
Dati per Competere

Intelligenza artificiale e mecatronica: una mappa delle frontiere dell'innovazione

ABSTRACT

L'intelligenza artificiale sta ridefinendo il vantaggio competitivo della manifattura: il valore non risiede più soltanto nella macchina, ma sempre più nell'intelligenza che la governa e la fa evolvere. Questa indagine mappa, per la prima volta su base brevettuale, dove in Europa nasce l'innovazione che integra intelligenza artificiale e mecatronica — e dove si colloca, in quella geografia, il distretto emiliano-romagnolo.

L'analisi si fonda su 6.209 brevetti ibridi IA-meccatronica depositati tra il 2014 e il 2024, identificati nella banca dati EPO Patstat attraverso la co-presenza di codici di classificazione dell'intelligenza artificiale e della manifattura, e geolocalizzati su 751 territori europei. Ogni brevetto è classificato lungo una scala cognitiva a quattro livelli — ORGANIZZA, PERCEPISCE, APPRENDE, PROGETTA — che misura il grado crescente di autonomia con cui l'IA si integra nella macchina.

Il quadro europeo è poi messo a confronto con un panel qualitativo di dodici imprese mecatroniche dell'area di Reggio Emilia, che illustra il regime reale di adozione dietro i dati brevettuali.

L'indagine documenta una frontiera estremamente concentrata — solo quattro territori europei presidiano stabilmente le forme più avanzate dell'IA industriale — e un "paradosso emiliano": un'adozione operativa diffusa che convive con l'assenza di capacità cognitiva propria e brevettata. Il brevetto misura una forma specifica di innovazione, quella codificata e difesa formalmente; non cattura l'innovazione protetta per via di segreto industriale, particolarmente diffusa nelle macchine automatiche. La distanza brevettuale dalla frontiera va quindi letta come un indicatore robusto ma parziale, da integrare con la lettura qualitativa del distretto.

La tesi che ne deriva è che il vincolo non sia tanto di competenza individuale quanto di costruzione di asset cognitivi collettivi: nessuna impresa possiede da sola la scala di dati necessaria, ma il nodo più profondo è la mancata costruzione di una governance condivisa della conoscenza di filiera. Si tratta meno di un problema tecnico di volume di dati e più di un problema istituzionale: chi raccoglie, chi addestra, chi possiede l'intelligenza che ne risulta. L'obiettivo del lavoro è duplice: offrire una misura oggettiva del posizionamento competitivo del distretto e indicare una traiettoria concreta verso il governo della propria intelligenza industriale.

IN SINTESI

I risultati principali

La competizione manifatturiera europea si sta spostando dalla macchina all'intelligenza che la governa. I brevetti mostrano che questa frontiera è già presidiata da pochissimi territori — e che il distretto emiliano-romagnolo non vi è ancora entrato. Sei risultati riassumono l'indagine.

1	Una frontiera estremamente concentrata. Su oltre 750 territori europei, solo quattro presidiano stabilmente le forme più avanzate dell'IA industriale. La Germania da sola pesa per la metà dei brevetti che integrano IA e mecatronica.
2	L'IA entra nella macchina in quattro modi. Una scala cognitiva — ORGANIZZA, PERCEPISCE, APPRENDE, PROGETTA — distingue gradi crescenti di autonomia. Solo l'ultimo, fondato sulle architetture transformer, rappresenta la vera frontiera.
3	La scala si percorre in ordine. I dati storici mostrano che nessun territorio salta i gradini: per progettare bisogna prima aver imparato, e per imparare aver raccolto dati. PROGETTA decolla solo dal 2019.
4	Il paradosso emiliano. Le imprese reggiane adottano l'IA in modo diffuso (83% del panel), ma quasi sempre acquistandola. In Emilia-Romagna non si registra alcun brevetto al livello PROGETTA — un'assenza significativa, da leggere però alla luce di una cultura distrettuale che protegge spesso l'innovazione per segreto industriale anziché per brevetto.
5	L'ostacolo non è solo la competenza, è l'assenza di asset cognitivi collettivi. Nessuna singola impresa dispone di dati sufficienti per addestrare modelli propri robusti, ma il nodo più profondo non è solo tecnico: è la mancata costruzione di una governance condivisa della conoscenza di filiera. È una questione istituzionale, prima che culturale o di volume di dati.
6	La leva: condividere i dati di filiera. Una federazione di dati — già sperimentata altrove — non vale solo perché condivide dati, ma perché istituisce una forma di governance cognitiva: regole condivise su chi conferisce, chi addestra e chi possiede l'intelligenza che ne risulta.

CAPITOLO 1 · IL CONTESTO

La competizione si sposta dalla macchina all'intelligenza che la governa

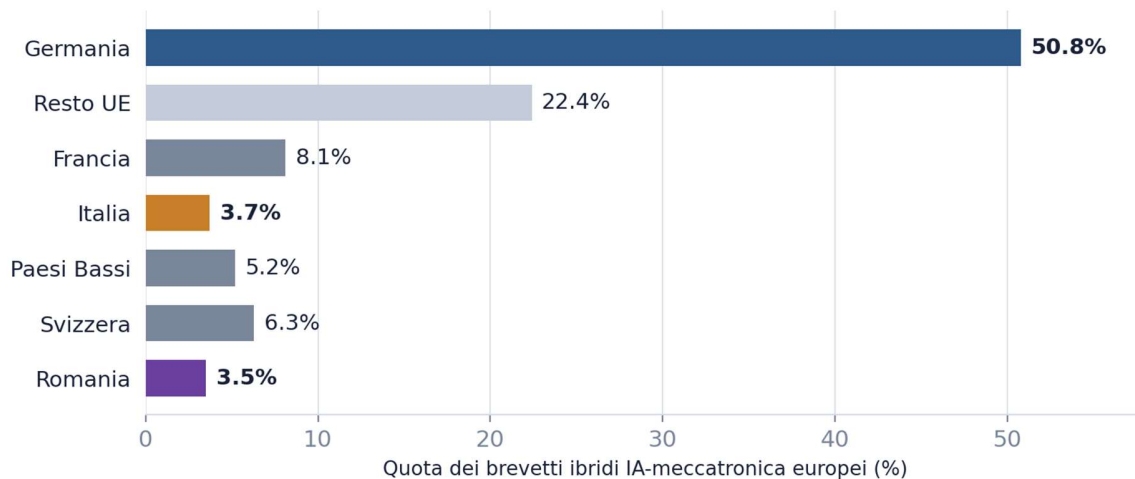
Per oltre un secolo il vantaggio competitivo della meccatronica europea è stato costruire la macchina migliore: più precisa, più affidabile, più efficiente. Oggi quel vantaggio si sta spostando. Le macchine non diventano soltanto più veloci o più automatizzate: diventano capaci di vedere, apprendere e decidere. Il valore non si concentra più soltanto nella macchina, ma sempre più nell'intelligenza che la governa e la fa evolvere.

Questa transizione si inserisce in un dibattito europeo più ampio. La competitività dell'Europa nell'intelligenza artificiale non si deciderà soltanto nella corsa ai modelli di frontiera contro Stati Uniti e Cina: la vera domanda è se l'Europa saprà costruire vantaggi competitivi nei mercati applicativi in cui possiede basi industriali distintive. È la tesi di una recente analisi di interface (Lemke, 2026), che mappa l'attività delle startup di IA in cinque mercati strategici e individua proprio nel manifatturiero il terreno più promettente per l'Europa. È un quadro che dà profondità strategica alla questione meccatronica: filiere, sovranità cognitiva e IA industriale non sono temi locali, ma il fronte su cui si gioca una parte rilevante della competitività europea.

La tesi di questa indagine è netta: **chi possiede le macchine ma non l'intelligenza che le fa evolvere rischia di cedere ad altri la parte più pregiata del valore.** La domanda scomoda dello scenario manifatturiero dei prossimi anni è la seguente: una macchina resta davvero di proprietà di un'azienda se l'intelligenza che la guida appartiene a qualcun altro, che decide quando e come aggiornarla?

Tre grandi attori interpretano questa transizione in modo diverso. La Cina compete sulla scala e sull'IA fisica, con 295.000 nuovi robot industriali nel 2024 — il 51% del totale mondiale. La Germania e i Paesi Bassi incorporano l'IA cognitiva direttamente nelle macchine, e da soli pesano per oltre la metà dei brevetti europei che uniscono IA e meccatronica. L'Italia adotta l'IA in modo strumentale, come utility esterna, e pesa per il 3,7% dei brevetti europei: eccellenza manifatturiera fisica senza un equivalente cognitivo proprio.

L'innovazione che integra IA e mecatronica è molto più concentrata nella manifattura tradizionale: la Germania da sola pesa per la metà del totale europeo.



Questa concentrazione è il primo segnale che la frontiera dell'intelligenza industriale non coincide con la geografia manifatturiera tradizionale. È un terreno nuovo, ancora in formazione, su cui le posizioni si stanno definendo proprio in questi anni.

Vale la pena sottolineare perché questo terreno sia strategicamente decisivo per l'Europa. Secondo l'analisi di Interface (Lemke, 2026)¹, il manifatturiero e la supply chain rappresentano l'unico tra i cinque principali mercati applicativi dell'IA in cui l'Unione Europea conta una quota di startup superiore a quella degli Stati Uniti (circa 45% contro 39%), e la Germania è il paese europeo con il segnale di specializzazione più forte in assoluto in questo mercato, con Monaco come nodo di specializzazione applicata.

È un punto che amplifica il peso strategico della diagnosi di questo report: la manifattura è oggi il dominio in cui l'Europa conserva un vantaggio competitivo relativo rispetto agli Stati Uniti.

¹ D. Lemke, *European AI Competitiveness. Beyond Frontier Models. Insights From AI Startups in Five Strategic Markets*. Interface, 2026

CAPITOLO 2 · IL METODO

Come misuriamo l'integrazione reale tra IA e macchina

Questa indagine non misura quanto l'IA sia diffusa, ma chi sta costruendo la capacità di guidarne l'evoluzione dentro le macchine. Lo strumento di misura sono i brevetti: il registro formale dell'innovazione difendibile. Quando un'impresa deposita un brevetto, dichiara di aver sviluppato — e di voler proteggere — un know-how originale. È una misura severa, oggettiva e confrontabile tra territori.

