

D3.2 - M36 - Relazione di sintesi delle tre relazioni: D3.2 – M36 Tecnologie digitali 4.0 e impatto della transizione verde sulla manutenzione predittiva, Catena di approvvigionamento e allineamento dell'offerta di IFP e Esigenze dell'industria nella manifattura avanzata nei Paesi Baschi

WP3 – Osservatorio - D3.2 - M36 – Relazione di sintesi



**Co-funded by
the European Union**

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni e posizioni espresse, tuttavia, sono quelle degli autori e non riflettono necessariamente quelle dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Co-funded by
the European Union

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni e posizioni espresse, tuttavia, sono quelle degli autori e non riflettono necessariamente quelle dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



Questo lavoro è autorizzato dal partenariato LCAMP nell'ambito di una licenza Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Partner LCAMP:

TKNIKA – Centro basco di ricerca applicata all'IFP, CIFP Miguel Altuna LHII, DHBW Heilbronn – Duale Hochschule, Baden-Württemberg, Scuola superiore Curt Nicolin, AFM – Associazione spagnola delle industrie degli strumenti meccanici, EARLALL – Associazione europea degli enti regionali e locali per l'apprendimento permanente, FORCAM, CMQE: Association campus des métiers et des qualifications industrie du futur, MV: Mecanic Vallée, KIC: Knowledge Innovation Centre, Centro di competenza MADE Industria 4.0; AFIL: Associazione Fabbrica Intelligente Lombardia, SIMUMATIK AB; Association HVC Association of Slovene Higher Vocational Colleges; TSCMB: Tehniški šolski center Maribor, KPDoNE: Kocaeli Directorate Of National Education; GEBKİM OIZ e CAMOSUN college.



Sintesi del documento

Tipo di documento:	Relazione pubblica
Titolo	Relazione di sintesi delle relazioni D3.2 – M36 PdM – SCM – BC
Autore/i	Pascal Pichoutou, Jesus Rebolledo
Co-autori	Vesna Novak, Eda Ipek, Camille Leonard, Ralf Steck, Richard Gale, Pablo Marino
Revisore	Hervé Danton
Data	Giugno 2025
Versione del documento	1.0
Descrizione del documento	Il presente documento descrive i principali impatti delle nuove tecnologie nel settore della manutenzione predittiva e le loro conseguenze per l'adattamento delle organizzazioni e delle competenze.
Citare questo deliverable come:	Pichoutou et al., 2025. - D3.2 - M36 - Synthesis Report of the 3 reports: D3.2 – M36 Digital Technologies 4.0 and Green Transition Impacts on Predictive Maintenance, Supply Chain and Alignment of VET Offer and Industry Needs in Advanced Manufacturing in the Basque Country
Livello di documento	Pubblico



GLOSSARIO E/O ACRONIMI

ACO	– <i>Ant Colony Optimisation</i> (Ottimizzazione delle colonie di formiche)
AFDET	– Associazione francese per lo sviluppo dell'istruzione tecnica
AFM	– <i>Asociación de Fabricantes de Máquina Herramienta</i> (Associazione di costruttori di macchine utensili)
AFNOR	– Associazione francese per la standardizzazione
APT	– <i>Advanced Persistent Threats</i> (Minacce persistenti avanzate)
AR	– <i>Augmented Reality</i> (Realità aumentata)
Relazione BC	– Relazione per i Paesi Baschi
CAGR	– Tasso di crescita annuo composto
CAM	– Fabbricazione assistita da computer
CMMS	– Sistema informatico di gestione della manutenzione
CNC	– Controllo numerico computerizzato
CoVE	– Centri di eccellenza professionale
DBSCAN	– <i>Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise</i> (Raggruppamento spaziale basato sulla densità delle applicazioni con rumore)
DL	– <i>Deep Learning</i> (apprendimento profondo)
DSN	– <i>Digital Supply Networks</i> (Reti di approvvigionamento digitali)
EaaS	– <i>Equipment-as-a-Service</i> (Attrezzatura come servizio)
EBM	– <i>Explainable Boosting Machines</i> (Macchine di potenziamento spiegabili)
EQF	– Quadro europeo delle qualifiche
ESCO	– Classificazione europea delle abilità/competenze, qualifiche e occupazioni.
ESG	– <i>Environmental, Social and Governance</i> (Ambientale, sociale e di governance)
FCS	– <i>Finite Capacity Scheduling</i> (Schedulazione a capacità finita)
GA	– <i>Genetic algorithms</i> (algoritmi genetici)
GAM	– <i>Generalized Additive Models</i> (Modelli Additivi Generalizzati)
GMM	– <i>Gaussian Mixture Models</i> (Modelli di miscela gaussiana)
GSCM	– <i>Green Supply Chain Management</i> (Gestione della catena di approvvigionamento verde)
HVET	– Istruzione e formazione professionale superiore
IA	– Intelligenza artificiale
ICS	– <i>Infinite Capacity Scheduling</i> (Schedulazione a capacità infinita)
IFP	– Istruzione Formazione Professionale
IML	– <i>Interpretable Machine Learning</i> (Apprendimento Automatico Interpretabile)
IoT	– <i>Internet of Things</i> (Internet delle cose)
IT	– Tecnologie dell'informazione
IUT	– Istituto universitario di tecnologia
LCAMP	– <i>Learner Centric Advanced Manufacturing Platform</i> (Piattaforma della manifattura avanzata centrata sull'apprendimento)
LLM	– Modello linguistico di grandi dimensioni
LMM	– <i>Large machine learning models</i> (Modelli di apprendimento automatico di grandi dimensioni)
LSTM	– <i>Long Short-term Memory</i> (Lunga Memoria a Breve Termine)
Maas	– <i>Maintenance-as-a-Service</i> (Manutenzione come servizio)
ML	– <i>Machine Learning</i> (Apprendimento automatico)
MOOC	– <i>Massive Open Online Course</i>
MPS	– <i>Master Production Schedule</i> (Piano principale di produzione)



MRP – *Material Resource Planning* (Pianificazione dei fabbisogni materiali)
MV – *Mecanic Vallée*
NER – *Named entity Recognition* (Riconoscimento delle entità nominale)
NLP – *Natural Language Processing* (Elaborazione del linguaggio naturale)
OEM – *Original Equipment Manufacturer* (Produttore di apparecchiature originali)
OT – *Operational technology* (Tecnologia Operativa)
PdM – *Predictive Maintenance* (Manutenzione predittiva)
PdMaaS – *PdM-as-a-Service* (Manutenzione predittiva come servizio)
PLC – *Programmable Logic Controller* (Controllore logico programmabile)
PMI – Piccole e Medie Imprese
PP – *Profit Planning* (Pianificazione degli Utili)
PSO – *Particle Swarm Optimization* (Ottimizzazione con sciame di particelle)
RNN – *Recurrent Neural Networks* (reti neurali ricorrenti)
ROI – *Return on Investment* (Ritorno sull'investimento)
SCM – *Supply Chain Management* (Gestione della catena di approvvigionamento)
SCOR – Riferimento per le operazioni della catena di approvvigionamento
S&OE – *Sales and Operational & Execution* (Esecuzione di vendite e operazioni)
S&OP – *Sales and Operations Planning* (Pianificazione delle vendite e delle operazioni)
SLMs – *Specific Language Models* (Modelli linguistici specifici per compito)
SVM – *Support Vector Machines* (macchine a vettori di supporto)
TKNIKA – Centro per la ricerca applicata nella formazione professionale nei Paesi Baschi.
TPM – *Total Productive Maintenance* (Manutenzione produttiva totale)
VR – *Virtual Reality* (Realità virtuale)
XR – *Extended Reality* (Realità estesa)



SOMMARIO

SINTESI	7
1. INTRODUZIONE	9
1.1. Scopo della relazione	9
1.2. Metodologie	10
1.3. Contesti e dinamiche di mercato	11
2. TECNOLOGIE EMERGENTI	13
3. TENDENZE DELLA TRANSIZIONE DIGITALE E VERDE E IMPATTO SULLE PMI	17
3.1. Cambiamenti tecnologici nel campo d'osservazione	17
3.2. Contributi per la transizione verde	22
3.3. Impatto sull'operatività, sull'organizzazione e sulla forza lavoro	24
3.4. Adozione e maturità nelle PMI	28
3.5. Tendenze future – Raccomandazioni strategiche	33
4. TENDENZE DELLA TRANSIZIONE DIGITALE E VERDE E IMPATTO SUI CENTRI DI IFP	36
4.1. Sfide e opportunità per i centri di IFP	36
4.2. Impatto sulla formazione e sulle competenze formate	39
4.3. Ruolo strategico dell'IFP	45
4.4. Conclusioni e raccomandazioni	46
5. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	48
5.1. Sintesi dei risultati principali	48
5.2. Lezioni strategiche	51
5.3. Raccomandazioni	52
5.4. Prospettive	53
6. RIFERIMENTI	55
7. INDICE DELLE TABELLE	56
8. ALLEGATO	57
8.1. Allegato 1 – Fabbisogno di competenze	57



SINTESI

Il progetto LCAMP (*Learner Centric Advanced Manufacturing Platform*, Piattaforma manifatturiera avanzata centrata sull'apprendimento), nell'ambito dell'iniziativa CoVE, mira a rafforzare gli ecosistemi regionali delle competenze nella Manifattura Avanzata attraverso la collaborazione, la resilienza e l'innovazione.

La presente relazione di sintesi consolida i principali risultati e le conoscenze strategiche trattate da tre studi approfonditi condotti nell'ambito del progetto LCAMP sulla **manutenzione predittiva (Predictive Maintenance - PdM)**, sulla gestione della catena di approvvigionamento (**Supply Chain Management - SCM**) e sull'**allineamento dell'offerta dei centri di Istruzione e Formazione Professionale (IFP) alle esigenze industriali (BC)**. Sviluppata dall'Osservatorio LCAMP e guidata dal cluster francese *Mecanic Vallée* e dal Campus des Métiers et des Qualifications Industries du Futur, con il sostegno di partner situati in Germania, Italia, Slovenia e Paesi Baschi e con la partecipazione del Canada, la relazione mira a fornire informazioni strategiche alle PMI, ai centri di formazione professionale e ai decisori politici per contribuire ad allineare la trasformazione industriale all'istruzione e allo sviluppo delle competenze.

La presente relazione costituisce una componente fondamentale della tabella di marcia strategica per rafforzare la sostenibilità e la crescita della produzione manifatturiera avanzata nell'Unione europea (UE) e oltre. Sintetizza le conoscenze tratte da tre indagini mirate – in materia di **PdM e manutenzione, SCM con particolare attenzione alla pianificazione degli utili, Sales and Operations Planning (S&OP), Master Production Schedule (MPS), Material Resource Planning (MRP), processi Finite Capacity Scheduling (FCS)/ Infinite Capacity Scheduling (ICS) (SCM 4.0 in questa relazione) e l'allineamento dell'IFP alle esigenze industriali (BC)** – per valutare in che modo i cambiamenti tecnologici e organizzativi stanno rimodellando l'ecosistema delle piccole e medie imprese (PMI) e i centri IFP che le sostengono.

