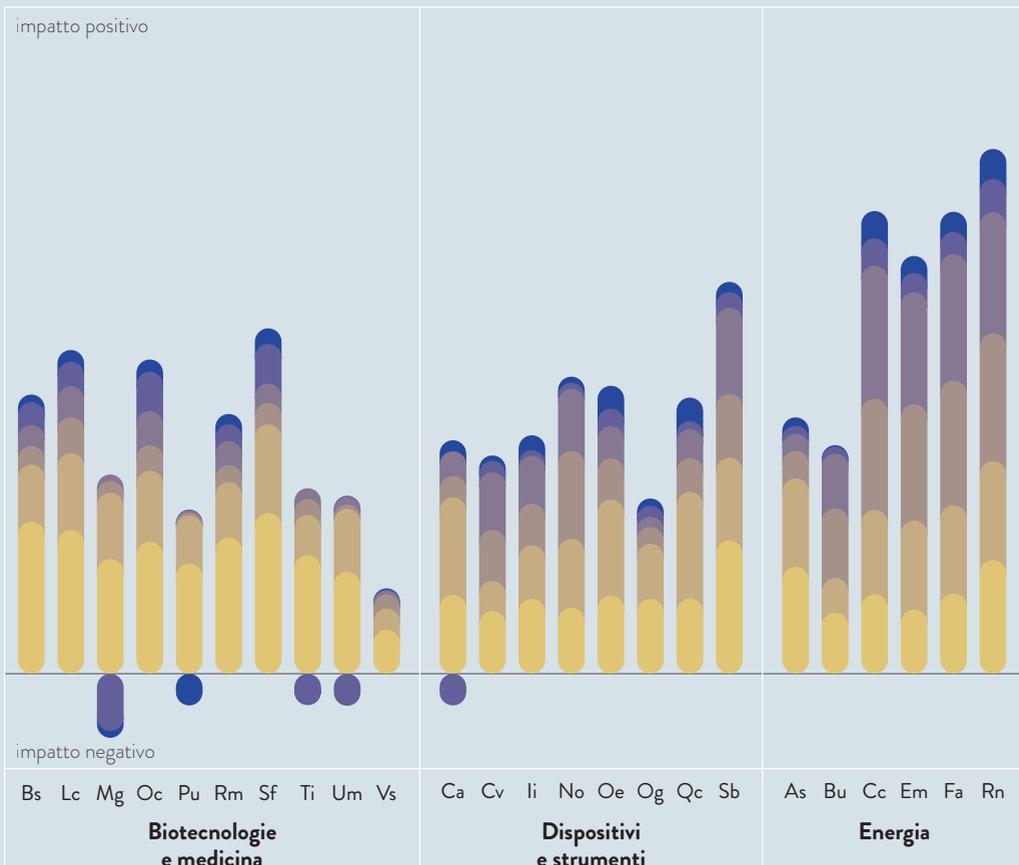
La mobilità nelle città dipende fortemente dalle auto;

Città senz'auto punta a ripensare la mobilità in modo da eliminare questa dipendenza. Il **Recupero dell'energia** include diverse soluzioni per la conversione di energia dalle più svariate forme in energia elettrica, per poter essere trasferita facilmente su lunghe distanze o alimentare dispositivi elettrici/elettronici in loco; si va dai pannelli solari ai dispositivi termoelettrici, dai sistemi di harvesting dell'energia meccanica agli impianti (micro)eolici.

Analizzando l'impatto separatamente per le diverse aree, e considerandone il contributo positivo o negativo, si nota che per quasi tutte le tecnologie e le aree di impatto, emerge un impatto

FIGURA B

Impatto assoluto medio per ogni tecnologia per le diverse aree di impatto.