L'analisi ha interrogato la banca dati brevettuale europea EPO Patstat (versione Autumn 2025), che contiene centinaia di milioni di record. Per ogni brevetto abbiamo verificato, attraverso un doppio incrocio sui codici di classificazione CPC, l'appartenenza simultanea alla famiglia dell'intelligenza artificiale (G06N, G06T, G06Q, G06K) e a quella manifatturiera e meccatronica (B25J robotica, G05B controllo, H02K motori, B65B packaging). Le query sono state affinate fino a isolare le sole invenzioni realmente ibride, poi geolocalizzate sui territori europei a livello NUTS-3. Ne risultano 6.209 brevetti ibridi, distribuiti su 751 territori, depositati tra il 2014 e il 2024: l'universo completo dell'analisi.

Codice CPC	Dominio manifatturiero	Processo fisico che fotografa	Rilevanza per il distretto emiliano-romagnolo	Brevetti ibridi*	Quota*
G05B	Controllo automatico delle macchine	Regolazione e supervisione del funzionamento della macchina: come la macchina opera, si adatta, si auto-corregge	Cuore di ogni linea automatica: packaging, food processing, macchine utensili	1.884	72%
B25J	Robotica e manipolazione	Bracci robotici, manipolatori, presa e movimentazione di pezzi nello spazio fisico	Robotica di linea, asservimento macchine, pick-and-place	262	10%
B23	Lavorazione dei metalli	Asportazione, taglio, foratura e finitura del metallo (macchine utensili B23P/B23Q)	Componentistica meccanica di precisione, sub-fornitura	78	3%
B65B	Macchine confezionatrici	Confezionamento e imballaggio di prodotti: riempimento, sigillatura, incartonamento	Specializzazione storica del distretto: IMA, Marchesini, G.D./Coesia	53	2%
H02K	Motori macchine elettriche	Generazione e conversione elettromeccanica: motori, generatori, attuatori	Motorizzazione, azionamenti, componentistica elettromeccanica	—	—

I codici manifatturieri dell'analisi: quali processi fotografano la meccatronica. Conteggi sul benchmark dei 24 territori di confronto (circa 2.600 brevetti ibridi). La dominanza del controllo automatico (G05B, 72%) è il dato strutturale: l'integrazione IA-manifattura avviene prevalentemente nel software che governa la macchina, non nella macchina fisica. Fonte: EPO Patstat Online, Autumn 2025.

Non tutta l'IA è uguale: una scala cognitiva a quattro livelli

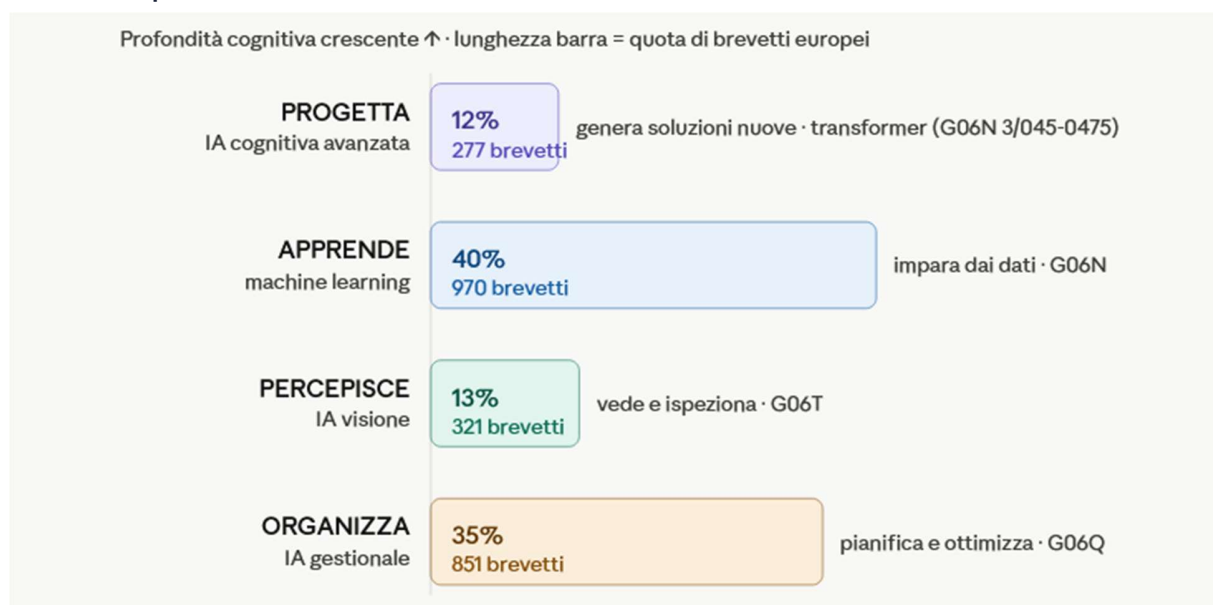
Leggendo i codici tecnici di dettaglio di ciascun brevetto distinguiamo quattro tipi di intelligenza. Non sono categorie alla pari: ognuna misura un grado diverso di autonomia della macchina, e le ordiniamo per profondità cognitiva crescente.

Alla base, **ORGANIZZA** (codici G06Q) è l'IA che pianifica e ottimizza i processi attorno alla macchina, senza modificarla. Un gradino sopra, **PERCEPISCE** (G06T) dota la macchina di visione, rilevando difetti e anomalie in linea. Più in profondità, **APPRENDE** (G06N) raccoglie i sistemi che costruiscono modelli dai dati e migliorano nel tempo. Al vertice, **PROGETTA** — i sottocodici G06N 3/045-0475, le architetture transformer — è l'IA capace di generare soluzioni nuove: la stessa famiglia tecnologica dei modelli generativi, applicata alle macchine.

Ma la scala cognitiva non si legge solo dal basso verso l'alto: va letta anche in larghezza. Perché i quattro livelli non pesano allo stesso modo. Sul campione europeo dei territori di frontiera, l'integrazione dell'IA nella meccatronica si concentra nei due livelli inferiori-intermedi: **APPRENDE da solo vale il 40% dei brevetti, ORGANIZZA un altro 35%**. Insieme, apprendimento e ottimizzazione coprono tre brevetti su quattro. La visione (**PERCEPISCE, 13%**) resta una nicchia, e la frontiera generativa (**PROGETTA, 12%**) è la più rara di tutte — poco più di un brevetto su dieci.

È un dato che inverte l'intuizione: più una traiettoria è cognitivamente profonda, meno è diffusa. La piramide della capacità è in equilibrio instabile sulla sua punta. E in Emilia-Romagna quella punta non c'è affatto: zero brevetti PROGETTA.

La scala cognitiva: quattro modi in cui l'IA entra nella macchina, ordinati per profondità cognitiva e numero di brevetti europei



Schema costruito su un sottocampione di 2.419 brevetti

L'integrazione dell'IA nella meccatronica europea è oggi dominata dai due livelli di apprendimento e ottimizzazione: APPRENDE (40%) e ORGANIZZA (35%) valgono insieme tre brevetti su quattro. La

macchina europea, in altre parole, impara dai propri dati e ottimizza i propri processi — ma molto raramente progetta soluzioni nuove.

Come abbiamo costruito le quattro traiettorie

La tassonomia a quattro traiettorie è stata costruita in tre passi:

1. Analisi della struttura CPC: abbiamo estratto e analizzato tutti i codici CPC IA presenti nei brevetti ibridi del dataset, identificando quattro cluster funzionalmente coerenti con architetture tecnologiche distinte e problemi industriali diversi.
2. Costruzione di query separate: invece di una query unica (che eccede il limite di costo di Patstat Online), abbiamo lanciato quattro query indipendenti — una per traiettoria — ciascuna con un JOIN specifico sul codice CPC della traiettoria. I quattro CSV risultanti sono stati fusi in Python con merge su nuts × anno.
3. Classificazione con gerarchia di priorità: PROGETTA ha priorità massima (sovrascrive IMPARA anche se un brevetto ha entrambi i codici); poi APPRENDE, PERCEPISCE, ORGANIZZA. Un brevetto con G06N 3/045 (transformer) e G06N 3/08 (training) viene classificato PROGETTA, non APPRENDE.

	Traiettoria	Codice CPC	Funzione nella macchina	Problema risolto	Esempio da brevetti di frontiera (verificati)
PROGETTA	IA Generativa / Transformer	G06N 3/045, G06N 3/046, G06N 3/0475	Genera output cognitivi nuovi: varianti progettuali, diagnosi in linguaggio naturale, istruzioni di controllo da testo. Priorità massima nella classificazione.	Come la macchina genera soluzioni progettuali o diagnosi tecniche mai viste prima?	Bosch DE111 (2023): LLM per configurazione automatica di sistemi tecnici tramite prompt. Bosch DE111 (2023): reinforcement learning per controllo robot adattivo.
APPRENDE	IA Cognitiva / Algoritmica	G06N (esclusi 3/045, 3/046, 3/0475) — ML classico, reti neurali, deep learning, sistemi esperti	Svilupa modelli di apprendimento dai dati produttivi. Migliora previsioni con l'esperienza accumulata sulla macchina.	Come la macchina decide meglio nel tempo dai propri dati?	Bosch DE111 (2023): stima dell'incertezza per ricostruzione posizione componenti su wafer. Metodo Gaussian process per training sicuro di modelli ML su sistemi ingegneristici.
PERCEPISCE	IA Percettiva / Visione	G06T — elaborazione immagini, visione artificiale, 3D	Acquisisce immagini da sensori industriali e le interpreta. Rileva difetti, posizioni, oggetti sulla linea produttiva.	Come vede la macchina? Come rileva un difetto da 0,1 mm a 300 pezzi/min?	Bosch DE111 (2023): ML per determinazione presa di gripper multi-dito su oggetti (point cloud 3D). Bosch DE111 (2023): anomaly detection su immagini digitali per controllo qualità.
ORGANIZZA	IA Gestionale / Decisionale	G06Q — schedulazione, supply chain, process management	Pianifica e ottimizza processi operativi. Decide quando fare manutenzione, come bilanciare la linea, come gestire la supply chain.	Come ottimizza il sistema decisioni operative complesse in tempo reale?	Bosch DE111 (2023): schedulazione produzione con gestione di job infeasibili tramite sistema virtuale. Bosch DE111 (2023): algoritmo di placement ottimo di oggetti in container per robotica.