La relazione evidenzia come la digitalizzazione e la transizione verde stiano ridefinendo i processi industriali, portando con sé sia opportunità che sfide. Sebbene la transizione digitale e quella verde stiano progredendo rapidamente in tutta l'industria, con le grandi imprese spesso all'avanguardia nell'adozione di tecnologie quali l'Intelligenza Artificiale (IA), i gemelli digitali e l'analisi avanzata dei dati, le PMI necessitano di **approcci più iterativi e modulari** a causa delle limitate risorse umane e finanziarie. Ciò rappresenta una sfida per gli istituti di IFP incaricati di preparare un corpo studentesco diversificato a un mercato del lavoro sempre più complesso. Nonostante questa dicotomia, i centri di IFP si trovano in una posizione privilegiata per rispondere alle mutevoli esigenze dell'industria attraverso una maggiore **collaborazione, innovazione e integrazione sistemica**.

Tra i principali risultati della presente sintesi figurano:

- **Adozione delle tecnologie digitali:** le PMI stanno compiendo progressi gradualmente nell'adozione di tecnologie quali i sistemi PdM basati sul cloud e le piattaforme SCM basate sull'IA. Tuttavia, l'attuazione è disomogenea a causa della mancanza di competenze interne, dell'insufficienza delle infrastrutture e degli ostacoli finanziari.
- **Lacune nelle competenze e preparazione della forza lavoro:** vi è un urgente bisogno di **competenze tecniche** (ad esempio analisi dei dati, Internet delle cose (Internet of Things, IoT), IA, sicurezza informatica) nonché di **competenze trasversali e “soft skills”** (ad esempio adattabilità, collaborazione, pensiero sistemico). Gli istituti di IFP devono affrontare tali lacune con approcci di formazione flessibili e ibridi, richiedendo una più stretta collaborazione tra industria e centri IFP e l'autonomia dei centri di IFP in tutta Europa.
- **Trasformazione operativa e organizzativa:** le transizioni digitale e verde stanno ridefinendo le operazioni industriali, guidando i cambiamenti culturali verso l'agilità, la



collaborazione interfunzionale e un processo decisionale basato sui dati. Tali cambiamenti richiedono riforme corrispondenti per quanto riguarda gli approcci formativi e lo sviluppo della forza lavoro.

- **Contributi alla sostenibilità:** le tecnologie PdM e SCM sostengono direttamente la transizione verde migliorando l'efficienza energetica, riducendo al minimo gli sprechi di risorse e consentendo pratiche di economia circolare. Tali tecnologie rafforzano inoltre la resilienza industriale e la competitività a lungo termine.
- **Ostacoli all'adozione:** tra gli ostacoli più comuni figurano gli elevati costi di implementazione, la resistenza al cambiamento, la frammentazione dei sistemi di dati e le preoccupazioni in materia di sicurezza informatica. Sono necessarie strategie e meccanismi di sostegno su misura per aiutare le PMI a passare dalla fase di sperimentazione all'adozione su larga scala.
- **Raccomandazioni strategiche:** la relazione raccomanda un migliore **allineamento tra l'industria e il mondo accademico**, maggiori **investimenti nei centri di IFP** e **iniziative coordinate che affrontino congiuntamente gli obiettivi di digitalizzazione e sostenibilità**. Anche l'integrazione delle tecnologie di base nei programmi di studio dell'IFP e lo sviluppo collaborativo con le PMI sono fattori chiave per la preparazione futura.

Il conseguimento di un settore manifatturiero sostenibile, solido e lungimirante dipenderà dalla capacità di **integrare senza soluzione di continuità le tecnologie digitali e verdi** nelle operazioni industriali, trasformando nel contempo le pratiche educative per soddisfare le esigenze in evoluzione dell'economia. Allineando le esigenze emergenti dell'industria a strategie di IFP innovative e incentrate sul discente, la presente relazione illustra **le misure attuabili per migliorare la preparazione della forza lavoro, promuovere pratiche sostenibili e costruire un ecosistema industriale resiliente per l'Europa e il mondo**.



1. INTRODUZIONE

1.1. SCOPO DELLA RELAZIONE

Scopo della presente relazione è contribuire all'obiettivo generale di definire una struttura e una metodologia per l'osservazione e l'analisi delle tendenze tecnologiche, del fabbisogno di competenze e delle traiettorie occupazionali nel settore manifatturiero avanzato, al fine di sostenere il futuro successo dei discenti nei centri di IFP in tutta l'Unione europea.

Si basa sui risultati di **tre settori di osservazione** condotti nell'ambito del progetto LCAMP: **settore PdM e manutenzione** (Pichoutou Pascal et al., 2025a), **SCM con particolare attenzione alla pianificazione degli utili, S&OP, MPS, MRP, processi FCS/ICS (SCM 4.0 in questa relazione)** (Pichoutou Pascal et al., 2025b) e **l'allineamento IFP alle esigenze industriali (BC)** (Pablo Marino, 2025). Inoltre, sintetizza tali risultati per fornire una visione unificata dei principali sviluppi tecnologici, operativi e della forza lavoro che ridefiniscono gli ecosistemi industriali.

La presente relazione pone in particolare l'accento su due dinamiche fondamentali di trasformazione della manifattura avanzata:

- La **trasformazione digitale**, che comprende l'integrazione dell'IA, dell'IoT, dell'analisi dei dati e dell'automazione nei processi di produzione e pianificazione, e
- La **transizione verde**, che promuove pratiche sostenibili, efficienza delle risorse e innovazione attenta al clima nelle strategie operative.

In tale contesto, la relazione esamina il modo in cui **le PMI** stanno attualmente rispondendo a tali cambiamenti nei settori dell'osservazione. Ne esplora le **pratiche, le sfide e i livelli di preparazione** attraverso osservazioni sul campo, analisi di sondaggi e documentazione **di casi aziendali reali**. Queste informazioni mirano a fornire parametri di riferimento attuabili e informazioni strategiche per due destinatari chiave.

- Per le PMI: offrire **una panoramica delle tecnologie, dei concetti e degli strumenti emergenti applicati nei settori dell'osservazione, soprattutto nei settori PdM e SCM**, consentendo di migliorare l'efficienza dei processi operativi.
- Per gli istituti di IFP:
 - Formulare **raccomandazioni strategiche** per l'adeguamento dei programmi di IFP e, di conseguenza, delle strategie istituzionali.
 - Orientare le **decisioni politiche e di investimento** che rafforzano la capacità dei centri di formazione di anticipare e rispondere all'evoluzione delle esigenze della forza lavoro.

Al centro di questa analisi vi è l'impegno a favore dell'**innovazione incentrata sul discente**, che mira a dotare i centri di IFP delle informazioni e degli strumenti necessari per preparare gli studenti non solo alle attuali esigenze del mercato del lavoro, ma anche al lavoro del futuro in **ambienti industriali resilienti, sostenibili e integrati digitalmente**.



1.2. METODOLOGIE

La metodologia alla base della presente relazione di sintesi segue il quadro strutturato dell'Osservatorio LCAMP, definito nel ciclo di processo dell'Osservatorio (*Observatory Process Cycle* D3.1), che mira a individuare, analizzare e convalidare i settori occupazionali emergenti nel contesto della manifattura avanzata. Quest'anno, come settori di osservazione, sono stati selezionati la manutenzione predittiva (PdM) e la gestione della catena di approvvigionamento (SCM). Questo si deve alla loro rilevanza tecnologica intersettoriale e al loro forte allineamento alle trasformazioni digitale e verde, come definite nel pacchetto di lavoro (*Work Package - WP*) 7 di LCAMP (WP7).

L'approccio globale segue un modello multistadio e multimodale, che ha consentito di combinare analisi industriali quantitative, coinvolgimento qualitativo dell'IFP e approfondimenti territoriali:

Metodologia per le relazioni PdM e SCM

I filoni di ricerca PdM e SCM hanno adottato un approccio basato sulla tecnologia che combina:

- Discussioni tra esperti di diversi paesi con partner provenienti da Francia, Germania, Svezia, Italia, Turchia e Slovenia per definire le priorità.
- Una revisione completa della letteratura scientifica, delle relazioni di previsione del settore e dei casi di studio internazionali.
- Raccolta di dati triangolati, tra cui:
 - Sondaggi rivolti alle PMI e ai centri IFP per raccogliere informazioni sull'adozione delle tecnologie, la maturità, le carenze di manodopera, le esigenze di formazione e gli ostacoli agli investimenti.
 - Interviste semi-strutturate con dirigenti d'impresa ed esperti tecnici.
- Entrambi sono stati esaminati e convalidati da esperti.

Questi passaggi hanno consentito di ottenere informazioni approfondite sull'impatto operativo, organizzativo e sulla forza lavoro dell'adozione della tecnologia, con la convalida da parte di tutti i partner LCAMP al fine di garantire la coerenza metodologica.

Metodologia per la relazione BC (Business Change & Education)

Parallelamente, la relazione BC sui cambiamenti aziendali (*Business change*) ha utilizzato una metodologia basata sul campo e incentrata sull'istruzione, volta a comprendere in che modo gli istituti di IFP rispondono alle trasformazioni dell'industria. Ciò ha comportato:

- Uno studio regionale approfondito nei Paesi Baschi, basato sull'analisi LCAMP 2024 dell'evoluzione dei posti di lavoro nel settore manifatturiero avanzato.
- Interviste a 21 docenti di istruzione e formazione professionale, da insegnanti di corsi di specializzazione annuali a tutor coinvolti in progetti di formazione duale e innovazione, per mappare le pratiche di adattamento pedagogico e innovazione.
- Coinvolgimento di 12 portatori di interessi del settore industriale, tra cui PMI e start-up tecnologiche, per esplorare le loro esigenze in termini di talenti e i loro modelli di collaborazione con il mondo dell'istruzione.
- Contributi al sondaggio dell'Associazione spagnola di costruttori di macchine utensili (AFM) e ricerche documentali complementari su quattro professioni selezionate.
- Allineamento con ESCO e altri quadri europei delle competenze per garantire la coerenza nell'analisi delle qualifiche e delle competenze.

Questa metodologia a due livelli, europeo e regionale, ha consentito di comprendere in modo globale e integrato verticalmente come le transizioni digitale e verde incidano sull'offerta e sulla domanda di competenze, in particolare negli ecosistemi dell'IFP.



Integrando queste metodologie complementari, la presente relazione offre sia una **prospettiva strategica paneuropea**, sia una **visione concreta e orientata alla pratica** delle dinamiche in evoluzione della manifattura avanzata, garantendone la rilevanza sia per i decisori politici che per i professionisti della formazione.