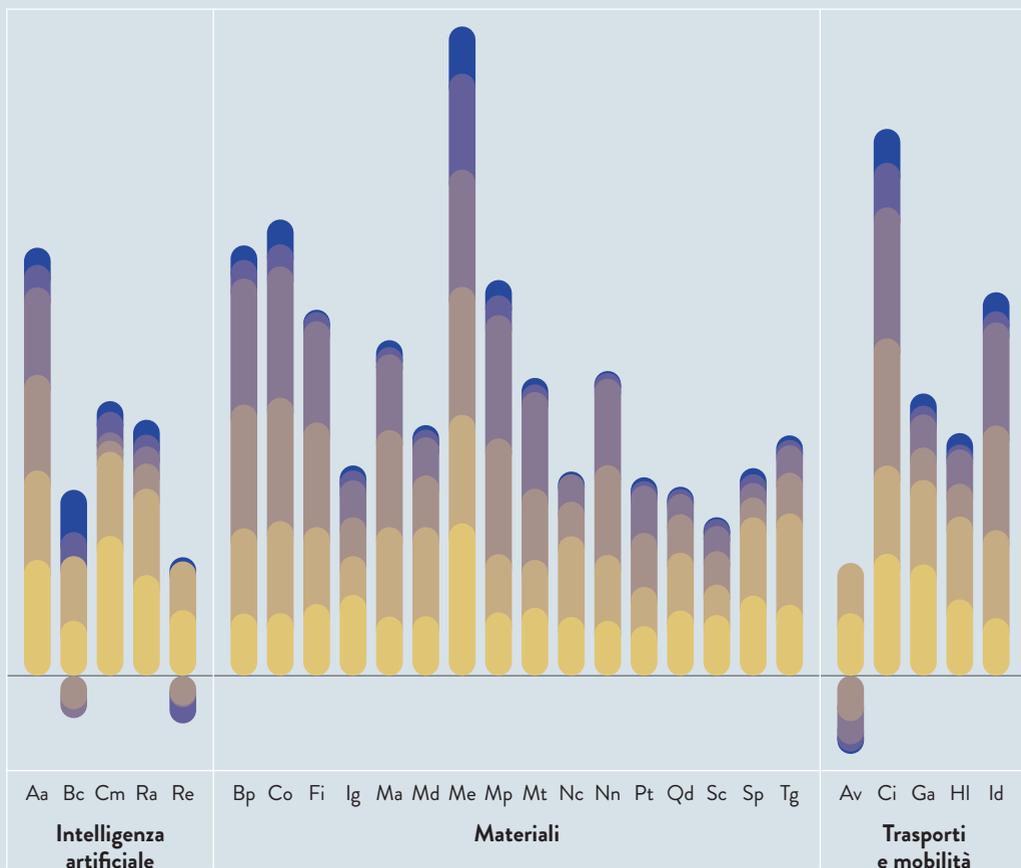


prevalentemente positivo o nullo, ad eccezione di otto casi in cui ci si attendono risvolti negativi in almeno un'area: si tratta di **Automobili volanti**, **Blockchain**, **Cervello artificiale**, **Manipolazione del genoma**, **Potenziatori di capacità umane**, **Riconoscimento delle emozioni**, **Tatuaggi intelligenti** e **Umanoidi**.

Alcune di queste tecnologie già esistono ma non hanno ancora raggiunto una maturità e un costo tali da avere un impatto importante (**Metabolizzazione della plastica**), altre sembrano essere alle porte (**Somministrazione di farmaci intelligenti**), altre sono ancora lontane o forse rimarranno tecnologie di nicchia (**Stampa 3D del cibo**).

Area di impatto:

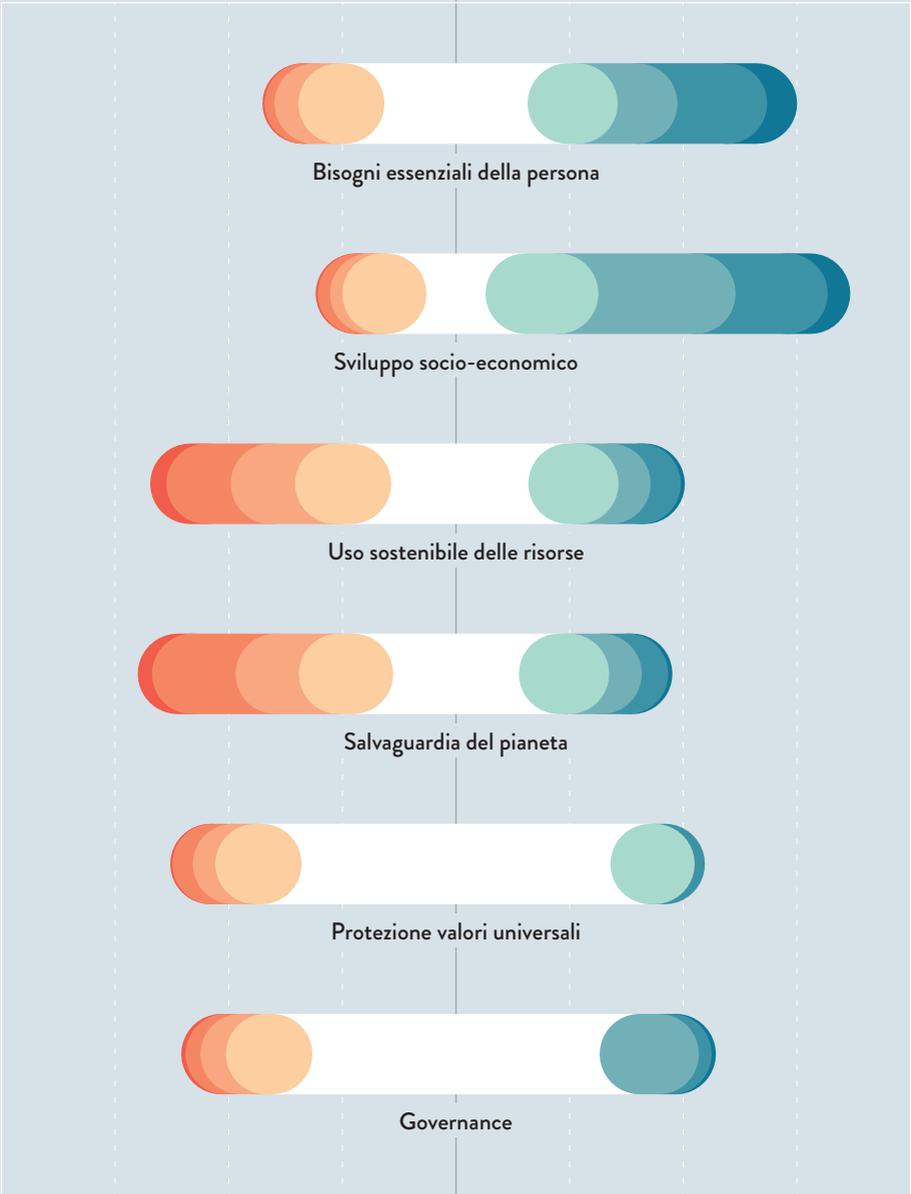
- Bisogni essenziali della persona
- Sviluppo socio-economico
- Uso sostenibile delle risorse
- Salute del pianeta
- Protezione dei valori universali
- Governance



← impatto negativo

nessun impatto

→ impatto positivo



Automobili volanti

FIGURA C

Impatto divergente
sulle aree SDG.

Impatto atteso:

-  molto alto positivo
-  alto positivo
-  basso positivo
-  molto basso positivo
-  nessuno
-  molto basso negativo
-  basso negativo
-  alto negativo
-  molto alto negativo

L'opinione prevalente sulle **Automobili volanti** è che queste saranno un'innovazione tecnologica che potrà avere un impatto piuttosto diverso nelle varie aree, raccogliendo opinioni molto divergenti (figura C).

Indubbiamente, uno degli obiettivi delle attività di technology foresight è di prevedere quali potranno essere scenari futuri e possibili impatti legati all'uso di tecnologie e innovazioni, mettendone in luce eventuali rischi e pericoli, così da riuscire ad elaborare per tempo strategie che permettano nel presente di agire in modo tale che gli scenari meno desiderabili non si realizzino o che non ci trovino impreparati.