Classificazione brevetti IA-meccatronica EPO patstat 2014-2024

Cosa distingue PROGETTA da APPRENDE

Questa è la distinzione metodologica più importante e la più spesso fraintesa. PROGETTA non è semplicemente 'IA più avanzata' — è un'architettura tecnologica specifica basata su meccanismi di attention e transformer (codici G06N 3/045, G06N 3/046, G06N 3/0475). APPRENDE copre tutto il machine learning e le reti neurali che non usano questa architettura: reti convoluzionali tradizionali, random forest, SVM, sistemi esperti, Gaussian process.

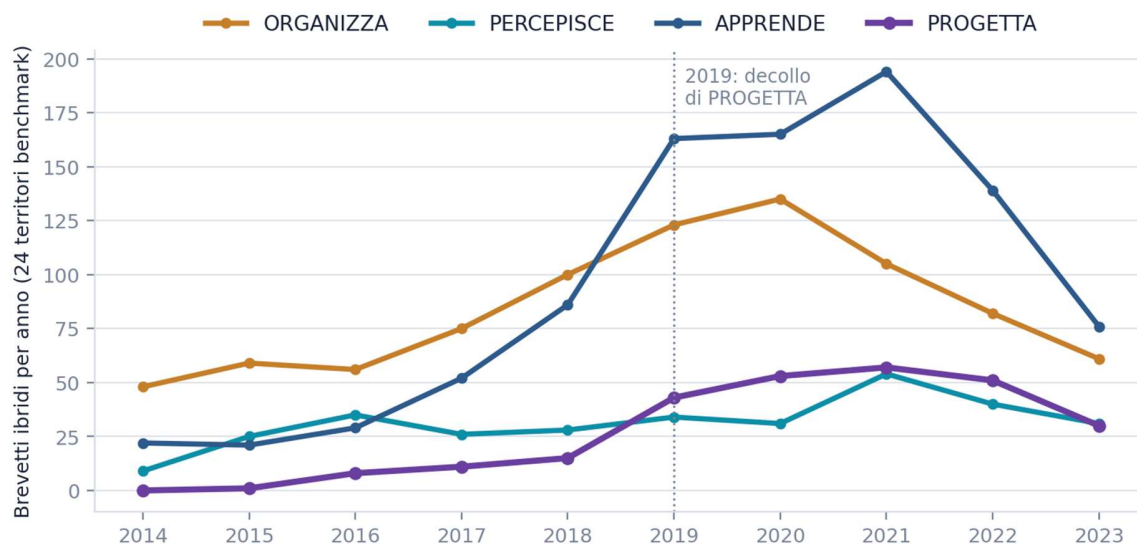
Il brevetto Bosch ID 602572870 (2023) illustra perfettamente la traiettoria PROGETTA: descrive un metodo per configurare un sistema tecnico usando un Large Language Model connesso a strumenti di simulazione e ottimizzazione. L'LLM riceve prompt testuali e determina i parametri di configurazione ottimali. Non è ML classico — è generativa applicata alla configurazione di macchine industriali.

Il brevetto Bosch ID 587627827 (2023) illustra invece la traiettoria APPRENDE: stima dell'incertezza per la ricostruzione della posizione di componenti su wafer usando un metodo ML con matrice di covarianza. È ML statistico applicato a controllo qualità — potente e industrialmente rilevante, ma architetturealmente diverso dai transformer.

La scala si percorre in ordine: non si salta

Seguendo nel tempo i brevetti dei principali poli europei, i quattro livelli non compaiono insieme ma emergono in sequenza. Nel 2014 l'IA entra prevalentemente come ORGANIZZA (il 61% dei brevetti del benchmark). Dal 2017 accelera APPRENDE, costruito sui dati raccolti in precedenza. Solo nel 2019 decolla PROGETTA, superando il 10% del totale: l'anno in cui le architetture transformer raggiungono la maturità industriale. È la prova che la scala è un percorso, non un menù — ogni gradino prepara il successivo.

Exhibit 3. I livelli emergono in sequenza storica, non insieme: per progettare bisogna prima aver imparato, e per imparare aver raccolto dati.



BOX METODOLOGICO — Perché “PROGETTA” decolla dal 2019 e non dal 2022

Un'obiezione frequente: «Ma l'IA generativa non è esplosa con ChatGPT alla fine del 2022? Come può la traiettoria PROGETTA decollare già dal 2019?»

L'apparente anticipo non è un errore: nasce dalla distinzione tra tre momenti distinti della stessa curva di maturazione tecnologica, che il dibattito pubblico tende a sovrapporre.

Il **2017** è il momento fondativo. L'architettura *transformer* — il meccanismo di *attention* su cui si basano tutti i modelli generativi successivi — viene introdotta dal paper di Vaswani et al., *Attention is All You Need*. Da quel momento la tecnologia esiste ed è disponibile per chi fa ricerca e sviluppo industriale.

Il **2019** è il decollo brevettuale. Con il consueto ritardo di diciotto-ventiquattro mesi tra pubblicazione scientifica fondativa e prime domande di brevetto applicative, le grandi imprese manifatturiere — in particolare nell'asse tedesco-olandese — iniziano a depositare brevetti che incorporano architetture *transformer* nei processi produttivi: progettazione generativa di componenti meccanici (Siemens, BMW), diagnostica predittiva basata su modelli linguistici (Bosch, GE), controllo adattivo da specifiche in linguaggio naturale (ASML). È questo il decollo che la traiettoria PROGETTA misura.

Il **2022** è il decollo di consumo. ChatGPT rende l'IA generativa accessibile al grande pubblico tramite interfaccia. È il momento in cui la tecnologia diventa fenomeno mediatico di massa — non quello in cui nasce, né quello in cui entra nella manifattura.

Il dato brevettuale è dunque un **indicatore anticipatore**: misura chi sta costruendo capacità generativa anni prima che diventi prodotto visibile. Quando PROGETTA decolla nei brevetti dal 2019, i territori di frontiera stavano già accumulando un vantaggio cognitivo che il resto del sistema avrebbe scoperto solo tre anni dopo.

Questa lettura è resa possibile dalla costruzione classificatoria della traiettoria. PROGETTA non cattura il *machine learning* in senso ampio, ma è isolata su tre soli codici CPC che identificano specificamente l'architettura *transformer*: G06N 3/045 (attention mechanism), G06N 3/046 (architetture *transformer*), G06N 3/0475 (large language models). I brevetti basati su reti convoluzionali, *random forest* o *deep learning* non-*transformer* sono classificati in APPRENDE, non in PROGETTA, attraverso una gerarchia di priorità che assegna a PROGETTA precedenza assoluta quando i codici generativi sono compresenti. La separazione tra le due traiettorie è quindi una firma tecnica verificabile, non un'approssimazione.

Quattro Traiettorie, Quattro Problemi: i Brevetti lo Dimostrano

Una analisi su 100 brevetti “campione” estratti da Patstat mostra concretamente dove è la frontiera che collega IA e meccatronica in Europa

I brevetti vengono presentati come illustrazioni qualitative delle traiettorie, non come evidenza quantitativa. I titoli e gli abstract sono riportati in forma parafrasata per rispettare le norme sul diritto d'autore, con indicazione dell'appln_id verificabile su EPO Espacenet.

GENERA: transformer per configurare macchine

PROGETTA — Transformer/LLM Configurazione di sistemi tecnici tramite LLM Stuttgart DE111 · 2023 Un Large Language Model connesso a strumenti di simulazione e ottimizzazione riceve prompt testuali e determina automaticamente i parametri di configurazione ottimali per sistemi tecnici complessi. La macchina si configura da sola attraverso il linguaggio naturale. EPO Patstat ID: 602572870	PROGETTA — Transformer/LLM Reinforcement learning per controllo adattivo robot Stuttgart DE111 · 2023 Metodo di apprendimento per policy di controllo di sistemi automatici (robot) tramite reinforcement learning: il sistema osserva lo stato dell'ambiente e determina autonomamente le azioni ottimali. L'agente impara dall'interazione continua con il processo fisico. EPO Patstat ID: 599808485
--	--

Questi due brevetti mostrano la frontiera PROGETTA applicata alla manifattura: non è ChatGPT che scrive email, è un LLM che configura macchine industriali e un sistema di reinforcement learning che controlla robot in tempo reale. È IA che agisce nel mondo fisico generando istruzioni di controllo.

APPRENDE: quando il ML classico entra nel controllo qualità

APPRENDE — Algoritmica/ML Stima dell'incertezza per ricostruzione posizione su wafer Stuttgart DE111 · 2023 Un sistema ML stima l'incertezza della propria previsione durante la ricostruzione della posizione di componenti semiconduttori su wafer. Il modello sa quando non sa — produce una matrice di covarianza che quantifica l'affidabilità della previsione. Fondamentale per quality control in produzione di precisione. EPO Patstat ID: 587627827	APPRENDE — Algoritmica/ML Training sicuro di modelli ML su sistemi ingegneristici Stuttgart DE111 · 2023 Un Gaussian process multitask implementa un modello congiunto di valori di sicurezza per sistemi target e ausiliari. Permette di selezionare nuovi stati per il sistema target predicendo i valori di sicurezza, rendendo il processo di apprendimento compatibile con i vincoli fisici della macchina. EPO Patstat ID: 601281228
--	---

PERCEPISCE: visione artificiale per robotica e controllo qualità

PERCEPISCE — Visione artificiale ML per presa di gripper multi-dito su oggetti 3D Stuttgart DE111 · 2023 Un modello ML addestrato su rappresentazioni point-cloud determina la presa ottimale di un gripper robotico multi-dito	PERCEPISCE — Visione artificiale Anomaly detection su immagini digitali per quality control Stuttgart DE111 · 2023
---	---

su oggetti in pose diverse. Minimizza loss di collisione e instabilità della presa. Permette ai robot industriali di manipolare oggetti irregolari senza programmazione esplicita.