1.3. CONTESTI E DINAMICHE DI MERCATO

Nell'ultimo decennio, l'adozione accelerata delle tecnologie dell'Industria 4.0 ha profondamente trasformato le operazioni industriali, in particolare nei settori osservati, quali la **manutenzione e manutenzione predittiva (PdM)**, la **gestione della catena di approvvigionamento (SCM)**, la **lavorazione di Controllo numerico computerizzato (CNC)** e il **controllo qualità**. Si tratta di trasformazioni non solo tecnologiche, ma anche organizzative e strategiche, che ridefiniscono i modelli imprenditoriali, le dinamiche di mercato e le aspettative della forza lavoro in tutto l'ecosistema manifatturiero avanzato europeo.

Secondo la **relazione PdM**, il mercato mondiale della PdM, valutato **10,93 miliardi di dollari nel 2024**, dovrebbe superare i **70 miliardi di dollari entro il 2032**, con proiezioni che superano i **100 miliardi di dollari entro il 2033**. I fattori chiave includono l'implementazione di **IA, IoT, cloud computing** e **analisi basate sui sensori**, che consentono il monitoraggio in tempo reale delle condizioni delle macchine, strategie di manutenzione proattiva e ottimizzazione dei costi del ciclo di vita. La PdM è diventata un fattore strategico in settori quali l'industria automobilistica, aerospaziale e manifattura industriale, con una rapida adozione in Nord America, Europa e un crescente lancio nell'area Asia-Pacifico.

Tuttavia, la **relazione PdM** rivela anche notevoli lacune. Mentre le grandi imprese sono spesso all'avanguardia nell'implementazione delle tecnologie predittive, le **PMI si trovano ad affrontare vincoli strutturali** (capacità di investimento limitata, preparazione digitale insufficiente e mancanza di competenze tecniche) che ne rallentano l'adozione. Il passaggio dalla manutenzione reattiva a quella predittiva richiede non solo capacità tecnologiche, ma anche nuovi modelli organizzativi e ruoli della forza lavoro.

Allo stesso tempo, la **relazione SCM** evidenzia come i recenti shock globali – COVID-19, tensioni geopolitiche, inflazione e cambiamenti climatici – abbiano messo in luce le vulnerabilità delle catene di approvvigionamento globali. In risposta, le aziende stanno investendo nelle **reti di approvvigionamento digitali (DSN)**, nelle strategie di approvvigionamento locale e in tecnologie quali **blockchain, IA, gemelli digitali** e **sistemi di pianificazione avanzati** per ottenere visibilità, agilità e resilienza. L'SCM si sta evolvendo da una funzione di ottimizzazione dei costi a un **pilastro strategico dell'innovazione e della sostenibilità**, con particolare attenzione alle **emissioni Scope 3**, alla circolarità e all'anticipazione dei rischi.

Tuttavia, le **PMI europee faticano a tenere il passo**. La relazione SCM individua ostacoli persistenti, quali ad esempio:

- Sistemi legacy frammentati e interoperabilità tecnologica limitata.
- Vincoli finanziari e costi di ingresso elevati per i nuovi strumenti.
- Preoccupazioni in materia di sicurezza informatica e sfide legate alla governance dei dati.
- Resistenza interna alla trasformazione organizzativa e dei processi.

Tali sfide incidono direttamente sull'evoluzione della manodopera. Man mano che i ruoli diventano più incentrati sui dati e interdisciplinari, i lavoratori devono combinare il know-how tradizionale con competenze nell'uso degli strumenti digitali, nel pensiero sistemico e nel processo decisionale in tempo reale.

Queste tendenze europee sono rispecchiate e rafforzate dai risultati dello **studio di caso regionale nei Paesi Baschi**, presentato nella **relazione BC**. L'ecosistema manifatturiero basco,



che comprende una forte combinazione di PMI e imprese orientate all'innovazione, sta attraversando cambiamenti strutturali analoghi. Secondo le analisi contenute nella relazione BC, solo per il 2024 sono previste **oltre 44.000 nuove assunzioni nel settore industriale** nella regione, di cui **oltre il 70%** concentrate su ruoli di **produzione, manutenzione, qualità e ingegneria**. Il cluster AFM evidenzia l'urgente domanda di **operatori CNC, tecnici di manutenzione e controllori di qualità** che siano anche in grado di navigare in ambienti di dati e sistemi interconnessi.

Le interviste condotte nella regione basca sottolineano la pressione esercitata sui **centri di formazione** affinché rispondano alle esigenze di competenze ibride. Le aziende riferiscono che i ruoli stanno diventando più fluidi, fondendo funzioni precedentemente compartimentate e richiedendo ai professionisti di adattarsi rapidamente ai diversi processi. Ciò rafforza l'importanza delle **competenze trasversali** (problem solving, collaborazione, adattabilità), oltre che delle **competenze tecniche digitali**.

Tali cambiamenti non sono isolati. Essi riflettono una tendenza più ampia in tutta Europa: una convergenza fra **transizione digitale e transizione verde** che sta determinando nuovi standard in materia di prestazioni, nuovi modelli organizzativi e nuovi requisiti della forza lavoro. Come mostra la relazione BC, i **centri di IFP** non devono solo seguire questi cambiamenti, ma anche anticiparli, attraverso il rinnovamento dei programmi di studio, i partenariati con l'industria e percorsi di apprendimento flessibili.

In tale contesto, l'Osservatorio **LCAMP** svolge un ruolo strategico nel consolidare le conoscenze provenienti da diversi territori, nel convalidare i segnali tecnologici e nel sostenere l'allineamento dei sistemi di IFP alle dinamiche di mercato emergenti. Combinando previsioni a livello macroregionale con dati sul campo provenienti da regioni come i Paesi Baschi, questa relazione fornisce un quadro completo dell'**evoluzione della Manifattura Avanzata e di come l'istruzione e la formazione debbano evolversi di pari passo**.



2. TECNOLOGIE EMERGENTI

La trasformazione digitale dell'industria è trainata da una serie di tecnologie avanzate che stanno ridefinendo la manifattura avanzata attraverso una costellazione di tecnologie abilitanti fondamentali. Queste innovazioni non solo migliorano le prestazioni, ma allineano anche le operazioni agli obiettivi di sostenibilità. Sulla base delle relazioni PdM, SCM e BC, il presente capitolo presenta una panoramica delle tecnologie più importanti nei rispettivi campi di osservazione.

- **Internet delle cose (Internet of Things, IoT):** l'IoT svolge un ruolo fondamentale in numerosi ambiti. Collega le risorse fisiche ai sistemi digitali utilizzando sensori e dispositivi, diventando fondamentale per l'acquisizione dei dati in molti campi.
Il valore aggiunto dell'IoT risiede nella sua capacità di generare dati granulari in tempo reale a basso costo. Tuttavia, tra le sfide figurano la calibrazione dei sensori, l'integrazione della rete, i rischi in materia di sicurezza informatica e il sovraccarico di dati senza un adeguato filtraggio o analisi.
- **Cloud and Edge Computing:** queste tecnologie supportano l'archiviazione, l'elaborazione e l'analisi dei dati in ambienti distribuiti:
 - Il cloud computing consente alle PMI di accedere a strumenti avanzati quali piattaforme di analisi predittiva, dashboard di monitoraggio in tempo reale, sistemi di pianificazione collaborativa e soluzioni di archiviazione dei dati scalabili, senza la necessità di disporre di infrastrutture on-premise significative. Le piattaforme cloud aggregano dati, forniscono funzionalità di IA e ospitano dashboard che supportano il processo decisionale decentralizzato.
 - L'edge computing consente l'elaborazione vicina alla fonte dei dati, riducendo la latenza e la dipendenza dalla rete, essenziali per le esigenze di risposta in tempo reale. Sostiene inoltre le operazioni locali nei magazzini o nelle linee di produzione.

Le piattaforme cloud offrono scalabilità e interoperabilità, mentre l'edge garantisce autonomia e velocità. I principali vincoli sono la sicurezza dei dati, l'integrazione dei sistemi e l'affidabilità dei servizi, in particolare quando le infrastrutture sono fragili.

- **Gemelli digitali:** un gemello digitale (*digital twin*) replica un processo o un sistema fisico in un ambiente virtuale, rappresentando virtualmente beni, sistemi o processi fisici. Combina dati dei sensori, registrazioni storiche e previsioni basate sull'IA per simulare il comportamento nel mondo reale.
I gemelli digitali offrono un valore aggiunto significativo collegando le operazioni reali a quelle virtuali. Tra i loro vincoli figurano la complessità della modellizzazione, la necessità di dati di alta qualità e l'integrazione con i sistemi legacy.
- **Intelligenza artificiale (IA):** l'IA sta rapidamente diventando la spina dorsale dei sistemi predittivi in grandi domini. Consente ai sistemi di apprendere dai dati, identificare modelli complessi, formulare previsioni e sostenere il processo decisionale. L'IA supporta la transizione dall'automazione basata su regole a sistemi in grado di apprendere, adattarsi e ottimizzare le decisioni. L'IA consente alle industrie di ottimizzare i cicli di manutenzione, snellire la produzione e migliorare la reattività della catena di approvvigionamento.

L'ampio settore dell'intelligenza artificiale comprende una serie di metodi e architetture avanzate. La panoramica che segue evidenzia le categorie chiave: apprendimento automatico e apprendimento profondo (*machine learning* e *deep learning*), reti e trasformatori neurali, IA generativa e potenziamento dei dati, **Elaborazione del linguaggio naturale (Natural Language Processing – NLP)** e **IA conversazionale**, **IA spiegabile**



(Explainable AI - XAI) e apprendimento automatico interpretabile (Interpretable Machine Learning - iML), **algoritmi di clustering per l'ottimizzazione** e algoritmi di ottimizzazione. Ciascuna di queste categorie svolge un ruolo distinto nel consentire un processo decisionale predittivo, adattivo e trasparente in tutti i contesti industriali.

Apprendimento automatico (machine learning, ML) e apprendimento profondo (deep learning, DL)

I modelli di ML, come gli alberi decisionali (*decision trees*), le foreste casuali (*random forests*) e le macchine a vettori di supporto (*support vector machines*, SVM), trovano ampia applicazione in molti campi. Essi contribuiscono a prevedere il degrado delle apparecchiature, a classificare i guasti dei componenti, a prevedere le fluttuazioni della domanda e a ottimizzare l'inventario e la pianificazione.

- Gli alberi decisionali consentono un processo decisionale interpretabile e basato su regole.
- Le foreste casuali, come insiemi di alberi decisionali, migliorano l'accuratezza delle previsioni aggregando più alberi.
- Le SVM sono utilizzate in attività di classificazione (ad esempio, segmentazione dell'inventario) e nei modelli di regressione (ad esempio, previsione della domanda), efficaci con dataset di dimensioni elevate.
- Valore aggiunto: elevata precisione e flessibilità in ambienti strutturati.
- Limiti: Richiedono dataset ampi e di elevata qualità, nonché la messa a punto dei parametri.