LA DIVERGENZA DI OPINIONE

Una seconda chiave di lettura ha riguardato la distribuzione delle opinioni espresse relativamente all'impatto di una tecnologia sulle diverse aree, come nel caso del **Riconoscimento delle emozioni**.

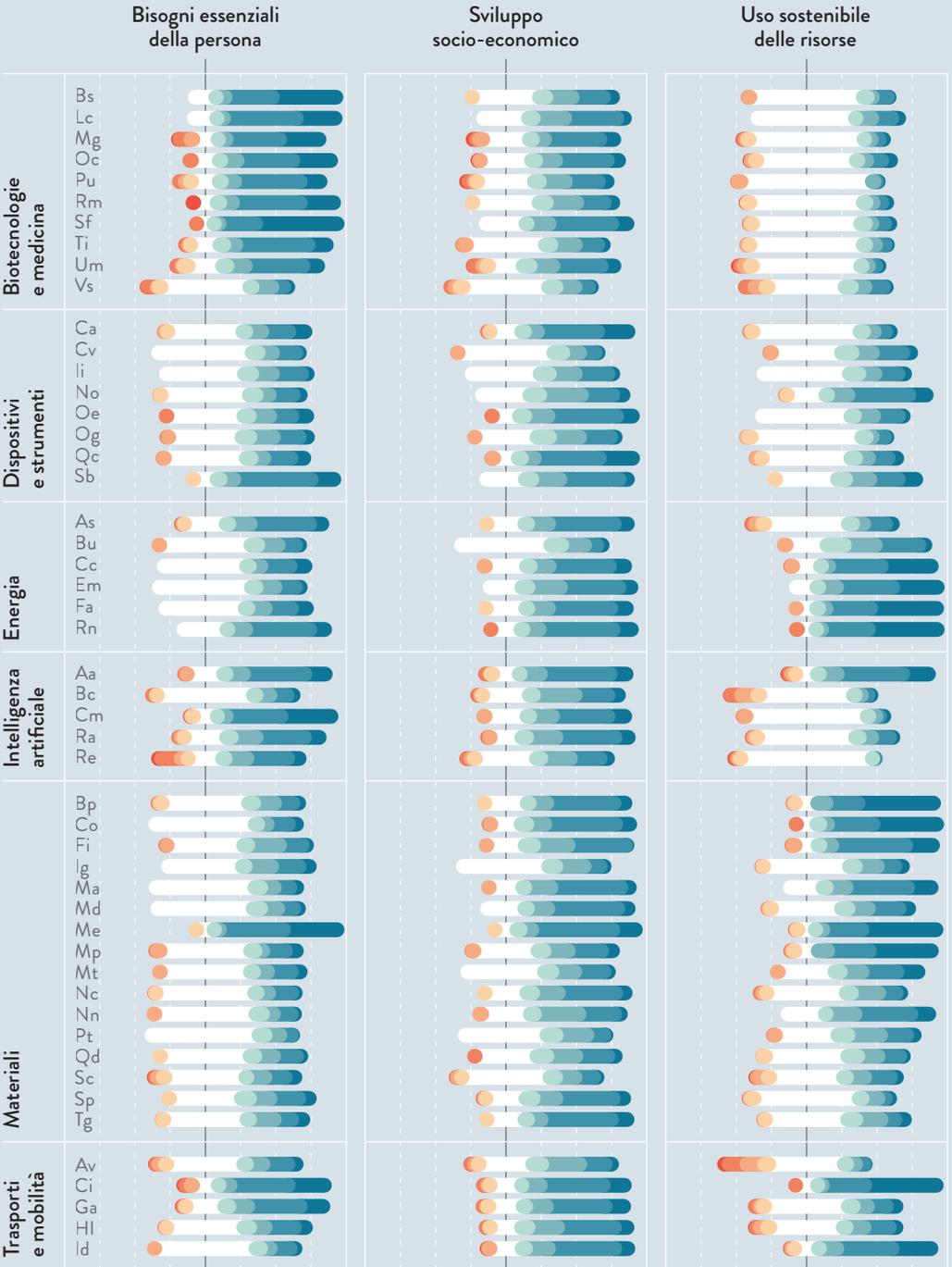
Poiché tutti i membri della comunità hanno partecipato al sondaggio, indipendentemente dall'area specifica di competenza ed interesse, è emersa talvolta una divergenza di opinioni (figura D) che, nei processi di foresight, è un elemento fondamentale a supporto di una analisi di scenario utile e proficua.