EPO Patstat ID: 596392484

Un modello addestrato su immagini normali determina la probabilità di appartenenza di una nuova immagine alle classi conosciute. Le immagini out-of-distribution vengono segnalate come anomalie. Applicabile a ispezione visiva su linea produttiva per rilevamento difetti in tempo reale.

EPO Patstat ID: 596848336

La traiettoria PERCEPISCE a Stuttgart è analoga — nel tipo di IA usata — alla traiettoria PERCEPISCE di Bologna. La differenza è nella filiera: in Germani si applica la visione a robotica e semiconduttori; Bologna la applica a packaging e macchine confezionatrici. Il know-how visivo c'è in entrambi i casi.

ORGANIZZA: schedulazione intelligente e placement robotico

ORGANIZZA — Gestionale

Schedulazione produzione con job infeasibili

Stuttgart DE111 · 2023

Un sistema di schedulazione introduce un impianto virtuale per gestire job che non possono essere eseguiti sugli impianti reali disponibili. L'algoritmo produce uno schedule aumentato che viene poi tradotto in schedule reale escludendo i job virtuali. Risolve problemi di pianificazione con vincoli complessi e infeasibility.

EPO Patstat ID: 587540185

ORGANIZZA — Gestionale

Placement ottimo di oggetti in container per robotica

Stuttgart DE111 · 2023

Un sistema determina lo schema di collocamento ottimale di oggetti in container basandosi su posizioni candidate e densità degli oggetti. Seleziona il placement che massimizza la compattezza del riempimento. Applicabile a sistemi robotici di pallettizzazione e intralogistica automatizzata.

EPO Patstat ID: 598043137

CAPITOLO 3 · LA GEOGRAFIA DELLA FRONTIERA

Le traiettorie di integrazione IA-manifattura nei territori del benchmark europeo

La tabella di questa pagina restituisce la geografia europea dell'integrazione tra intelligenza artificiale e mecatronica, classificando venti territori secondo la traiettoria cognitiva prevalente dei loro brevetti ibridi. La colonna P% — la quota di brevetti sulla traiettoria PROGETTA, quella basata su architetture transformer (G06N 3/045, 3/046, 3/0475) — è l'indicatore della frontiera generativa.

Quattro soli territori superano la soglia del 15% e si collocano sulla frontiera PROGETTA: Stoccarda (22%) e Stoccarda-Sud (23%), cuore dell'automotive e dell'automazione tedesca; Eindhoven (18%), dove gravita l'ecosistema ASML; e Bucarest (21%), ecosistema obiettivo di investimenti manifatturieri esteri, unico territorio dell'Europa orientale a raggiungere questa soglia. Sono i luoghi in cui la macchina non si limita a imparare dai dati, ma genera soluzioni.

Una seconda fascia di territori — da Monaco a Parigi, da Zurigo a Stoccolma — presenta una capacità generativa positiva ma ancora sotto la soglia di frontiera (classificazione APPRENDE+PROGETTA). Monaco, con 788 brevetti ibridi complessivi, è il polo più voluminoso d'Europa, ma la sua quota PROGETTA si ferma al 12%: dimensione assoluta e maturità cognitiva non coincidono. È un punto rilevante, perché smentisce l'idea che basti brevettare molto per essere sulla frontiera.

Il dato che interroga direttamente l'Emilia-Romagna è l'ultima parte della tabella. I territori italiani del distretto mecatronico — Modena, Bologna e Reggio Emilia — registrano zero brevetti PROGETTA su tutto il periodo 2014–2024. Le loro traiettorie prevalenti sono APPRENDE (Modena), PERCEPISCE (Bologna) e ORGANIZZA (Reggio Emilia): la macchina, in questi territori, ottimizza, vede e in parte impara, ma non progetta. È la rappresentazione quantitativa del paradosso emiliano: una manifattura ad altissima adozione operativa di IA che resta, sul piano brevettuale, all'esterno della frontiera generativa.

Questo esito va però interpretato con prudenza, perché il brevetto non coincide con l'innovazione. Una parte rilevante delle imprese mecatroniche italiane — e in particolare quelle delle macchine automatiche, cuore del distretto — protegge il proprio know-how non depositando brevetti, ma affidandosi al segreto industriale: l'innovazione esiste ed è applicata, ma non lascia traccia nei registri brevettuali. L'assenza dalla frontiera PROGETTA va dunque letta come un indicatore robusto di una forma specifica di innovazione — quella codificata e difesa formalmente — e non come prova dell'assenza di ogni capacità cognitiva avanzata. Il dato brevettuale segnala una distanza reale dalla frontiera difendibile, ma la sua portata va calibrata sulle pratiche di protezione effettivamente diffuse nel territorio. È proprio per questo che l'evidenza brevettuale viene affiancata, nelle pagine seguenti, alla rilevazione qualitativa diretta sulle imprese.

Territorio (NUTS3)	Tot.	PROGETTA	APPRENDE	PERCEPISCE	ORGANIZZA	P%	Traiettoria principale dell'IA applicata a meccatronica
Stoccarda DE111	201	44	99	23	35	22%	PROGETTA
Stoccarda-Sud DE112	105	24	56	9	16	23%	PROGETTA
Eindhoven NL414	102	18	45	9	30	18%	PROGETTA
Bucarest RO321	33	7	13	5	8	21%	PROGETTA
Monaco DE212	788	91	348	73	276	12%	APPRENDE+PROGETTA
Monaco-Nord DE21H	116	15	50	11	40	13%	APPRENDE+PROGETTA
Erlangen DE252	108	16	47	15	30	15%	APPRENDE+PROGETTA
Norimberga DE254	104	10	41	13	40	10%	APPRENDE+PROGETTA
Zurigo CH033	209	18	69	29	93	9%	APPRENDE+PROGETTA
Parigi FR101	129	13	49	20	47	10%	APPRENDE+PROGETTA
Helsinki FI1B1	74	5	33	8	28	7%	APPRENDE+PROGETTA
Stoccolma SE110	91	4	23	28	36	4%	APPRENDE+PROGETTA
Milano ITC4C	28	2	8	4	14	7%	APPRENDE+PROGETTA
Torino ITC11	26	1	7	7	11	4%	APPRENDE+PROGETTA
Modena ITH54	16	0	8	4	4	0%	APPRENDE
Bologna ITH55	28	0	3	14	11	0%	PERCEPISCE
Genova ITC33	34	0	9	2	23	0%	ORGANIZZA
Copenaghen DK011	11	0	0	3	8	0%	ORGANIZZA
Anversa BE211	10	0	1	1	8	0%	ORGANIZZA
Reggio Emilia ITH53	9	0	2	2	5	0%	ORGANIZZA

Legenda della classificazione:

PROGETTA — territori di frontiera con quota generativa (P%) superiore al 15%.

APPRENDE+PROGETTA — presenza generativa positiva ma non superiore al 15% (capacità emergente, non ancora di frontiera).

APPRENDE / PERCEPISCE / ORGANIZZA — territori a zero brevetti generativi, classificati per traiettoria dominante tra le tre restanti.

P% = quota dei brevetti **PROGETTA** (transformer/attention/LLM: G06N 3/045, 3/046, 3/0475) sul totale dei brevetti ibridi IA-manifattura del territorio.

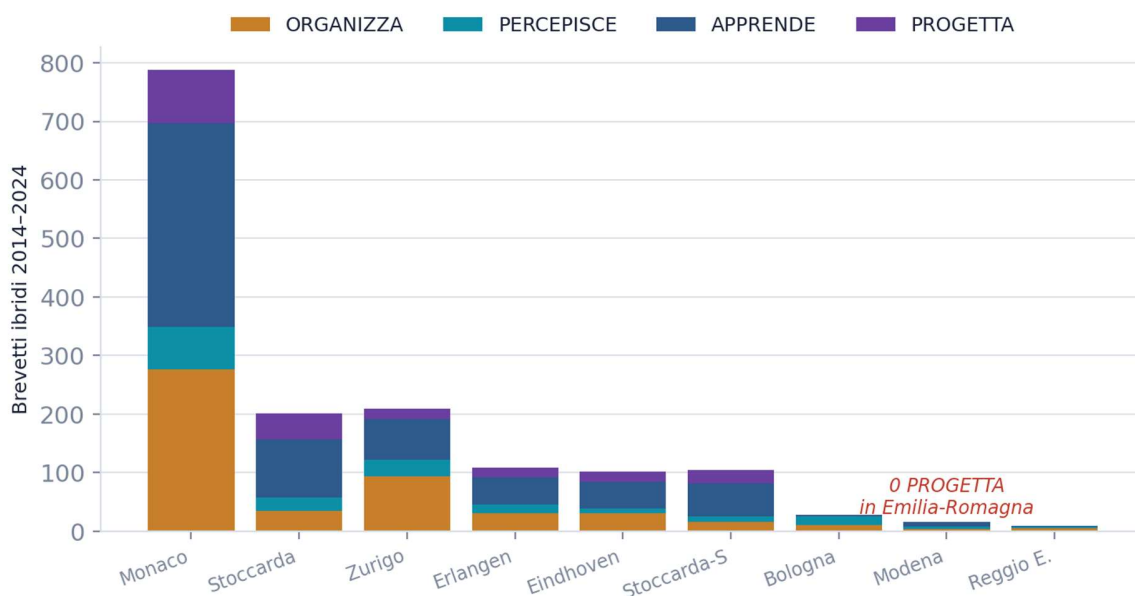
Fonte: EPO Patstat Online, Autumn 2025. Brevetti per anno di deposito 2014–2024.

Solo quattro territori europei sono entrati stabilmente nella frontiera

Su 254 territori europei con massa critica brevettuale, soltanto quattro hanno raggiunto e mantenuto una quota di brevetti al livello PROGETTA superiore al 15%: Stoccarda, Stoccarda-Sud, Eindhoven e Bucarest. Tutti gli altri si distribuiscono nei livelli inferiori della scala. La frontiera dell'intelligenza industriale avanzata è, in Europa, un club ristretto.