Reti neurali e trasformatori

Le architetture neurali, comprese le reti neurali ricorrenti (*recurrent neural networks*, RNN) e le reti a lunga memoria a breve termine (*long short-term memory*, LSTM), sono particolarmente adatte per le previsioni di serie temporali e la pianificazione predittiva. Sono essenziali per modellare la domanda di produzione, i cicli di manutenzione o le tendenze di approvvigionamento.

- I modelli di trasformatori (ad esempio BERT, GPT) vengono adottati per analisi complesse basate su testo, come l'interpretazione di rapporti o l'analisi di contratti.
- Valore aggiunto: gestiscono dipendenze sequenziali e dati non strutturati con un'elevata potenza predittiva.
- Limiti: richiedono molte risorse e sono difficili da interpretare senza strumenti specifici.

IA generativa e aumento dei dati

I modelli LLM (Large Language Models), quali BERT e GPT, elaborano grandi serie di dati e rilevano anomalie di pianificazione in tempo reale. Sono particolarmente efficaci nella gestione delle dipendenze a lungo raggio nei dati, rendendoli adatti, ad esempio, per:

- Adeguamenti dinamici della pianificazione.
- Generazione di dati sintetici sui guasti, per ovviare alla scarsità di dati storici disaggregati. Ciò sostiene modelli solidi anche quando i dataset di dati storici sono scarsi.
- Migliore addestramento dei modelli di IA attraverso la simulazione di eventi rari ma critici.
- Generazione di linguaggio naturale, ad esempio creando sintesi dei registri di manutenzione, generando ordini di lavoro o elaborando orientamenti tecnici.
- Valore aggiunto: consente l'uso dell'IA anche in contesti con pochi dati e migliora la generalizzazione.
- Limiti: richiede robusti framework di formazione dei modelli e meccanismi di convalida.

NLP e IA conversazionale

L'elaborazione del linguaggio naturale (NLP) consente all'IA di analizzare dati non strutturati come e-mail, log di chat o note dei tecnici:

- I chatbot ottimizzano la comunicazione con i fornitori.



- Il riconoscimento delle entità nominate (*named entity recognition*, NER) estrae dati strutturati da testi.
- Il Topic Modeling (LDA) e la Sentiment Analysis contribuiscono a identificare i rischi e a gestire la forza lavoro.
- Valore aggiunto: automatizza l'estrazione di conoscenze e la comunicazione.
- Limiti: è sensibile alle sfumature linguistiche e alle preoccupazioni in materia di riservatezza dei dati.

IA spiegabile (XAI) e apprendimento automatico interpretabile (IML)

L'integrazione dell'intelligenza artificiale (IA), dell'Internet delle cose (IoT) e delle interfacce uomo-macchina collega i sistemi hardware e software per ottimizzare i processi aziendali di automazione. Con la transizione delle industrie verso l'Industria 5.0, l'attenzione si sposta dalle operazioni incentrate sulle macchine all'IA incentrata sulla persona, in cui le tecnologie di IA aumentano il processo decisionale umano per aumentare la produttività.

Tuttavia, la sua effettiva implementazione dipende in larga misura dalla disponibilità di dati di alta qualità, dall'esistenza di personale qualificato per sviluppare e mantenere i modelli e dalla fiducia degli utenti nei risultati del sistema. Per molte PMI questi prerequisiti rimangono un ostacolo, in particolare in assenza di strutture di sostegno esterne o di soluzioni modulari e di facile integrazione.

Per affrontare le preoccupazioni relative alla fiducia e all'utilizzabilità, stanno emergendo nuovi approcci per rendere l'IA più trasparente e accessibile attraverso soluzioni di spiegabilità e interpretabilità:

- La XAI (ad esempio SHAP, LIME) rafforza la fiducia degli utenti fornendo spiegazioni chiare su come i sistemi di IA giungono alle loro conclusioni. Ciò aiuta gli operatori a comprendere la logica alla base delle decisioni generate dall'IA, promuovendo la fiducia e facilitando l'adozione.
- L'iML utilizza modelli intrinsecamente interpretabili come gli alberi decisionali, i modelli additivi generalizzati (*generalized additive models*, GAM) e le *Explainable Boosting Machines* (EBM). L'iML garantisce che i modelli decisionali utilizzati siano intrinsecamente trasparenti e interpretabili. Consentendo agli utenti di tracciare la logica alla base delle previsioni o delle raccomandazioni, l'iML contribuisce a un'integrazione dell'IA nei contesti operativi più responsabile e controllabile.
- Valore aggiunto: aumenta la trasparenza e sostiene il rispetto della normativa.
- Limiti: Richiede l'adattamento ad architetture di modello specifiche.

Algoritmi di clustering per l'ottimizzazione

L'IA sfrutta le tecniche di clustering per migliorare la pianificazione, la classificazione e la pianificazione:

- I K-means, i modelli DBSCAN (*Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise*) e i *Gaussian Mixture Models* (GMM) dati sono algoritmi di apprendimento non supervisionati ampiamente utilizzati per raggruppare punti di simili.
- Valore aggiunto: automatizzano la classificazione, migliora l'efficienza dei processi.
- Limiti: Sensibile ai valori anomali (*outliers*), è necessaria una messa a punto.

Algoritmi di ottimizzazione

L'ottimizzazione basata sull'IA è utilizzata per bilanciare problemi complessi di allocazione delle risorse:

- Algoritmi genetici (GA): pianificazione multi-obiettivo e bilanciamento delle risorse.
- Ottimizzazione delle colonie di formiche (*Ant Colony Optimisation*, ACO): instradamento dinamico e sequenziamento.
- Ottimizzazione con sciame di particelle (PSO): bilanciamento adattivo del carico di lavoro e pianificazione dell'approvvigionamento.



In sintesi, questi metodi sono fondamentali per la pianificazione della produzione, l'allineamento dell'approvvigionamento e la logistica.

- Valore aggiunto: Risolve i problemi di assegnazione su larga scala in tempo reale.
- Limiti: elevata domanda computazionale e sensibilità alle impostazioni dei parametri.

- **Sicurezza informatica:** la sicurezza informatica non è solo una questione tecnica, ma un elemento fondamentale per la fiducia nei sistemi digitali. Con l'aumento della dipendenza dall'IA, dal cloud e dall'IoT, diventa essenziale garantire una solida resilienza informatica, in particolare per le PMI che potrebbero non disporre delle infrastrutture o delle competenze necessarie. Tali progressi introducono vulnerabilità, rendendo le infrastrutture dei sistemi di controllo industriale (ICS) e della tecnologia operativa (OT) più suscettibili agli attacchi informatici. Le relazioni evidenziano tre rischi principali:

- **Minacce persistenti avanzate** (*Advanced Persistent Threats*, APT) che prendono di mira dati sensibili dei fornitori o della logistica.
- **Avvelenamento della catena di approvvigionamento**, in cui durante i processi a monte vengono introdotti componenti malevoli.
- **Violazioni dei dati**, che causano interruzioni delle operazioni e danni alla reputazione.

Per mitigare tali rischi, iniziative come DETECTA 2.0 si concentrano sull'integrazione di misure di sicurezza informatica nella PdM, rafforzando la resilienza delle PMI.

- **Blockchain:** sebbene la sua adozione sia ancora agli inizi tra le PMI, la blockchain è considerata una soluzione promettente per la tracciabilità, la trasparenza, l'integrità dei dati nei sistemi decentralizzati e la gestione dei contratti. È inoltre un fattore strategico per la sicurezza informatica, in quanto offre registrazioni immutabili e decentralizzate delle operazioni.

Il valore aggiunto della blockchain risiede nella trasparenza e nella fiducia. Tuttavia, la sua implementazione rimane complessa e non è ancora ampiamente adottata dalle PMI a causa di ostacoli tecnici e di costo.



3. TENDENZE DELLA TRANSIZIONE DIGITALE E VERDE E IMPATTO SULLE PMI

3.1. CAMBIAMENTI TECNOLOGICI NEL CAMPO D'OSSERVAZIONE

Sulla base delle tecnologie avanzate descritte in precedenza, passiamo ora alle loro applicazioni concrete nei settori esaminati nelle relazioni PdM, SCM e BC.

Questa serie di tecnologie avanzate sta ridisegnando la PdM e la SCM. Anche se i due settori differiscono per ambito di applicazione e logica operativa, queste tecnologie digitali non sono solo strumenti, ma catalizzatori di nuove pratiche industriali, con l'adozione di tali tecnologie avanzate nei settori della PdM e della SCM. Sebbene questi settori perseguano obiettivi commerciali diversi, essi si basano sempre più su tecnologie e modelli di innovazione che si sovrappongono: essi condividono una crescente dipendenza dall'IA, dall'IoT, dal cloud computing e dai gemelli digitali. Queste tecnologie non si limitano a sostenere l'automazione, ma stanno ridefinendo il modo in cui vengono prese le decisioni, allocate le risorse e ottimizzate le prestazioni.

Le tecnologie di PdM sono utilizzate principalmente per prevedere i guasti delle apparecchiature, migliorare i tempi di attività delle macchine e ridurre gli interventi non pianificati. Rimodellano il modo in cui le aziende monitorano, mantengono e fanno interventi sulle apparecchiature. I sensori IoT forniscono un monitoraggio delle condizioni in tempo reale. L'IA consente di rilevare precocemente i rischi di degrado e di guasto. I gemelli digitali simulano il comportamento operativo e le piattaforme cloud aggregano e analizzano i dati su larga scala.

Le tecnologie di SCM, invece, sono applicate alla previsione, pianificazione, programmazione e orchestrazione di rete. Il cambiamento è evidente nel crescente uso dell'IA per la previsione della domanda e l'analisi dei rischi, dell'IoT per il tracciamento degli asset e delle spedizioni e dei sistemi cloud per la sincronizzazione delle operazioni tra fornitori e clienti. I processi di SCM (relativi al settore dell'osservazione nella pianificazione, nell'esecuzione e nel monitoraggio) vengono ridisegnati per sfruttare le capacità digitali per l'agilità e la resilienza.

3.1.1. NARRAZIONI TECNOLOGICHE E FOCUS STRATEGICO

Mentre le applicazioni di PdM si concentrano sulle prestazioni interne, sull'affidabilità del sistema e sull'ottimizzazione dei costi, le applicazioni SCM sono guidate dal coordinamento della rete, dalla flessibilità e dalla sostenibilità. Ciò riflette narrazioni distinte:

- La PdM privilegia l'eccellenza nei tempi di attività e nei processi, con l'obiettivo di azzerare i tempi di inattività non pianificati e di ottimizzare i costi di manutenzione.
- L'SCM pone l'accento sull'agilità, sul coordinamento end-to-end e sulla resilienza, in particolare nei mercati volatili o nei contesti normativi.