In alcuni casi emerge una diversa percezione del livello di impatto che la tecnologia specifica può avere, con opinioni di impatto senz'altro positivo, ma di diversa intensità, come nel caso delle **Membrane per la potabilizzazione dell'acqua** nell'area **Sviluppo socio-economico**.

In altri casi la comunità ha espresso opinioni che coprono l'intera scala all'interno della stessa area, dall'impatto molto alto negativo, a quello altrettanto elevato ma positivo, come le **Automobili volanti** in relazione alla **Salvaguardia del pianeta**, confermando l'importanza di avere un nucleo di partecipanti vario.

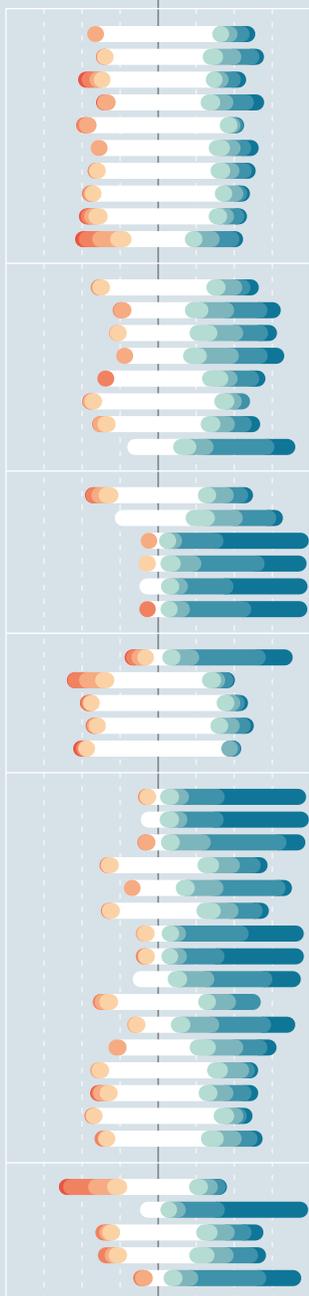
FIGURA D

Distribuzione percentuale
dell'impatto per ogni
tecnologia ed area.
(Nella pagina seguente)