Questa geografia trova un riscontro indipendente nell'analisi delle startup di IA. Secondo interface (Lemke, 2026), il manifatturiero è l'unico mercato applicativo in cui l'Europa conserva una quota di startup superiore agli Stati Uniti, la Germania è il paese con la specializzazione più forte e Monaco emerge come principale nodo di specializzazione applicata del continente. I poli che il nostro dato brevettuale colloca in testa — l'asse tedesco-olandese — sono gli stessi che l'evidenza sulle startup indica come leader del mercato manifatturiero dell'IA: due lenti diverse, brevetti e imprese innovative, che restituiscono la medesima gerarchia territoriale.

La composizione dei brevetti per territorio rivela quanto sia stretta la frontiera: in Emilia-Romagna la fascia PROGETTA è semplicemente assente.



CAPITOLO 4 · IA MECCATRONICA IN EMILIA-ROMAGNA

Dove si concentra l'integrazione IA nelle filiere meccatroniche emiliano-romagnole

Le sezioni precedenti hanno collocato l'Emilia-Romagna nella mappa europea delle traiettorie cognitive, restituendo un quadro netto: alta adozione operativa, ma assenza della frontiera generativa. Quel quadro misura *quanto e a quale profondità* l'intelligenza artificiale entra nei brevetti del territorio. Resta però una domanda complementare, più vicina alla struttura produttiva reale del distretto: **in quali filiere** questa integrazione si concentra? Per rispondere abbiamo condotto un approfondimento dedicato, che scompone i brevetti ibridi del distretto secondo i domini manifatturieri più rappresentativi della meccatronica emiliano-romagnola — macchine automatiche, packaging, lavorazione delle plastiche, controllo qualità, trasmissioni e lavorazione dei metalli.

Una precisazione metodologica preliminare. Questo approfondimento non modifica la definizione di brevetto ibrido adottata nell'analisi principale né i suoi numeri-ancora: la condizione di ibridazione (co-presenza di un codice IA e di un codice manifatturiero) resta invariata. Si tratta di una **lente di ingrandimento interna al distretto**, non di un nuovo perimetro di misura. I codici di filiera qui impiegati (B65B, B65G, B29C, F16H, G01N, B23) sono più aderenti alla specializzazione reale del territorio rispetto ai codici generici del benchmark europeo, e servono a fotografare la distribuzione settoriale dell'integrazione già esistente, non a ridefinirla.

La distribuzione per filiera

L'approfondimento identifica complessivamente 82 brevetti ibridi nel distretto emiliano-romagnolo nel periodo 2014–2024, ricadenti nelle filiere meccatroniche selezionate. La loro distribuzione per dominio rivela due concentrazioni nette.

Codice CPC	Filiera / processo fotografato	Brevetti ibridi*
G01N	Controllo qualità e misura dei materiali	48
B65B	Macchine confezionatrici	32
B29C	Lavorazione delle materie plastiche	15
B65G	Trasporto e handling dei materiali	6
B23P / B23Q	Lavorazione dei metalli (macchine utensili)	2
F16H	Trasmissioni meccaniche	0

** Numero di brevetti ibridi che contengono almeno un codice della filiera. Un singolo brevetto può ricadere in più filiere (es. confezionamento e controllo qualità insieme), per cui la somma per filiera supera il totale dei brevetti distinti. Fonte: EPO Patstat Online, Autumn 2025.*

Il dato più rilevante è il primato del controllo qualità (G01N), con 48 brevetti: la filiera in cui l'intelligenza artificiale si innesta più frequentemente nel distretto è quella della misura e dell'ispezione — visione artificiale e algoritmi applicati al rilevamento di difetti e proprietà dei materiali. Segue il confezionamento (B65B), con 32 brevetti, che è la specializzazione storica e identitaria del territorio. Queste due filiere insieme assorbono la quota dominante

dell'integrazione, mentre le trasmissioni meccaniche (F16H) non registrano alcun brevetto ibrido — un'assenza che segnala come la componentistica meccanica pura resti, per ora, ai margini dell'innesto algoritmico.

È un esito coerente con la logica già emersa a livello europeo: l'IA entra prima dove il valore è informativo — il controllo, la misura, la qualità — e più tardi dove il valore è puramente meccanico. Il distretto conferma questo ordine, ma con una specificità propria: il peso del packaging, marginale nel benchmark continentale (appena il 2% dei brevetti ibridi), è qui una delle due filiere portanti. La forza manifatturiera storica del territorio si riflette dunque anche nella geografia dell'integrazione IA, concentrandola proprio nel dominio in cui il distretto è leader produttivo.

La distribuzione provinciale

La scomposizione territoriale mostra una forte polarizzazione interna al distretto.

Provincia (NUTS3)	Brevetti**	Filiere prevalenti
Bologna (ITH55)	44	Controllo qualità (36), confezionamento (13)
Modena (ITH54)	22	Confezionamento (13), plastica (8)
Reggio Emilia (ITH53)	10	Quality control (5), confezionamento (4)
Ferrara (ITH56)	2	Distribuzione frammentata
Ravenna (ITH57)	2	Distribuzione frammentata
Rimini (ITH59)	2	Distribuzione frammentata

*** Conteggio dei brevetti ibridi distinti per provincia nelle filiere selezionate. Le province di Forlì-Cesena non registrano brevetti nelle filiere considerate nel periodo. Fonte: EPO Patstat Online, Autumn 2025.*

Bologna guida nettamente, con 44 brevetti, trainata in modo marcato dal controllo qualità (36 brevetti) — un profilo coerente con la presenza di realtà specializzate nell'automatic identification e nella sensoristica. Modena (22) e Reggio Emilia (10) mostrano invece un profilo più spostato verso il confezionamento e la lavorazione delle plastiche, in linea con la vocazione delle rispettive filiere di macchine automatiche. Le restanti province (Ferrara, Ravenna, Rimini) presentano numeri esigui e una distribuzione frammentata.

Un'avvertenza interpretativa è doverosa. I numeri in gioco sono piccoli in valore assoluto, e la loro scomposizione per filiera e provincia produce celle spesso a una o due unità. Questa fotografia ha quindi valore **qualitativo e descrittivo** — indica dove l'integrazione si concentra — ma non si presta a inferenze statistiche fini. Va letta come ricostruzione della fisionomia settoriale del distretto, non come misura di intensità innovativa robusta. Resta tuttavia un tassello prezioso: collega la mappa astratta delle traiettorie cognitive alla struttura produttiva concreta del territorio, e prepara il terreno all'indagine qualitativa sulle imprese che segue, di cui anticipa la domanda di fondo — perché, in un distretto così forte sul piano manifatturiero, l'innesto dell'intelligenza artificiale resti concentrato in poche filiere e lontano dalla frontiera generativa.

Le imprese del distretto reggiano adottano l'IA, ma non la producono

Per guardare dietro i numeri dei brevetti, abbiamo realizzato un panel qualitativo con dodici imprese meccatroniche del distretto di Reggio Emilia. Il suo valore non è statistico — dodici imprese non sono un campione rappresentativo — ma qualitativo: racconta come l'intelligenza artificiale entra davvero nelle aziende. Tre osservazioni ricorrono in quasi tutte le conversazioni.

«L'IA la usiamo già, ma è di altri.» Quasi tutte le imprese usano strumenti di IA ogni giorno — assistenti generativi, software con funzioni intelligenti, servizi in cloud — ma sono strumenti acquistati, generici, sviluppati fuori dal distretto. Nessuna ha ancora un modello addestrato sui propri dati di produzione.

«Sappiamo che è urgente, ma i dati non sono pronti.» L'urgenza percepita è alta, più alta della maturità dei propri dati. È il divario che blocca tutto: le imprese vogliono muoversi, ma i dati di macchina vivono in silos, in formati diversi, raramente strutturati per addestrare un modello. La volontà c'è; manca l'infrastruttura.

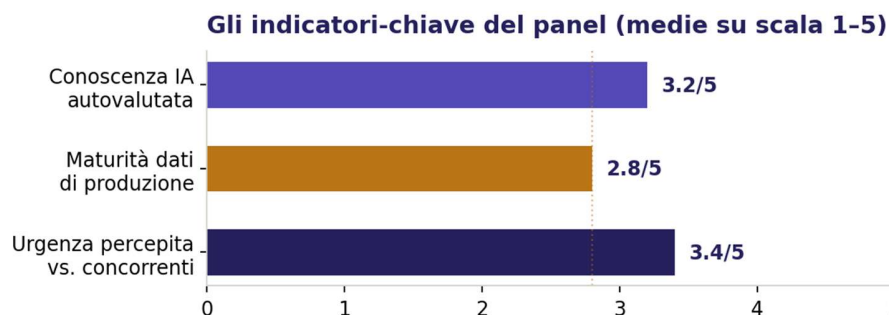
«Un assistente generico non conosce le nostre macchine.» Chi ha provato gli strumenti generativi orizzontali ne coglie il limite: aiutano con documenti ed email, ma non sanno nulla delle confezionatrici, degli stampi, dei cicli di difetto specifici. L'intelligenza che servirebbe davvero non esiste sul mercato — andrebbe costruita.

L'indagine sul campo: l'IA nelle imprese del distretto meccatronico reggiano

Alla fotografia brevettuale e di filiera si affianca un'indagine diretta condotta presso le imprese del Gruppo Meccatronica di Confindustria Reggio Emilia tra maggio e giugno 2026. Lo strumento è un questionario strutturato (13 domande tra scala Likert, scelta multipla e risposta aperta), somministrato a un panel di dodici imprese. Non si tratta di un campione probabilistico, ma di un *quality panel*: il panel sovrappesa deliberatamente le grandi imprese già attive nel confronto associativo (otto su dodici hanno oltre 250 addetti), e fotografa dunque l'avanguardia del distretto più che la sua media. Questo bias va tenuto presente nella lettura: i risultati descrivono il fronte più avanzato, non il tessuto produttivo nel suo complesso. Proprio per questo, i segnali di immaturità che emergono sono tanto più significativi.