Entrambi i settori convergono verso sistemi più autonomi, spiegabili e basati sui servizi. Tuttavia, i loro percorsi di implementazione differiscono:

- Le grandi aziende sono all'avanguardia piattaforme integrate di IA integrata e gemelli digitali.



- Le PMI, pur essendo più lente nell'adozione, mostrano un potenziale attraverso soluzioni modulari, servizi basati sul cloud ed ecosistemi collaborativi.

3.1.2. TECNOLOGIE PER LA MANUTENZIONE PREDITTIVA

La manutenzione predittiva è in rapida evoluzione, passando dai tradizionali approcci di manutenzione basati sul tempo e sulla reattività a modelli basati sui dati e sulle condizioni. Questo cambiamento è reso ampiamente possibile dalla diffusione delle tecnologie digitali sopra descritte, come descritto di seguito.

Internet delle cose (IoT)

I dispositivi IoT raccolgono dati in tempo reale dalle macchine e consentono un monitoraggio continuo tracciando parametri chiave quali vibrazioni, temperatura, pressione, consumo di energia e livelli di lubrificazione. Questi dati confluiscono in modelli predittivi per individuare anomalie e programmare la manutenzione in modo proattivo.

Tali dati sono fondamentali per il monitoraggio delle condizioni e confluiscono direttamente nei modelli di IA e nelle piattaforme diagnostiche.

L'IoT aiuta ad anticipare i guasti prima che incidano sulla produzione e consente la sorveglianza a distanza.

Cloud e Edge Computing

Le piattaforme cloud favoriscono la scalabilità dell'archiviazione e analisi dei dati, nonché delle dashboard di manutenzione, consentendo alle PMI di implementare la PdM senza dover costruire una propria infrastruttura IT. Sostengono lo sviluppo della PdM-as-a-Service (PdMaaS).

L'edge computing elabora i dati a livello di apparecchiatura, consentendo decisioni in tempo reale e riducendo la latenza, che è fondamentale negli ambienti di produzione ad alta velocità.

Gemelli digitali

I gemelli digitali simulano il comportamento dinamico degli asset, sostenendo le analisi *what-if* e le previsioni del ciclo di vita.

Utilizzati in combinazione con il software PdM, forniscono informazioni sui fattori di stress, sul consumo energetico e sui tempi previsti prima che si verifichi un guasto.

Queste simulazioni contribuiscono a ottimizzare gli interventi preventivi e la pianificazione dei pezzi di ricambio.

Intelligenza artificiale (IA)

Nella manutenzione, l'IA è utilizzata per costruire modelli predittivi che prevedano i guasti delle apparecchiature, rilevino anomalie e raccomandino interventi di manutenzione ottimizzati.

A seconda del contesto vengono utilizzati diversi approcci di IA:

- **Machine learning (ML):** gli algoritmi di ML sono ampiamente utilizzati nella PdM per prevedere guasti, rilevare anomalie e analizzare le tendenze. Questi sistemi migliorano nel tempo grazie all'apprendimento dai dati storici.
- **Deep learning (DL):** un sottoinsieme di ML, il DL è utilizzato in PdM per elaborare i dati dei sensori e rilevare pattern poco evidenti, ad esempio nelle vibrazioni, nei cambiamenti di temperatura o nelle letture di pressione.
- **Modelli di apprendimento automatico di grandi dimensioni (LMM):** questi modelli integrano vasti dataset per offrire informazioni scalabili. Nella PdM, gli LMM aiutano a interpretare dati multisensoriali complessi.



- IA generativa / modelli linguistici di grandi dimensioni (LLM): nella PdM, gli LLM offrono una nuova interfaccia ai tecnici, consentendo loro di interagire con gli strumenti diagnostici o di fornire istruzioni di manutenzione utilizzando il linguaggio naturale. Sono in grado di riassumere i registri storici di manutenzione o di rispondere a domande procedurali.

Fiducia e usabilità:

- Intelligenza artificiale spiegabile (XAI): nella PdM, le tecniche XAI come GradCAM, DIFFI e ARCANA vengono utilizzate per aiutare gli operatori a comprendere perché un modello di IA abbia flaggato un componente come difettoso. Questi metodi evidenziano quali variabili (ad esempio vibrazioni, temperatura) hanno contribuito maggiormente alla previsione di un'anomalia o di un guasto. Ad esempio, DIFFI classifica le caratteristiche che provocano il rilevamento di anomalie nei dati delle serie temporali, mentre ARCANA identifica le cause alla radice analizzando gli errori di ricostruzione nei modelli basati su autoencoder. Tali strumenti rafforzano la fiducia e consentono un processo decisionale più informato.
- Apprendimento automatico interpretabile (iML): nella PdM, l'iML si concentra sull'uso di modelli trasparenti quali gli alberi decisionali, *LionForests* e le *Explainable Boosting Machines* (EBM), che offrono una logica chiara e previsioni basate su regole. Ad esempio, LionForests genera regole IF-THEN leggibili dall'uomo a partire da *random forests* per spiegare le classificazioni dei guasti, mentre le EBM mostrano in che modo ciascuna caratteristica degli input contribuisce ai risultati della manutenzione. Questi metodi aiutano gli operatori e gli ingegneri a tracciare il ragionamento alla base delle previsioni, supportando l'integrazione responsabile dell'IA nei contesti industriali.

Blockchain

La blockchain viene raramente utilizzata nella PdM, ma può supportare la registrazione sicura delle operazioni di manutenzione o la sostituzione di parti per la garanzia e la tracciabilità.

Sicurezza informatica

La PdM pone l'accento sulla protezione dei dati delle macchine e sulla continuità delle operazioni.

Analisi dei casi di studio

Due casi descritti nella relazione PdM illustrano l'evoluzione della PdM da modelli reattivi, basati sul tempo, a sistemi avanzati basati sui dati. Essi sottolineano il modo in cui l'IA, l'integrazione di qualità e l'automazione modulare stanno ridefinendo le strategie di PdM. Questi due casi di studio illustrano la diffusione di modelli all'avanguardia e i loro benefici pratici in diversi settori.

- Caso 1 – PdM potenziata utilizzando l'integrazione della qualità dei prodotti
 - Metodi utilizzati:
 - Integrazione di ML e qualità dei prodotti per la PdM.
 - Sviluppo di un framework in tre fasi con un'accuratezza del **91%**.
 - Risultati:
 - L'elemento più critico ad incidere sulla qualità del prodotto è risultato essere il miscelatore sottovuoto (85% dei rifiuti totali).
 - Il framework ha dimostrato che prevedere le esigenze di manutenzione in base alle variazioni della qualità del prodotto comporta notevoli risparmi sui costi e una maggiore efficienza.
 - Impatto finanziario:
 - Riduzione del 50% dei costi relativi al fermo macchina.
 - Riduzione del 64% dei costi relativi agli scarti.
- Caso 2 – Rilevamento di anomalie nei motori a induzione che utilizzano dati IoT in tempo reale
 - Metodi utilizzati:



- Lo studio ha confrontato tre algoritmi di ML in base alla loro sensibilità, specificità e tempo di inferenza (prestazioni medie tra i dataset di convalida e di test).
- Risultati:
 - Lo studio ha sviluppato con successo un sistema di manutenzione predittiva a basso costo e in tempo reale utilizzando sensori IoT e algoritmi ML per il rilevamento di anomalie nei motori a induzione.

3.1.3. TECNOLOGIE NELLA GESTIONE DELLA CATENA DI APPROVVIGIONAMENTO

Nell'ambito dell'SCM, la trasformazione digitale si concentra sul miglioramento dell'agilità, della visibilità e della reattività lungo tutta la catena del valore. Come descritto di seguito, le tecnologie vengono implementate a tutti i livelli analizzati nel campo di osservazione nell'ambito della pianificazione e dell'esecuzione dell'SCM.

Internet delle cose (IoT)

I sensori IoT supportano l'esecuzione operativa consentendo:

- La tracciabilità in tempo reale delle spedizioni e dei container.
- Il monitoraggio delle condizioni del magazzino (ad esempio, merci sensibili alla temperatura).
- L'automazione dei conteggi di inventario e dei trigger di rifornimento.

Supporta la visibilità, gli avvisi e la tracciabilità in tempo reale.

L'IoT è considerato una tecnologia abilitante ed è già standard in molte grandi imprese. Ad esempio, i risultati pilota mostrano che il monitoraggio basato sull'IoT nelle reti di produzione può ridurre gli sprechi di materiale del 12-20%.

Cloud computing

Le piattaforme cloud costituiscono la spina dorsale per l'integrazione dei sistemi di pianificazione e degli strumenti di visibilità della catena di approvvigionamento:

- I sistemi cloud ospitano dashboard, KPI in tempo reale e interfacce di pianificazione collaborativa.
- Vengono utilizzati per sincronizzare i flussi di dati tra i reparti e i partner esterni (fornitori, trasportatori, clienti), consentendo la condivisione dei dati tra le reti e sostenendo il processo decisionale decentralizzato.

I sistemi di edge computing possono supportare le operazioni locali nei magazzini o nelle linee di produzione.

Gemelli digitali

Pur essendo ancora emergenti nell'SCM, i gemelli digitali sono utilizzati per:

- Simulare le reti della catena di approvvigionamento e i flussi di produzione.
- Valutare i cambiamenti di capacità o le interruzioni dell'approvvigionamento.
- Testare l'impatto delle misure di sostenibilità o determinare variazioni dei *lead time*.

Spesso sono abbinati a *control towers*, che forniscono una "vista cockpit" delle operazioni SCM.

Blockchain

Nell'SCM, la blockchain aiuta a tracciare l'origine e il movimento delle merci, a verificare la conformità e ad automatizzare le transazioni attraverso contratti intelligenti. È particolarmente utile nelle industrie regolamentate o nelle catene di approvvigionamento certificate in materia di sostenibilità. Offre scambi di dati sicuri e trasparenti per garantire la conformità ai contratti.



Sicurezza informatica

Dal sondaggio SCM è emerso che la sicurezza informatica è considerata sia un pilastro centrale nelle strategie digitali, sia una delle principali preoccupazioni per le imprese: il 100 % delle medie imprese e il 60 % delle piccole imprese la considerano "critica". Nell'SCM, la sicurezza informatica è stata identificata come un rischio elevato negli ecosistemi complessi di fornitori e indica la blockchain come una soluzione promettente.

Intelligenza artificiale (IA)

L'IA consente previsioni intelligenti, gestione dei rischi e sincronizzazione della pianificazione:

- Nell'SCM supporta le previsioni, l'ottimizzazione e il controllo dinamico degli inventari, la pianificazione e la programmazione. Secondo la relazione SCM, l'IA è stata menzionata in 9 casi d'uso su 31 e ha portato a una riduzione fino al 15% dei costi logistici e a un miglioramento del 35% dell'accuratezza dell'inventario. Tuttavia, l'adozione dell'IA rimane limitata tra le PMI, ma il suo potenziale strategico è ampiamente riconosciuto.