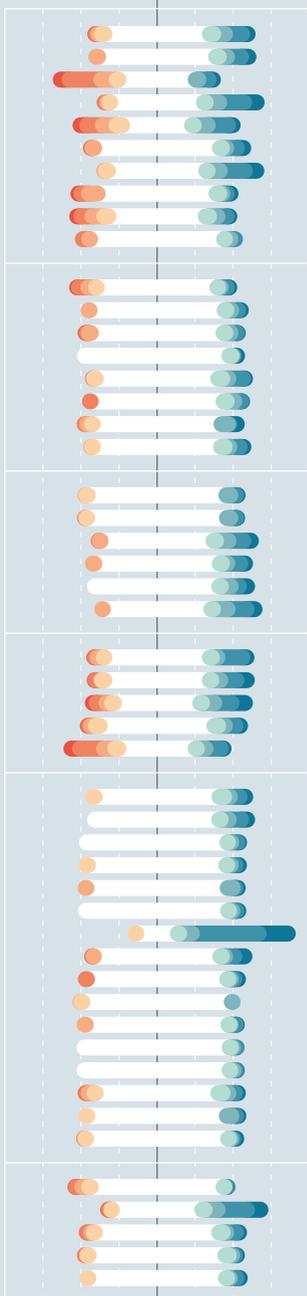


Il colore indica l'impatto: impatto negativo ◯ nessun impatto ◯ impatto positivo

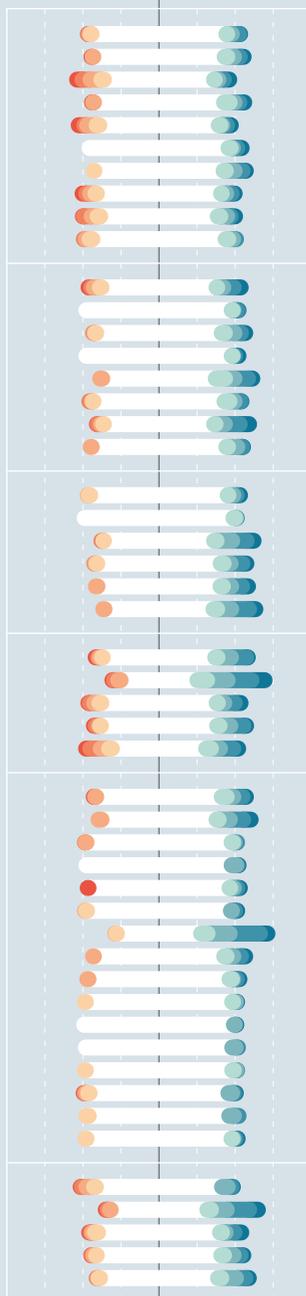
Salvaguardia del pianeta



Protezione dei valori universali



Governance



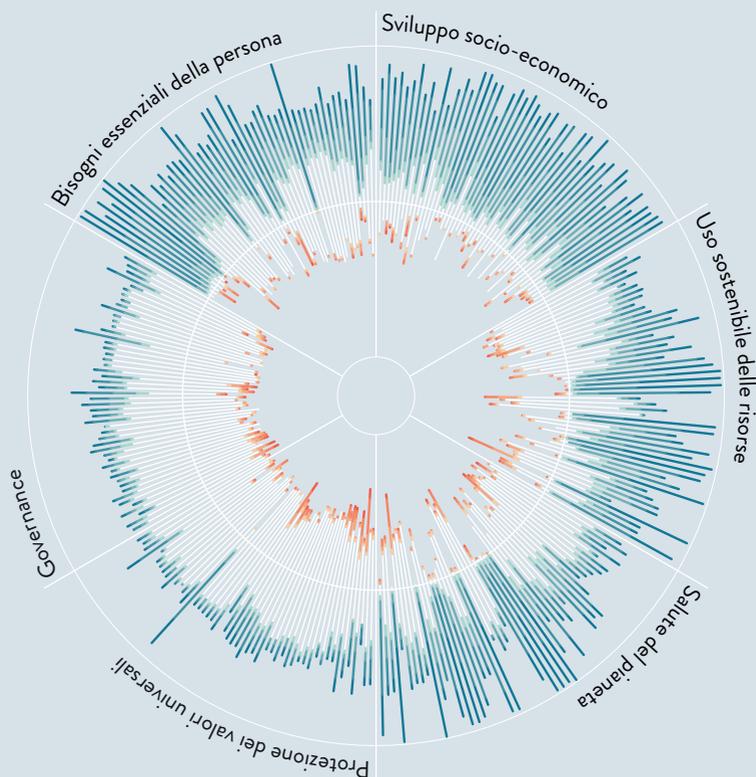
LA RELAZIONE TRA LE AREE

Un'ultima analisi si è focalizzata sulle aree in cui sono stati raggruppati gli obiettivi di sviluppo sostenibile, mettendo a confronto l'impatto atteso.

Per gli SDG ricadenti nell'area **Sviluppo socio-economico** tutte le tecnologie sono state valutate avere un impatto prevalentemente positivo (figura D). Per **Bisogni essenziali della persona**, **Salvaguardia del pianeta** e **Uso sostenibile delle risorse** la valutazione di impatto risulta essere positiva, ma con una prevalenza significativa solo per alcune tecnologie. **Protezione valori universali** e **Governance** sono ambiti in cui la comunità ha ritenuto che l'impatto futuro sia prevalentemente nullo, con l'unica eccezione della **Manipolazione del genoma**.

FIGURA E

Visione complessiva ed integrata delle risposte del sondaggio in relazione all'impatto atteso per tecnologia e area SDG, rappresentata con tutti i dettagli nel poster allegato.