Gli indicatori-chiave: un distretto in transizione

Tre indicatori autovalutati sintetizzano lo stato del panel. La conoscenza dell'IA si attesta su un valore medio di 3,2 su 5, modesto per imprese che già sperimentano. La maturità dei dati di produzione — la materia prima di qualunque sistema di IA — si ferma a 2,8, il valore più basso dei tre. L'urgenza percepita rispetto ai concorrenti è invece la più alta, a 3,4.

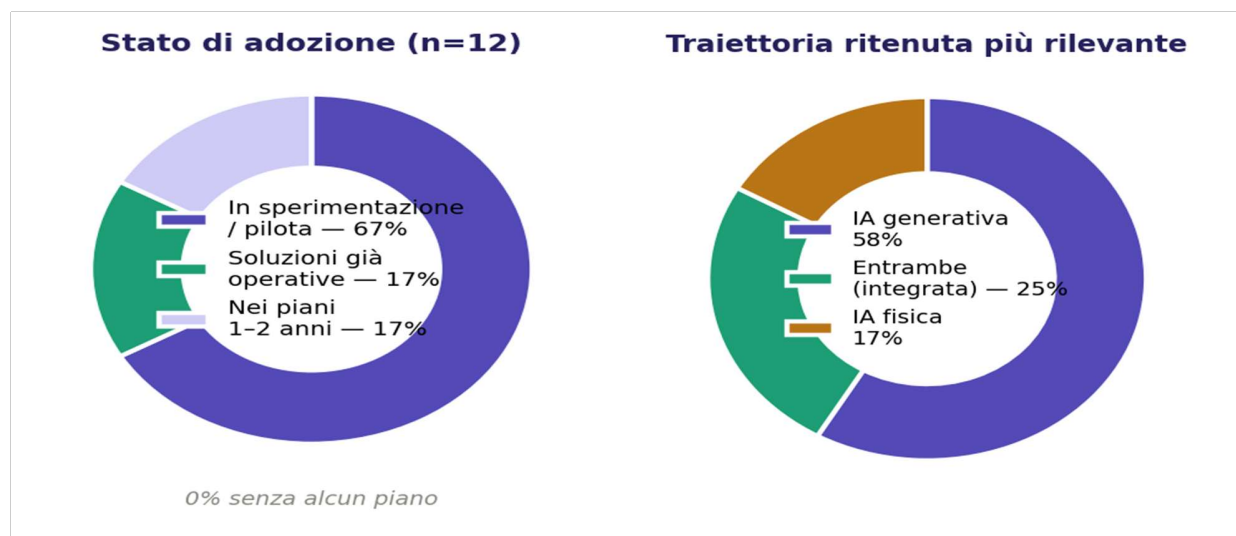


Gli indicatori-chiave del panel (medie su scala 1–5). Fonte: rilevazione CRE, n=12.

Il dato strutturalmente più rilevante non è nessuno dei tre valori in sé, ma il **divario tra urgenza e maturità**: le imprese avvertono la pressione competitiva (3,4) ma non dispongono ancora delle fondamenta — dati strutturati, in primo luogo — per rispondervi in modo sistematico (2,8). È un distretto che sa di dover agire prima di essere attrezzato per farlo. Questo scarto è la chiave di lettura dell'intera indagine, e rispecchia a livello micro lo stesso paradosso emiliano osservato nei dati brevettuali: alta consapevolezza, bassa profondità.

Stato di adozione e traiettoria scelta

Nessuna impresa del panel è ferma alla fase di sola consapevolezza: l'adozione è già in corso o pianificata nel 100% dei casi. Due imprese (17%) hanno soluzioni già operative, otto (67%) sono in fase di sperimentazione o pilota, due (17%) hanno l'adozione nei piani a breve. La concentrazione al 67% nella fase pilota definisce il momento distrettuale: non più awareness, non ancora deployment sistematico.

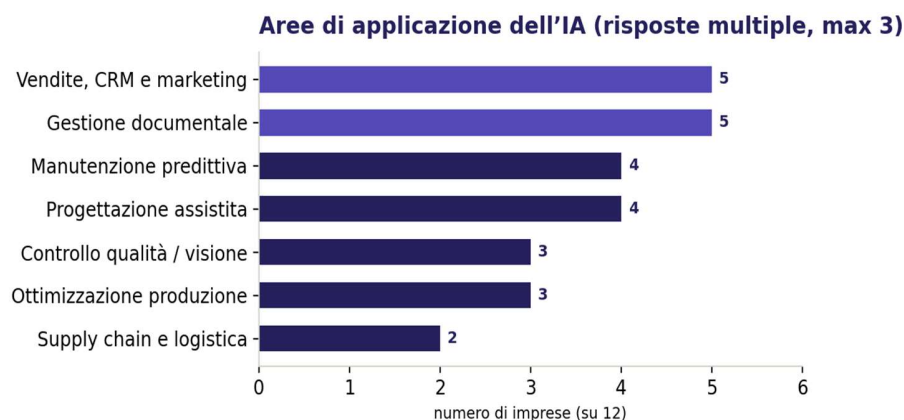


Stato di adozione (sinistra) e traiettoria tecnologica ritenuta più rilevante (destra). Fonte: rilevazione CRE, n=12.

Sul fronte della traiettoria, il 58% del panel (sette imprese) indica l'IA generativa come la più rilevante per i prossimi due anni; il 25% (tre imprese) punta su entrambe le dimensioni in modo integrato — il segmento più maturo strategicamente — e solo il 17% (due imprese) sull'IA fisica, paradossalmente il percorso storicamente più prossimo al DNA meccatronico. Come si vedrà, questa preferenza per la generativa riflette spesso l'accessibilità degli strumenti più che una scelta strategica deliberata.

Dove si applica l'IA e con quali strumenti

Le aree di applicazione prioritarie rivelano una netta prevalenza dei domini “soft” — vendite/CRM/marketing e gestione documentale, entrambe indicate da cinque imprese su dodici — rispetto ai domini “hard” vicini al cuore produttivo (controllo qualità, ottimizzazione della produzione, ferme a tre). È un ordine atteso: i domini soft offrono accesso facile e valore rapido, quelli hard un valore strategico maggiore ma barriere più alte. Il gap da colmare è esattamente questo.

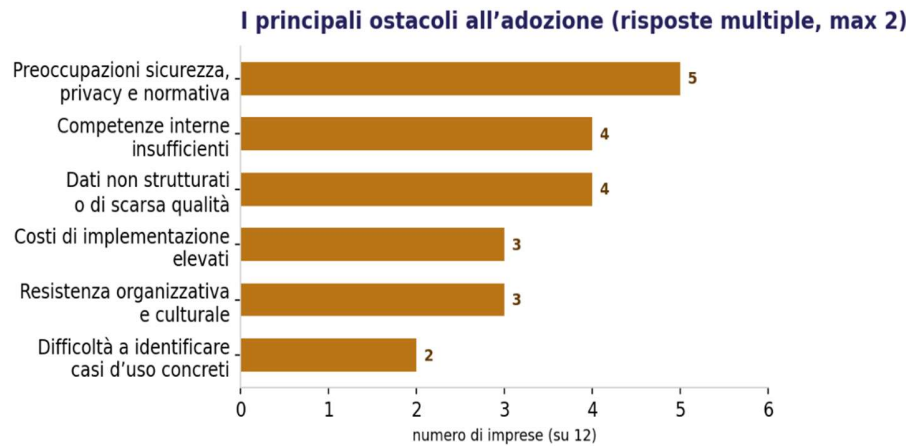


Aree di applicazione dell'IA (risposte multiple, max 3). In viola i domini “soft”. Fonte: rilevazione CRE, n=12.

Il dato sugli strumenti è il più netto dell'intera indagine: il **100% delle imprese usa assistenti generativi orizzontali** (ChatGPT, Copilot, Gemini). Tutti gli altri strumenti — visione artificiale per il controllo qualità (2 imprese), cobot (2), design generativo (1), piattaforme di manutenzione predittiva/IIoT (1) — restano marginali. Emerge quella che si può definire una **monocultura degli strumenti**: la convergenza universale su assistenti generici rischia di ritardare lo sviluppo delle applicazioni verticali specifiche per la meccatronica — visione, predittivo, scheduling — dove risiede il vero vantaggio competitivo di filiera. È il corrispettivo, sul piano degli strumenti, dell'assenza di brevetti generativi verticali osservata nell'analisi europea.

Gli ostacoli: dati, competenze, cultura

Gli ostacoli all'adozione non si concentrano su un singolo punto tecnico, ma disegnano un sistema interdipendente. Le preoccupazioni normative (AI Act, privacy) guidano con cinque indicazioni; seguono, appaiate a quattro, le competenze interne insufficienti e i dati non strutturati o di scarsa qualità; poi costi e resistenza culturale a tre.



I principali ostacoli all'adozione (risposte multiple, max 2). Fonte: rilevazione CRE, n=12.

La lettura d'insieme è che dati, competenze e cultura formino un **triangolo critico**: non sono ostacoli puntuali risolvibili singolarmente, ma condizioni abilitanti sistemiche. Investire su una sola di esse non sblocca le altre — servono programmi integrati di capacity building a scala distrettuale, non interventi isolati.

Tre profili distrettuali

Incrociando stato di adozione, maturità dei dati, urgenza e dimensione, il panel si organizza in tre profili distinti, ciascuno con una sfida propria e un diverso fabbisogno di accompagnamento.

Profilo	Imprese	Caratteristiche e sfida chiave
Profilo A — Precursori integrati	2–3	Soluzioni operative o pilota avanzato; urgenza alta (4–5/5), dati maturi; guardano a entrambe le traiettorie; formazione interna strutturata. Sfida: la governance centralizzata nei gruppi multinazionali può bloccare la condivisione locale del know-how.
Profilo B — Esploratori attivi	6–7	In sperimentazione con assistenti generativi; conoscenza media (3/5), dati parziali; formazione episodica. Chiedono casi d'uso concreti e

Profilo	Imprese	Caratteristiche e sfida chiave
		finanziamenti. È il target primario dell'azione associativa: il loro nodo è il salto dall'uso personale al valore organizzativo.
Profilo C Osservatori avvicinamento	— in 2	Pianificano senza ancora sperimentare; bassa maturità dei dati, conoscenza limitata; include PMI sotto i 50 addetti. Resistenza culturale e costi come ostacoli principali. Richiedono accompagnamento entry-level e risorse condivise.