Sono utilizzati diversi approcci di IA a seconda del contesto:

- *Machine learning* (ML): nell'SCM, il ML è utilizzato per le previsioni, la valutazione dei rischi e la pianificazione adattativa. Questi sistemi migliorano nel tempo grazie all'apprendimento dai dati storici.
- *Deep learning* (DL): un sottoinsieme di ML, nell'SCM il DL può supportare il riconoscimento delle immagini (ad esempio per la qualità dei prodotti) e l'estrazione di modelli da grandi dataset.
- Modelli di *machine learning* di grandi dimensioni (LLM): nell'SCM possono supportare la previsione della domanda globale e l'ottimizzazione della rete.
- IA generativa / modelli linguistici di grandi dimensioni (LLM): nell'SCM possono supportare l'automazione dei documenti o i chatbot per il servizio clienti.

Per rispondere alle preoccupazioni relative alla fiducia e all'utilizzabilità, stanno emergendo nuovi approcci per rendere l'IA più trasparente e accessibile:

- Intelligenza artificiale spiegabile (XAI): nell'SCM i sistemi di gestione dei rischi utilizzano sempre più **metodi XAI** come **SHAP**, **LIME** e **GradCAM** per chiarire in che modo i modelli di IA prendono le decisioni, ad esempio classificando i fornitori in base ai tempi di consegna, alle prestazioni ESG o ai costi. Questi strumenti aiutano le parti interessate a comprendere e fidarsi delle previsioni o delle valutazioni automatizzate, rendendo le raccomandazioni basate sull'IA più trasparenti e accettabili per chi prende le decisioni.
- Apprendimento automatico interpretabile (IML): nelle previsioni e nella logistica, i **modelli IML**, quali **alberi decisionali**, **EBM** e **GAM**, vengono utilizzati per fornire una logica chiara e tracciabile alla base delle raccomandazioni di pianificazione. Ad esempio, **DIFFI** e **LionForests** aiutano ad individuare le cause alla radice delle anomalie o delle interruzioni nella catena di approvvigionamento, garantendo che le decisioni siano spiegabili e verificabili, aspetto particolarmente importante per le industrie regolamentate o i processi di pianificazione collaborativa.

L'IA applicata ai livelli SCM definiti nel campo di osservazione può essere sintetizzata come segue:

- Pianificazione degli utili (PP): l'IA simula i risultati finanziari e supporta la pianificazione degli scenari.
- Pianificazione delle vendite e delle operazioni (S&OP): l'IA ottimizza la previsione della domanda, consentendo un migliore coordinamento tra le previsioni di vendita e i piani di produzione.
- Piano principale di produzione (MPS) e pianificazione dei bisogni materiali (MRP): l'IA calcola le quantità ottimali di produzione e approvvigionamento in condizioni di incertezza.
- Pianificazione della capacità finita / infinita (FCS/ICS): gli algoritmi basati sull'IA migliorano l'allocazione delle risorse e il sequenziamento.

Miglioramenti delle prestazioni:



Alcuni casi d'uso di SCM che integrano l'IA mostrano una riduzione fino al 15% dei costi logistici e un miglioramento del 35% dei livelli di inventario.

3.1.4. MODELLI OPERATIVI E DI INNOVAZIONE EMERGENTI

Al di là delle tecnologie, stanno prendendo piede nuovi modelli operativi:

- Collaborazione basata su piattaforme tra PMI e fornitori di servizi (ad esempio piattaforme di PdM o *control towers* logistiche integrate SCM).
- Architetture orientate ai servizi che riducono le esigenze di infrastrutture interne. Ad esempio, la PdMaaS consente alle imprese, in particolare alle PMI, di esternalizzare le capacità predittive senza possedere l'infrastruttura. Si tratta di una soluzione economicamente conveniente, generalmente offerta tramite piattaforme cloud o OEM (*Original Equipment Manufacturer*) che integrano la diagnostica con le apparecchiature (*Equipment-as-a-Service*).
- Banche di prova e partenariati pubblico-privato, che aiutano le PMI a ridurre i rischi legati alla sperimentazione.

La relazione BC offre anche esempi concreti di PMI che accedono a infrastrutture digitali condivise, servizi integrati o moduli di formazione attraverso ecosistemi regionali. Tali modelli ed ecosistemi offrono un accesso condiviso alle infrastrutture, alla formazione e ai servizi di supporto, in particolare nelle regioni con cluster industriali attivi, svolgendo un ruolo cruciale nel rendere le tecnologie di alto livello accessibili agli attori più piccoli.

3.2. CONTRIBUTI PER LA TRANSIZIONE VERDE

La trasformazione digitale nella Manifattura Avanzata e nei settori osservati nelle tre relazioni è strettamente interconnessa con la transizione verde. Le tecnologie descritte non sono solo fattori abilitanti dell'efficienza operativa, ma anche potenti leve per le prestazioni ambientali. Il presente capitolo sintetizza in che modo le tecnologie avanzate applicate alle attività osservate contribuiscono agli obiettivi di sostenibilità (riducendo le emissioni, ottimizzando le risorse e sostenendo le pratiche dell'economia circolare) e in che modo sono allineate a quadri politici e normativi più ampi.

3.2.1. SOSTENIBILITÀ: OPPORTUNITÀ E OBBLIGHI

Sia la relazione PdM che quella SCM evidenziano una duplice narrativa in materia di sostenibilità:

- Nel contesto della PdM, la sostenibilità è vista come un motore di innovazione ed efficienza. Migliora le prestazioni, riduce i costi e aumenta la competitività, rendendola una miglioria che si autofinanzia.
- Nel contesto dell'SCM, la sostenibilità è anche un imperativo normativo. Le imprese devono rispettare i criteri ESG (*Environment, Social and Governance* - ambiente, sociale e di governance), gli obiettivi del Green Deal dell'UE e i quadri giuridici emergenti (ad esempio la due diligence nelle catene di approvvigionamento o il monitoraggio delle emissioni di Scope 3).
- Nel contesto comune delle PMI, l'integrazione della trasformazione digitale con gli obiettivi ambientali rimane poco sviluppata. Molte PMI non dispongono delle competenze necessarie in materia di gestione della sostenibilità, in particolare nell'applicazione del



pensiero sistemico nell'ambito dell'economia circolare. Sebbene gli obiettivi ambientali siano sempre più comunicati, esiste ancora un divario significativo negli approcci di formazione pratica che integrano le considerazioni ecologiche nelle operazioni aziendali e nei programmi di sviluppo dei dipendenti.

Ciò crea sia un'opportunità strategica che un obbligo di conformità: le tecnologie digitali consentono alle imprese di anticipare e soddisfare requisiti ambientali sempre più rigorosi, posizionandosi al contempo come leader nell'innovazione verde.

3.2.2. LA PDM COME CATALIZZATORE DELL'EFFICIENZA AMBIENTALE

La relazione PdM definisce la manutenzione predittiva come una strategia vantaggiosa per tutti: migliora le prestazioni operative e allo stesso tempo promuove gli obiettivi di sostenibilità. I suoi contributi ambientali sono tangibili e misurabili:

- Riduzione del consumo energetico: individuando precocemente le inefficienze e mantenendo le macchine in condizioni operative ottimali, la PdM evita lo spreco di energia;
- Minore spreco di materiali: la manutenzione programmata in base alle effettive necessità riduce le riparazioni di emergenza e la sostituzione prematura dei componenti, minimizzando l'uso di pezzi di ricambio e materie prime.
- Prolungamento della durata di vita degli asset: l'individuazione precoce e la correzione tempestiva dei guasti contribuiscono a prolungare la vita utile delle apparecchiature, in linea con gli obiettivi dell'economia circolare.
- Ottimizzazione delle emissioni della logistica e dei trasporti: prevenire i guasti significa meno interventi non programmati e consegne urgenti di pezzi di ricambio, con conseguente riduzione delle emissioni connesse ai servizi logistici.
- Sostegno all'economia circolare: la PdM facilita il riutilizzo e il ricondizionamento, riducendo la necessità di nuove attrezzature e contribuendo alla gestione sostenibile degli asset.

Nel complesso, la PdM supporta sia gli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂ che la competitività economica, aiutando le PMI a trovare un equilibrio tra gli obiettivi ambientali e la redditività. Le relazioni presentano la PdM come una leva strategica che concilia l'azione per il clima con l'efficienza industriale.

3.2.3. SCM 4.0 E GESTIONE DELLA CATENA DI APPROVVIGIONAMENTO VERDE

La relazione SCM va oltre, posizionando l'SCM 4.0 come fattore abilitante chiave della gestione della catena di approvvigionamento verde (*Green Supply Chain Management* – GSCM). Grazie alla digitalizzazione, le imprese ottengono visibilità e controllo sugli impatti ambientali lungo l'intera catena del valore, dall'approvvigionamento alla produzione, al trasporto e alla fine del ciclo di vita.

Tra i principali contributi figurano:

- Riduzione del 12-20% degli sprechi di materiale grazie al monitoraggio dei flussi di risorse basato sull'IoT.
- Riduzione del 5-10% delle emissioni di CO₂ nella logistica grazie all'ottimizzazione dei percorsi e al bilanciamento del carico basati sull'IA.
- Aumento fino al 15% della quota di materiali riciclati utilizzati nella produzione, grazie alla tracciabilità basata sulla blockchain, che rende i fornitori più trasparenti e responsabili;
- Integrazione dell'economia circolare, con strumenti digitali che consentono la logistica a ciclo chiuso, la rigenerazione e il monitoraggio del ciclo di vita.
- Supporto all'ecodesign, che consente ai portatori di interessi della catena di approvvigionamento di collaborare allo sviluppo di prodotti più ecologici fin dalla fase di progettazione.



Nonostante questi progressi, solo il 27% delle imprese intervistate ha formalmente allineato le proprie strategie digitali e di sostenibilità, il che indica una grande opportunità di sinergia.

3.3. IMPATTO SULL'OPERATIVITÀ, SULL'ORGANIZZAZIONE E SULLA FORZA LAVORO

Sulla base dei capitoli precedenti, che hanno illustrato come le tecnologie emergenti possono migliorare le attività commerciali e hanno evidenziato il loro contributo alla sostenibilità, la presente sezione si concentra sui loro impatti più ampi. Le tecnologie emergenti non solo offrono soluzioni digitali a sfide concrete, ma stanno anche ridefinendo radicalmente il modo in cui le imprese operano, si strutturano e sviluppano la propria forza lavoro. Di seguito riassumiamo i principali cambiamenti individuati nelle tre relazioni, così come si manifestano nella manutenzione e manutenzione predittiva, nella gestione della catena di approvvigionamento, nell'**automazione, nel controllo qualità e nell'operatività CNC**.

La PdM e l'SCM sono entrambe catalizzatori di cambiamenti più ampi nei flussi di lavoro e nelle strutture organizzative, il che richiede un adattamento significativo delle organizzazioni e dei ruoli della forza lavoro.