Nuove prospettive e sviluppi futuri

I risultati aggregati delle opinioni espresse sono stati integrati nella piattaforma del sondaggio, per consentire alla comunità un'esplorazione dettagliata. In una visione d'insieme, lo studio ha messo in luce che:

- vi è una percezione generale di impatto positivo delle innovazioni e tecnologie analizzate su tutte le aree di SDG, anche se il quadro è significativamente eterogeneo, per estensione ed intensità di impatto previsto;
- l'area **Governance** appare quella meno influenzata;
- le aree **Salute del pianeta**, **Protezione dei valori universali** ed **Uso sostenibile delle risorse** risultano subire un potenziale impatto negativo da parte di specifiche tecnologie, quali **Manipolazione del genoma**, **Riconoscimento delle emozioni** e **Blockchain**;
- esiste potenzialmente una competizione tra le tecnologie che favoriscono gli obiettivi all'interno dell'area di **Sviluppo socio-economico** e quelli delle altre aree relative all'individuo e ai beni comuni, ovvero, **Bisogni essenziali della persona**, **Salute del pianeta** e **Uso sostenibile delle risorse**.

La comunità scientifica del Politecnico ha riconosciuto, per un insieme di tecnologie, una chiara azione sinergica tra più aree di impatto, rendendole candidate ideali ai fini del perseguimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile.

Per altre, invece, risultano necessari ulteriori approfondimenti per comprendere, ed eventualmente risolvere, situazioni di potenziale conflitto o divergenza.