I tre profili di adozione emersi dal panel. Fonte: elaborazione su rilevazione CRE, n=12.

La distribuzione per profilo conferma una polarizzazione: le grandi imprese strutturate presidiano tutti i livelli di maturità, mentre le PMI restano concentrate sugli strumenti generici. Il pilota verticale — il passaggio cruciale verso il valore competitivo — rimane pressoché appannaggio delle grandi strutture. Il Profilo B, gli esploratori attivi, è il segmento più numeroso e il target naturale di un'azione associativa: è qui che il divario tra uso personale dell'IA e valore organizzativo è più ampio e più colmabile.

Voci dal campo

Due segnalazioni libere delle imprese illuminano altrettanti nodi strategici. La prima coglie la natura del cambiamento: "L'IA porta il valore dell'attività dall'esecuzione all'obiettivo — non è scontato il cambiamento di paradigma."

La seconda, da una filiale di gruppo multinazionale, segnala un rischio di governance territoriale spesso trascurato: le attività di IA sono governate dalla casa madre, talvolta non conoscibili o non condivisibili a livello locale per policy interne — un ostacolo concreto allo sviluppo di capacità sul territorio. È un punto che merita attenzione strategica, perché riguarda proprio le imprese più avanzate del distretto.

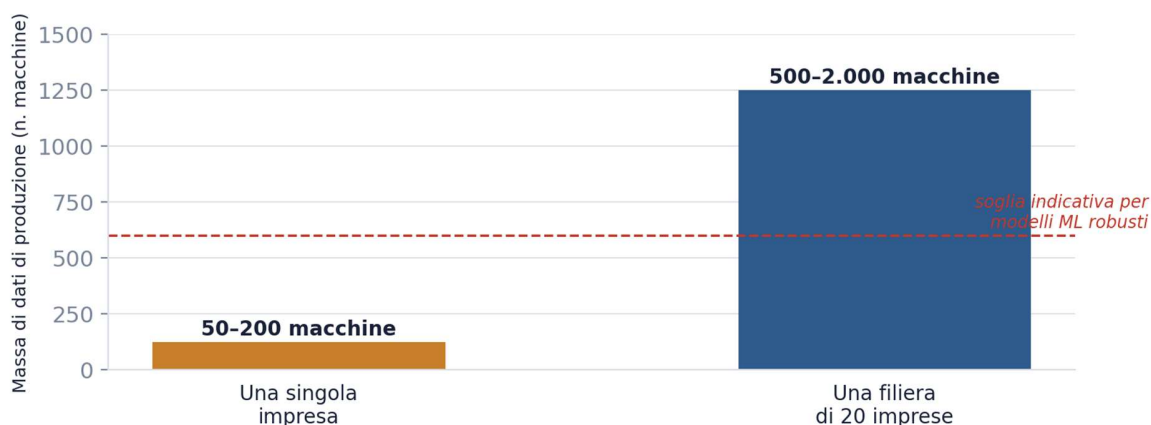
Nel complesso, l'indagine sul campo conferma e arricchisce dall'interno ciò che i dati brevettuali mostravano dall'esterno: un distretto consapevole e in movimento, ma ancora privo delle fondamenta — dati maturi, competenze verticali, applicazioni di filiera — necessarie a trasformare l'adozione diffusa in vantaggio competitivo. Il momentum esiste; ciò che manca è la strategia per convertirlo in capacità autonoma.

CAPITOLO 5 · LA RADICE DEL PROBLEMA

Non solo competenza: l'interazione tra dati, competenze avanzate e governo della conoscenza

Il paradosso emiliano non si spiega con una carenza culturale o di talento individuale, ma nemmeno con una sola variabile tecnica. Il problema non è soltanto la competenza: è l'interazione tra dati, competenze avanzate e capacità di trasformare la conoscenza industriale in modelli proprietari. Queste tre dimensioni si co-determinano. Un modello di apprendimento automatico per la manutenzione predittiva di una macchina confezionatrice richiede migliaia di cicli produttivi con anomalie etichettate, migliaia di interventi con cause identificate, parametri di processo correlati agli esiti. Una singola impresa con 50-200 macchine e pochi anni di storia ha dati sufficienti per sperimentare, non per addestrare un modello robusto e generalizzabile. Ma la scala dei dati, da sola, non basta a spiegare la distanza dalla frontiera: conta anche la disponibilità di competenze del livello più avanzato e, soprattutto, l'esistenza di un assetto istituzionale che permetta di mettere a fattor comune dati e conoscenza. È la combinazione di questi tre fattori — e non un singolo collo di bottiglia — a tenere il distretto lontano dalla capacità cognitiva propria.

Il vincolo è la scala: una singola impresa resta sotto la soglia di dati necessaria per modelli robusti; una filiera che li aggrega la supera.



Una filiera di una ventina di imprese con macchine analoghe — stessi processi, stessi problemi — raggiunge invece, sommando i propri impianti, una massa di dati sufficiente. E possiede qualcosa che nessuna piattaforma globale può avere: dati specifici di quella filiera, di quei cicli, di quei materiali. La specificità è il vantaggio che non si compra.

La frontiera brevettuale richiede anche una frontiera di competenze

La scala dei dati è una condizione necessaria, ma non sufficiente. Salire lungo la scala cognitiva richiede anche competenze del livello adeguato, e qui il quadro europeo aiuta a precisare la diagnosi. L'analisi di interface e CEPS sull'equazione dei talenti dell'IA (Pal, Schneider e Nurski, 2025) distingue tre livelli di competenza: Tier 0, l'alfabetizzazione e la familiarità d'uso; Tier 1, le competenze tecniche di software e data science con metodi di machine learning di base; Tier 2, i ricercatori e ingegneri che sviluppano modelli avanzati, in particolare architetture come i transformer. Il vero collo di bottiglia

europeo non riguarda i livelli intermedi — che restano la spina dorsale dell’offerta — ma soprattutto il livello più avanzato, il Tier 2, dove la domanda supera strutturalmente l’offerta. Competenze, dati e organizzazione, in altre parole, si co-determinano: non è la mancanza isolata di una di esse a spiegare la distanza dalla frontiera, ma la loro interazione.

Questa gerarchia delle competenze rispecchia da vicino la scala cognitiva delle traiettorie usata in questo report: ai gradini più alti dell’integrazione IA-macchina corrispondono i livelli di competenza più avanzati. In altri termini, raggiungere la frontiera brevettuale PROGETTA non richiede solo dati di filiera, ma anche talento di Tier 2 — proprio la risorsa più scarsa in Europa, e a maggior ragione in un distretto privo di un bacino dedicato. La corrispondenza è illustrata di seguito.

Livello tecnologico (traiettoria)	Livello di competenza	Competenze richieste
ORGANIZZA	Tier 0	Alfabetizzazione e uso consapevole di strumenti di IA per pianificare e ottimizzare i processi attorno alla macchina.
PERCEPISCE	Tier 1	Software e data science: visione artificiale e modelli di base per dotare la macchina di percezione.
APPRENDE	Tier 1 avanzato	Machine learning applicato: costruzione di modelli che apprendono dai dati produttivi e migliorano nel tempo.
PROGETTA	Tier 2	Ricerca e ingegneria dell’IA: progettazione di architetture transformer e modelli generativi applicati alla macchina. È il livello di competenze più scarso in Europa.

Corrispondenza tra la scala cognitiva delle traiettorie e la gerarchia delle competenze di IA. Fonte: elaborazione su Pal, Schneider e Nurski (2025), “Solving Europe’s AI Talent Equation”, interface/CEPS.

Il triangolo critico: dati, competenze, cultura

Tre ostacoli interdipendenti bloccano il passaggio dall'adozione strumentale all'integrazione cognitiva. Non sono problemi sequenziali — formano un sistema in cui la debolezza di uno blocca gli altri.

	Ostacolo	Come si manifesta	Perché tutto blocca	Soluzione "federazione di dati"
DATI	Maturità dati	Dati di produzione esistono ma frammentati, non strutturati, non etichettati. Formati diversi per ogni macchina. Storico non conservato sistematicamente.	Senza dati strutturati non si addestrano modelli propri. Non si risolve con una consulenza — richiede anni o infrastruttura condivisa.	La federazione di dati standardizza e aggrega. Anche 50 macchine diventano preziose se aggregate con 500 altre della stessa filiera.
COMPETENZE	Capacità algoritmiche	Competenze ML interne quasi assenti. Sa usare l'IA come strumento, non addestrare modelli. Formazione disponibile generica, non verticale.	Circolo vizioso: servono dati per imparare, servono competenze per raccogliere dati. Nessuno dei due si costruisce da soli.	Un motore algoritmico esterno — tipicamente accademico o di ricerca — fornisce le competenze necessarie ad addestrare i modelli sui dati aggregati, ad esempio attraverso dottorati industriali dedicati al data lake.
CULTURA	Cultura brevettuale	La brevettazione non è nella cultura del distretto. Innovazioni restano tacite o protette come segreto industriale. Know-how implicito.	Senza cultura brevettuale, anche le innovazioni che meriterebbero un brevetto rimangono invisibili. Il distretto innova ma non capitalizza.	La federazione dati crea il contesto per identificare le innovazioni brevettabili — modelli verticali co-sviluppati che diventano asset del consorzio.

CAPITOLO 6 · LA PROSPETTIVA

La leva: condividere i dati per costruire intelligenza propria

Questo capitolo non propone un progetto operativo definito, ma offre una serie di raccomandazioni e di possibili direzioni di lavoro. I soggetti, i tempi e gli assetti istituzionali qui richiamati hanno valore illustrativo: servono a rendere concreta una traiettoria, non a prescriverne la forma. La scelta degli attori e delle modalità spetta agli stakeholders di ogni singolo progetto distrettuale/territoriale.