In entrambi i settori stanno emergendo nuovi ruoli che combinano le competenze ingegneristiche con la padronanza del digitale. Ai professionisti della manutenzione e della logistica viene sempre più richiesto di interpretare le dashboard, interagire con i sistemi basati sull'IA e collaborare tra i vari reparti.

Nella PdM, nuovi modelli come la PdMaaS trasferiscono i compiti dai tecnici agli analisti di dati e agli operatori di servizi a distanza.

Nell'SCM si verificano trasformazioni analoghe. Il processo decisionale diventa maggiormente basato sui dati, il che richiede un coordinamento tra IT, logistica, acquisti e pianificazione. I lavoratori devono gestire piattaforme integrate, convalidare i suggerimenti algoritmici e collaborare con i portatori di interessi esterni. Questi cambiamenti evidenziano la crescente importanza delle competenze trasversali e dell'alfabetizzazione digitale.

3.3.1. IMPATTO SULL'OPERATIVITÀ

A livello operativo, la PdM e l'SCM 4.0 hanno introdotto importanti cambiamenti nel modo in cui vengono prese le decisioni, strutturati i flussi di lavoro e gestite le risorse in tempo reale.

Nella **manutenzione predittiva**, le operazioni stanno passando dalle tradizionali routine preventive a un **approccio più dinamico e basato sui dati**. Nella PdM, gli interventi si basano su modelli di usura effettivi o su anomalie rilevate dai sensori, il che comporta una riduzione dei tempi di fermo macchina e un utilizzo più efficiente delle risorse.

Questa transizione apporta diversi miglioramenti operativi tangibili:

- **Riduzione dei tempi di inattività non pianificati** grazie al monitoraggio continuo delle condizioni e agli avvisi in tempo reale.
- **Pianificazione strategica** degli interventi di manutenzione durante i periodi di inattività pianificati o di bassa attività.
- **Processo decisionale** basato sui dati, che sostituisce l'intuizione con la diagnostica basata su sensori e dashboard di previsione.



- **Automazione delle decisioni di routine**, come l'attivazione degli ordini di manutenzione quando vengono superate determinate soglie.

Analogamente, nell'SCM, strumenti digitali quali l'IA, l'IoT e le piattaforme cloud migliorano l'agilità e la reattività lungo tutta la catena di approvvigionamento. La pianificazione diventa meno reattiva e più anticipatoria, grazie ai dati in tempo reale e alla modellizzazione automatizzata degli scenari.

I cambiamenti operativi includono:

- **Visibilità in tempo reale** della logistica e dei flussi di inventario, migliorando la risposta alle interruzioni.
- **Pianificazione e ripianificazione dinamiche**, basate su input in tempo reale provenienti da dispositivi IoT e dai gemelli digitali.
- **Processo decisionale assistito dall'IA**, compresa l'ottimizzazione automatizzata degli acquisti o dei percorsi di consegna.
- **Integrazione end-to-end dei flussi di lavoro**, abbattendo i compartimenti stagni tra reparti quali vendite, produzione e logistica.

Questi cambiamenti sono ulteriormente illustrati dai risultati della relazione regionale sui Paesi Baschi. Gli impatti operativi della trasformazione digitale stanno ridefinendo il modo in cui i professionisti svolgono le loro attività quotidiane e interagiscono con i sistemi tecnologici. Si registra un chiaro spostamento verso approcci predittivi in tutti i profili, passando da una manutenzione reattiva a una predittiva, basata sulle condizioni. Si va inoltre verso un controllo qualità sostenuto da reti di sensori, avvisi in tempo reale e sistemi di monitoraggio avanzati.

La ridistribuzione dei compiti è evidente. Ad esempio, gli operatori di macchine o linee stanno acquisendo alcune delle tradizionali responsabilità del controllo qualità, rendendo la qualità una responsabilità condivisa tra i team di produzione. I tecnici della manutenzione si trovano ora ad affrontare responsabilità più ampie, che vanno al di là dei tradizionali compiti di riparazione e includono contribuire all'ottimizzazione dei processi e integrare la tecnologia dei sistemi di automazione.

3.3.2. IMPATTO SULL'ORGANIZZAZIONE

I miglioramenti operativi sono possibili solo se sostenuti da adeguati **cambiamenti nelle strutture organizzative e nella cultura**. L'implementazione degli strumenti di PdM e SCM 4.0 mette in discussione le gerarchie tradizionali e promuove modelli più collaborativi e agili.

In entrambi i settori, le organizzazioni stanno adottando sempre più spesso **metodi di lavoro agili e team interfunzionali**. Anziché basarsi su progetti lunghi e lineari, ora fanno ricorso a brevi cicli pilota, con circuiti di feedback iterativi. Ciò consente un'innovazione più rapida e un migliore allineamento con i panorami tecnologici in rapida evoluzione.

Tra le principali evoluzioni organizzative figurano:

- **Passaggio da reparti compartimentalizzati a una collaborazione interfunzionale**, che coinvolge i team IT, operativi, di manutenzione e di dati.
- **Sviluppo di modelli di progetto agili**, basati su una rapida sperimentazione e scalabilità.
- **Maggiore utilizzo di piattaforme digitali**, che consentono trasparenza e coordinamento tra i team.
- **Ruoli di leadership più forti nella gestione del cambiamento**, in cui i dirigenti fungono da facilitatori dell'adozione del digitale.

Dal caso studio dei Paesi Baschi, è emerso che la trasformazione a livello organizzativo comprende l'emergere di ruoli ibridi che colmano il divario tra funzioni tradizionalmente separate nei settori della manutenzione, dell'automazione e della qualità. L'automazione non è più isolata, ma interconnessa con piattaforme di produzione e di dati più ampie, che impongono ai dipendenti di navigare tra interfacce uomo-macchina e protocolli di comunicazione.



Questa convergenza dei ruoli comporta nuove dinamiche collaborative, in cui i professionisti devono lavorare oltre i confini tradizionali e impegnarsi attivamente con sistemi integrati. Inoltre, l'adozione di processi decisionali basati sui dati ha reso l'analisi in tempo reale centrale per le operazioni quotidiane.

Le imprese appaltano sempre più spesso all'esterno servizi relativi all'IA, alla sicurezza informatica e alla manutenzione predittiva, evidenziando la crescente necessità di ruoli interni con competenze digitali. Tali professionisti possono non essere esperti tecnici approfonditi, ma devono possedere conoscenze di base sufficienti per garantire una comunicazione fluida con i fornitori esterni di tecnologia. La loro funzione è quella di tradurre le innovazioni tecnologiche in pratiche operative in linea con le esigenze interne e gli obiettivi strategici dell'organizzazione.

Un cambiamento particolarmente significativo è l'emergere di nuovi modelli di business come il Maintenance-as-a-Service (MaaS). Reso possibile dalla PdM, questo modello consente ai fornitori di offrire garanzie di uptime delle apparecchiature o contratti basati sulle prestazioni, ridefinendo le relazioni tra clienti e fornitori:

- La manutenzione diventa un **servizio a valore aggiunto**, non solo una voce di costo.
- I produttori evolvono verso **modelli orientati ai servizi**, con diagnostica predittiva integrata in remoto.
- Questa trasformazione supporta **flussi di entrate ricorrenti e partenariati più stretti con i clienti**.

Tuttavia, tali cambiamenti non sono privi di sfide. Dalla relazione SCM sono stati individuati diversi **ostacoli organizzativi alla trasformazione**:

- **Questioni relative all'integrazione tecnologica**, in particolare nelle PMI con sistemi legacy.
- **Preoccupazioni in materia di sicurezza informatica**, esacerbate da una maggiore esposizione digitale.
- **Resistenza al cambiamento**, soprattutto tra i lavoratori più anziani o più esperti.
- **Vincoli finanziari**, che limitano la capacità delle PMI di investire in infrastrutture o talenti.

Nonostante questi ostacoli, le organizzazioni di successo sono quelle che gestiscono proattivamente il cambiamento sviluppando capacità interne e promuovendo una **cultura dell'apprendimento, della fiducia nei dati e della sperimentazione**.

3.3.3. IMPATTO SULLA FORZA LAVORO

L'adozione tecnologica va di pari passo con una trasformazione del lavoro. La PdM e l'SCM 4.0 richiedono **nuovi ruoli, nuove competenze e nuove mentalità**.

Nella **PdM**, i professionisti della manutenzione si stanno allontanando da compiti puramente meccanici per dedicarsi al **monitoraggio, all'analisi e alla strategia**. I tecnici tradizionali sono sempre più spesso chiamati a interpretare i dati dei sensori, comprendere i modelli statistici e lavorare fianco a fianco con i sistemi IT.

Questo cambiamento comporta:

- La **trasformazione dei ruoli**, con la nascita di figure quali analisti di PdM o di strategisti di manutenzione digitale.
- L'**integrazione delle competenze IT e OT**, poiché i tecnici devono ora interagire con i software di monitoraggio delle condizioni e gli strumenti di IA.
- La **formazione incrociata tra reparti**, promuovendo la collaborazione tra i team di manutenzione, dati e ingegneria.



Parallelamente, lo studio sui Paesi Baschi ha rivelato una crescente domanda di profili professionali ibridi che combinano le competenze tecniche tradizionali con le competenze digitali. Per esempio:

- I tecnici di controllo qualità dovrebbero ora combinare le competenze in materia di ispezione con la gestione digitale e dei dati, utilizzando sistemi di visione digitale, scanner 3D e strumenti di verifica digitali.
- Gli operatori CNC interagiscono sempre più spesso con i sistemi MES ed ERP, eseguono regolazioni dei programmi e applicano tecniche di analisi dei dati, compresa la manutenzione predittiva.

Nell'**SCM**, i cambiamenti nella forza lavoro rispecchiano questi sviluppi. L'inserimento manuale dei dati e la pianificazione basata su regole sono sempre più automatizzati. I dipendenti ora supervisionano i risultati degli algoritmi, gestiscono eccezioni complesse e forniscono input strategici alle decisioni di pianificazione.

La relazione SCM individua diversi impatti significativi sulla forza lavoro:

- **Emergere di ruoli ibridi**, come gli analisti della catena di approvvigionamento con competenze digitali e operative.
- **Crescente domanda di alfabetizzazione in materia di dati e sistemi**, anche in ruoli tradizionalmente non tecnici.
- **Maggiore necessità di consapevolezza in materia di sicurezza informatica**, data la sensibilità dei sistemi connessi.
- **Maggiore enfasi sulle curve di apprendimento e sulla formazione continua**, dato che le tecnologie evolvono più rapidamente dei programmi di studio esistenti.