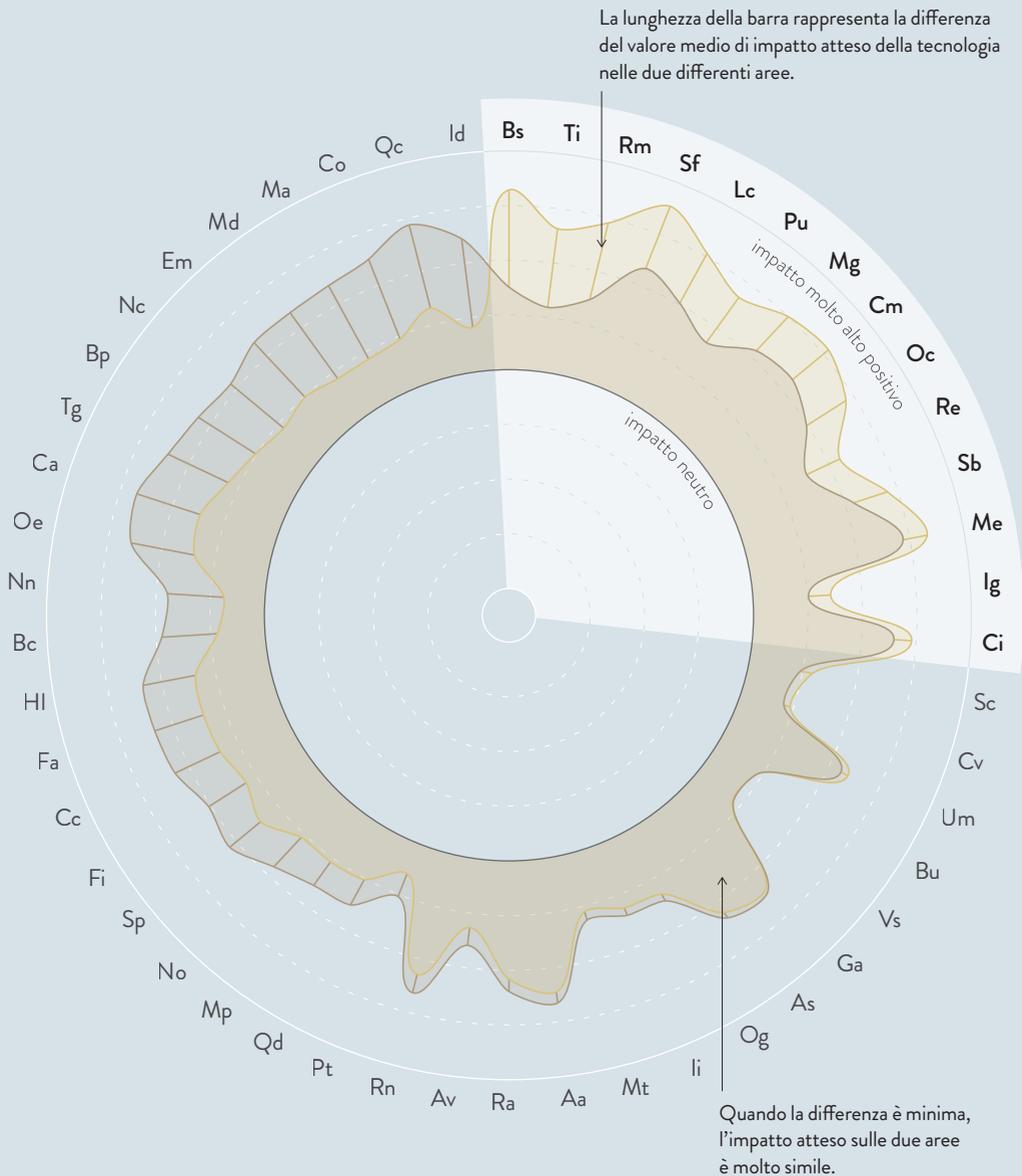


FIGURA F

Confronto tra l'impatto medio atteso sulle aree **Sviluppo socio-economico** e **Bisogni essenziali della persona**.

Area di impatto:

- Sviluppo socio-economico
- Bisogni essenziali della persona

Prendendo ad esempio le aree **Sviluppo socio-economico** e **Bisogni essenziali della persona**, l'attenzione si focalizza su quegli elementi (riportati nell'area evidenziata in figura F), per i quali la comunità scientifica ha riconosciuto i benefici per la persona ma non ne ha percepito invece ancora i vantaggi rispetto allo **Sviluppo socio-economico**. Analoghe considerazioni emergono dall'analisi delle tecnologie a maggior impatto atteso su **Salvaguardia del pianeta** e **Uso sostenibile delle risorse**.

Le prossime attività del Centro di Technology Foresight del Politecnico di Milano saranno proprio indirizzate all'identificazione e all'analisi di possibili scenari d'uso per quell'insieme di tecnologie con il più alto potenziale di impatto nelle diverse aree, al fine di indagare i principali fattori legati ad effetti sinergici o a situazioni conflittuali tra aree.

L'auspicio è poter supportare istituzioni e aziende impegnate ad incorporare nei loro processi decisionali le più importanti sfide per uno sviluppo sostenibile.

La rete di competenze del Politecnico di Milano

Le università ed i centri di ricerca costituiscono un contesto "ideale" per dare vita ad attività di Technology Foresight, avendo al proprio interno esperti di molteplici settori, persone capaci di immaginare il futuro, con una grande rete di conoscenze internazionali altrettanto abituate a guardare avanti.

Nei processi di Technology Foresight è infatti importante avere un insieme ricco e differenziato di partecipanti, con competenze e aree di interesse diverse, per poter immaginare i futuri possibili mettendo insieme differenti punti di vista. Il Politecnico può contare su più di 1400 docenti e ricercatori, oltre 2000 tra dottorandi e assegnisti ed una vastissima rete di Alumni e collaboratori internazionale.

Centro di Technology Foresight,
Politecnico di Milano

Comitato Scientifico:

- Cristiana Bolchini
- Francesco Braghin
- Giuliana Iannaccone
- Matteo Maestri
- Paolo Trucco

Un ringraziamento speciale a Riccardo Medana e Alberto Speroni che hanno contribuito alla realizzazione del sondaggio e all'analisi ed elaborazione dei dati.

Si ringraziano inoltre tutti i colleghi ed Alumni che hanno aderito con disponibilità ed entusiasmo a questa nuova iniziativa del Politecnico di Milano.

Progetto grafico e impaginazione: Accurat