La risposta al paradosso non è più IA, né più formazione, né più digitale. È un'infrastruttura nuova: dati condivisi, modelli condivisi, apprendimento condiviso, capacità brevettuale condivisa. I dati sono un bene speciale — dividerli non li consuma. Quando venti imprese della stessa filiera mettono in comune i dati delle loro macchine analoghe, nessuna perde i propri, ma tutte ottengono un modello che nessuna avrebbe potuto addestrare da sola.

La distinzione decisiva non è tecnologica ma di governo: chi conferisce i dati, chi addestra i modelli, chi possiede il know-how che ne risulta. Un database si compra; un'infrastruttura cognitiva si costruisce insieme. È una questione di governance industriale, non di software.

Non è un'utopia: chi ha già costruito piattaforme di dati condivisi

Catena-X. Il primo spazio dati collaborativo dell'automotive europeo, nato nel 2021, riunisce oltre 300 organizzazioni — costruttori e fornitori in concorrenza — che condividono dati lungo la filiera con una governance neutrale, garante della sovranità di ciascuno sui propri dati. È il modello di riferimento per tutte le iniziative «Manufacturing-X», e un programma pubblico tedesco da 23 milioni di euro ne sta accelerando l'ingresso delle PMI. Il punto decisivo, e probabilmente il più istruttivo per il distretto, è che Catena-X non conta solo perché mette in comune dei dati: conta perché istituisce una forma di governance cognitiva condivisa — un insieme di regole, ruoli e standard che stabiliscono chi conferisce, chi può accedere, chi addestra e a chi appartiene la conoscenza che ne risulta. È questa architettura istituzionale, più ancora del flusso di dati, l'elemento che un territorio può scegliere di costruire o di subire.

L'apprendimento federato (federated learning). È la tecnologia che rende possibile la condivisione senza rinunciare alla riservatezza: più fabbriche addestrano insieme un modello comune senza scambiarsi i dati grezzi — ogni impianto allena il modello in casa, e solo i parametri vengono messi in comune. In casi reali documentati raggiunge circa il 94% dell'accuratezza di un modello centralizzato, riducendo del 94% i dati trasferiti. È lo strumento che permette anche a imprese concorrenti di cooperare senza esporsi.

Le cooperative di dati agricoli. In Italia, piattaforme partner di CIA e Confagricoltura aggregano già i dati di migliaia di aziende agricole socie per addestrare modelli di IA — riconoscimento delle malattie, analisi satellitari — sotto una governance cooperativa. È un precedente vicino: dati di filiera messi in comune, sotto un ente di rappresentanza neutro, per produrre un'intelligenza che il singolo socio non potrebbe sviluppare.

Quali funzioni servono: proporre, governare, eseguire

Tradotto sul distretto, lo schema può essere descritto per funzioni, lasciando aperta la scelta dei soggetti che le incarna. La tecnica — l'apprendimento federato — è uno standard aperto, nato nella ricerca e disponibile a chiunque. Servono però tre ruoli distinti. Un soggetto neutro che proponga

e governi l'iniziativa: convoca la filiera, custodisce le regole di conferimento dei dati, garantisce che nessun partecipante prevalga sugli altri — un ruolo naturalmente affine a quello di un ente di rappresentanza o di un corpo intermedio del territorio. Un motore algoritmico che la esegua: implementa l'apprendimento federato sui dati della filiera, addestra e valida i modelli, forma le competenze interne — una funzione tipicamente assolta da università o centri di ricerca. E le imprese della filiera, che conferiscono i dati e ne ricavano i modelli. Il modello istituzionale più vicino, in Italia, sono i consorzi di garanzia fidi: strutture mutualistiche dove il singolo contribuisce risorse limitate e accede a benefici collettivi che da solo non otterrebbe.

Tre passi per cominciare

- **Aggregare.** Selezionare una filiera pilota omogenea — il packaging bolognese — dove le imprese condividono già macchine, processi e relazioni.
- **Governare.** Creare un soggetto neutrale che custodisca i dati e garantisca la fiducia tra i partecipanti, affiancato da un motore algoritmico — accademico o di ricerca — che addestri e validi i modelli.
- **Brevettare.** Addestrare i primi modelli condivisi e proteggerli come brevetti collettivi: la prima intelligenza cognitiva del distretto, in un orizzonte di 18-24 mesi.

Chi controlla i dati controlla i modelli. Chi controlla i modelli controlla l'evoluzione delle macchine. Chi controlla l'evoluzione delle macchine controlla il valore della manifattura. La vera competizione non è tra uomo e macchina: è tra territori che costruiscono capacità cognitiva propria e territori che la acquistano.

Il modello di governance: la cooperativa dati

Il nodo più critico non è tecnico — è la governance della proprietà intellettuale. Chi possiede il modello addestrato sull'aggregato? Due strutture funzionano:

4. Cooperativa dati: ogni impresa aderente possiede una quota del modello proporzionale ai dati conferiti. I dati individuali rimangono cifrati e non accessibili alle altre imprese; solo i modelli addestrati vengono condivisi. Il precedente più vicino in Italia è quello dei consorzi di garanzia fidi — strutture mutualistiche che aggregano risorse per ottenere benefici che il singolo non potrebbe avere.
5. Fondazione o società consortile neutrale: un ente terzo — un corpo intermedio del territorio o un soggetto di ricerca — come custode dei dati e titolare dei modelli risultanti, con licensing preferenziale alle imprese conferenti. Separa la gestione dalla proprietà. Più adatto se le imprese sono in concorrenza diretta sulla stessa filiera e la cooperativa creerebbe tensioni di governance.

In entrambi i casi la standardizzazione dei dati è la condizione tecnica preliminare: ogni impresa deve conferire dati in formato compatibile. Questo richiede un lavoro di data engineering a monte — il costo

più significativo e spesso sottovalutato — che può essere socializzato nell'ambito del consorzio o finanziato con fondi pubblici.

Potenzialità: cosa diventa possibile

- **Manutenzione predittiva verticale:** un modello addestrato su 10.000 cicli produttivi di macchine confezionatrici della stessa filiera può prevedere i guasti con precisione che nessun modello generico potrà mai raggiungere. Bosch lo fa per i propri impianti — il distretto potrebbe farlo per la filiera packaging.
- **Quality control adattivo:** un sistema di visione addestrato su migliaia di esempi di difetti reali su quella specifica tipologia di prodotto è incomparabilmente più accurato di un sistema addestrato su dataset generici. PULSAR e Datalogic già brevettano in questa direzione — il data lake amplifica e democratizza.
- **Ottimizzazione energetica di filiera:** i dati di consumo energetico di 20 impianti permettono di identificare pattern e ottimizzazioni impossibili da vedere su un impianto singolo. Rilevante per la transizione green e per i costi operativi.
- **Generativa verticale:** con dati sufficienti, è possibile fare fine-tuning di modelli fondazionali (LLM come GPT-4, Llama) sui dati tecnici della filiera — manuali macchine, log di manutenzione, specifiche prodotto. Il risultato è un assistente tecnico che conosce davvero le macchine del distretto. È la traiettoria GENERA — accessibile al distretto attraverso il data lake.
- **Brevetti di filiera:** i modelli sviluppati sul data lake sono brevettabili dal consorzio. Per la prima volta, il distretto potrebbe produrre brevetti IA-manifattura collettivi — trasformando know-how tacito in asset difendibili.

Criticità: cosa può andare storto

- **Standardizzazione dei dati — il costo nascosto.** Ogni impresa ha i propri formati, i propri sensori, le proprie definizioni di 'difetto' o 'anomalia'. Standardizzare i dati prima di conferirli al pool richiede mesi di lavoro di data engineering. È il costo che spesso non viene budgetato e che affossa i progetti prima di iniziare.
- **Rischio di free-riding.** Alcune imprese potrebbero conferire dati di bassa qualità sperando di accedere ai modelli addestrati sui dati altrui. La cooperativa dati deve avere meccanismi di verifica della qualità e quantità dei dati conferiti — e penalità per chi non rispetta gli impegni.
- **Concorrenza intra-filiera.** Le imprese del packaging bolognese competono sulla stessa clientela farmaceutica e food. Un data lake condiviso potrebbe essere percepito come vantaggio per i concorrenti. La struttura cooperativa deve garantire che i modelli risultanti non rivelino informazioni riservate sui processi di singole imprese.
- **Timing università vs. industria.** Se il custode delle competenze algoritmiche è un soggetto accademico, i tempi della ricerca (pubblicazioni, dottorati, burocrazia) si scontrano con i tempi industriali (risultati in 6 mesi, non in 3 anni). Richiede strutture dedicate — spin-off, laboratori congiunti — con governance mista.
- **Finanziamento pubblico: opportunità e rischio.** PNRR e Horizon Europe offrono strumenti per esattamente questo tipo di infrastruttura — ma i fondi pubblici portano vincoli (report, audit, obiettivi predefiniti) che possono rallentare o distorcere il progetto. Va valutato se il finanziamento pubblico aiuta o complica.

Perché ora: la finestra temporale

Il timing è critico per due ragioni convergenti. La prima è tecnologica: i modelli fondazionali (GPT-4, Llama, Claude) hanno abbassato drasticamente il costo di addestrare modelli verticali tramite fine-tuning. Non serve costruire un modello da zero — serve avere dati sufficienti per adattare un modello esistente alla filiera specifica. Il data lake diventa più fattibile oggi di quanto fosse nel 2020.

La seconda è competitiva: Bucarest e Poznan stanno costruendo questa capacità adesso, partendo da zero ma con velocità. Con ISR 45,26 e 33% di brevetti generativi, Bucarest non è un caso isolato — è il segnale di un sistema produttivo est-europeo che sta saltando le traiettorie intermedie e arrivando direttamente a GENERA. Il vantaggio manifatturiero accumulato dal distretto reggiano è reale e ampio — ma non è infinito.

La finestra per costruire un vantaggio di first-mover nel data lake manifatturiero italiano si sta restringendo. Il distretto meccatronico reggiano ha le condizioni per farlo: densità industriale, filiere coerenti, un'associazione datoriale attiva, un ateneo in grado di contribuire. Quello che manca è una scelta strategica esplicita.