Tuttavia, molte imprese, in particolare le PMI, si trovano ad affrontare gravi sfide:

- Il **divario di competenze digitali e la carenza di talenti** limitano la loro capacità di adottare efficacemente gli strumenti di SCM 4.0.
- Il **disallineamento tra i programmi di formazione e i sistemi** del mondo reale compromette il ritorno sugli investimenti.
- La **resistenza dei dipendenti all'automazione**, spesso legata al timore di perdere il posto di lavoro o all'eccessiva complessità dello stesso, crea attriti.

Per avere successo in questo nuovo ambiente, i lavoratori devono sviluppare sia **competenze tecniche** che competenze **trasversali**:

Le principali competenze tecniche e analitiche includono:

- Analisi e visualizzazione dei dati (ad esempio utilizzando dashboard).
- Comprensione degli algoritmi predittivi e dei modelli di errore.
- Familiarità con le piattaforme cloud e gli strumenti diagnostici.

Le competenze trasversali critiche includono:

- Adattabilità e apprendimento continuo.
- Lavoro di squadra tra i reparti.
- Comunicazione efficace dei risultati tecnici.

Tali risultati evidenziano l'urgenza per le imprese di integrare **lo sviluppo della forza lavoro e la gestione del cambiamento** nelle loro strategie digitali.



3.4. ADOZIONE E MATURITÀ NELLE PMI

L'adozione di tecnologie avanzate e il contributo alla transizione verde precedentemente descritti sta accelerando nelle PMI. Tuttavia, tale processo rimane disomogeneo e permangono una serie di ostacoli operativi, culturali e strategici. Questa sezione presenta una sintesi dei livelli di adozione, dei principali vincoli e delle relative implicazioni per lo sviluppo delle competenze.

I dati e le cifre qui presentati sono tratti dagli studi citati nelle tre relazioni, nonché da sondaggi dedicati condotti tra le PMI.

3.4.1. LIVELLI DI ADOZIONE ATTUALI E CIFRE CHIAVE

In generale, le PMI riconoscono sempre più il valore strategico delle tecnologie di PdM e SCM 4.0. Le loro motivazioni derivano sia da fattori interni (come una maggiore efficienza e riduzione dei costi) sia da pressioni esterne (requisiti di conformità, aspettative dei clienti e integrazione della catena di approvvigionamento).

3.4.1.1. PUNTI SALIENTI DELL'ADOZIONE DELLA PDM:

- Il mercato globale della manutenzione predittiva mostra una crescita robusta, con il settore manifatturiero come settore di punta.
 - Sebbene la relazione PdM rilevi che nel 2018 l'81% delle imprese stava investendo in approcci predittivi, di cui il 40% che li ha definiti una priorità strategica, le pratiche più comuni continuano ad essere la manutenzione a tempo o quella curativa.
 - Dal 2017 l'interesse di ricerca nei confronti della PdM è triplicato, superando altre ricerche relative alla manutenzione, il che ne indica la crescente importanza come soluzione industriale indispensabile.
 - Il metodo di PdM più utilizzato è il monitoraggio delle vibrazioni (28% delle implementazioni).
- I risultati del sondaggio indicano che, sebbene le PMI riconoscano l'importanza della manutenzione predittiva (PdM) per migliorare l'efficienza e la competitività, la sua adozione rimane in una fase iniziale di esplorazione per molte imprese.
- Alcune aziende all'avanguardia hanno implementato sistemi di PdM pilota, in particolare per quanto riguarda le risorse critiche.

3.4.1.2. PUNTI SALIENTI DELL'ADOZIONE DELL'SCM:

- I risultati del sondaggio rivelano ampie differenze nella maturità digitale, dalle reti logistiche altamente connesse ai flussi di lavoro manuali basati su Excel.
- Solo una piccola percentuale di PMI ha adottato strategie SCM integrate, digitali e verdi: il 3% delle PMI nell'UE dimostra un'elevata intensità digitale, rispetto al 98% delle grandi imprese.
- Il 64% delle PMI riferisce difficoltà nell'analisi dei propri dati operativi e il 74% ritiene di non generare valore sufficiente dagli attuali investimenti digitali.
- I risultati del sondaggio sulle PMI indicano che le funzioni di esecuzione e pianificazione sono quelle che più frequentemente vengono digitalizzate. Tuttavia, le funzioni di previsione, S&OP e MPS mostrano un livello di integrazione inferiore, soprattutto nelle imprese più piccole.
- L'adozione specifica dell'SCM si concentra nell'esecuzione e nella pianificazione, utilizzando strumenti quali l'IA, l'IoT e l'informatica basata sul cloud.
- Le funzioni di previsione e S&OP sono poco sviluppate, soprattutto nelle piccole imprese.



3.4.2. OSTACOLI E VINCOLI

Sebbene il valore aggiunto delle tecnologie di PdM e SCM 4.0 sia ampiamente riconosciuto dalle PMI, **la natura e l'intensità degli ostacoli alla loro adozione differiscono** leggermente tra questi due settori.

3.4.2.1. LIMITI FINANZIARI

Per la **PdM**, gli ostacoli finanziari sono spesso legati a:

- L'**elevato costo iniziale** dei sensori, delle apparecchiature di monitoraggio, delle piattaforme di analisi e dell'integrazione nelle infrastrutture di manutenzione esistenti.
- La necessità di **servizi specializzati o consulenti esterni**, il che aumenta i costi operativi in assenza di capacità interne. Anche con i modelli cloud o "*as-a-service*", i costi operativi correnti continuano a destare preoccupazione.
- La scarsa consapevolezza o l'accesso limitato a **finanziamenti mirati** per l'innovazione PdM – molte PMI non sono ancora a conoscenza delle sovvenzioni disponibili o hanno difficoltà ad accedervi.

Nel caso dell'**SCM**, gli ostacoli finanziari derivano da:

- Il **costo cumulativo della digitalizzazione di svariate funzioni** (ad esempio acquisti, inventario, logistica), che può rendere necessaria la revisione delle piattaforme o la migrazione al cloud.
- La mancanza di visibilità del ritorno sull'investimento a causa del **sottoutilizzo degli strumenti digitali**: molte PMI investono in estensioni ERP o dashboard, ma non riescono ad adottarli pienamente.
- La difficoltà a giustificare investimenti per **componenti di transizione verde**, quali il monitoraggio delle emissioni di carbonio o la logistica circolare, in assenza di guadagni a breve termine.

In entrambi i settori:

- La limitata capacità di investimento delle PMI, che spesso operano in condizioni di flusso di cassa limitato, rimane un ostacolo importante. Anche i modelli "*pay-as-you-go*" o "*as-a-service*" sono talvolta percepiti come spese ricorrenti rischiose.
- Molte PMI non hanno accesso a finanziamenti pubblici o a investimenti privati, il che rallenta l'adozione delle tecnologie.

3.4.2.2. OSTACOLI TECNICI

Nella **PdM** le sfide tecniche sono spesso legate a:

- **Difficoltà di integrazione**: collegare sensori e sistemi di dati moderni a macchinari più vecchi o a strumenti CMMS diversi.
- **Problemi di interoperabilità**: formati di dati o interfacce macchina incompatibili ostacolano un monitoraggio senza soluzione di continuità.
- **Rischi per la sicurezza informatica**: la maggiore connettività apre nuove vulnerabilità, soprattutto nei dispositivi edge non sorvegliati.

Nell'**SCM**, gli ostacoli tecnici sono:

- Sistemi legacy che non supportano la collaborazione in tempo reale o l'automazione.
- Difficoltà nel **collegare i sistemi di pianificazione alle operazioni**, ad esempio l'integrazione delle dashboard d'inventario con i dati effettivi di magazzino o di trasporto.



- Mancanza di qualità dei dati e di quadri di governance, con conseguenti carenze o ritardi nel processo decisionale.

In entrambi i settori:

- L'**assenza di solide strutture interne di supporto IT** aggrava gli ostacoli tecnici. Le PMI dipendono spesso da personale generico o dal supporto di terzi, il che ritarda la risoluzione dei problemi e l'innovazione.
- La sicurezza informatica è una preoccupazione trasversale: il 100% delle medie imprese e il 60% delle piccole imprese la considerano "critica", esacerbata dalle limitate competenze interne.
- L'esistenza di **infrastrutture IT legacy complesse e frammentate** ostacola l'integrazione delle soluzioni di PdM / SCM.

3.4.2.3. OSTACOLI ORGANIZZATIVI E STRATEGICI

Per la **PdM**, gli ostacoli organizzativi comprendono:

- **Mancanza di una strategia di manutenzione digitale**, che porta a iniziative pilota frammentate o isolate.
- **Scarsa visibilità del valore della PdM** a livello dirigenziale, che la fa scendere nella lista delle priorità.
- Riluttanza ad abbandonare gli approcci tradizionali preventivi o reattivi, soprattutto da parte dei tecnici con maggiore esperienza.

Nell'**SCM**, gli ostacoli strategici tendono ad essere più trasversali:

- **Mancanza di una roadmap digitale unificata** tra i vari reparti, che si traduce in un'adozione frammentaria e non coordinata.
- Resistenza da parte del personale abituato a Excel o ai sistemi cartacei, in particolare nei ruoli logistici e di approvvigionamento.
- Disallineamento tra le ambizioni di una catena di approvvigionamento verde e le decisioni operative quotidiane, spesso **a causa della mancanza di allineamento strategico**.
- Molte PMI non dispongono di figure come il responsabile dei dati (*Chief Data Officer*), il titolare del processo SCM (*SCM Process Owner*) o il responsabile della sicurezza informatica (*IT Security Officer*), il che limita la capacità di innovazione interna.

In entrambi i settori, la **resistenza culturale al cambiamento** e la mancanza di leadership nella trasformazione digitale sono problemi ricorrenti. Gli sforzi digitali sono spesso guidati da singoli promotori isolati, senza un più ampio sostegno organizzativo.

3.4.2.4. FABBISOGNO DI COMPETENZE

Ciascuno dei limiti sopra indicati sottolinea la crescente necessità di nuove competenze e capacità.

Tali **carenze di competenze** possono essere **multidimensionali**, interessando sia i lavoratori in prima linea che le organizzazioni di gestione.

Sulla base delle tre relazioni PdM, SCM e BC, stiamo consolidando i risultati al fine di condividerli con il *Work Package 5*, responsabile della formazione in LCAMP. Individuando le competenze chiave specifiche per ciascun settore, questo WP potrà attingere ai dati per supportare le proprie attività. La collaborazione tra i diversi WP è un aspetto fondamentale del progetto LCAMP.

Nella tabella completa, disponibile nell'allegato 1, è possibile trovare:

- **44 voci** che descrivono abilità, competenze e attitudini.
- **9 diverse professioni**.
- La categorizzazione più comune è "**Competenza**", seguita da "Abilità" e "Attitudine".



- Sono individuati **4 tipi distinti di abilità**, per riflettere la diversità delle capacità necessarie: alfabetizzazione in materia di IA, digitale, professionale e trasversale.
- L'analisi evidenzia una forte enfasi sulle **competenze in materia di IA e sicurezza informatica** in tutti i settori.

Qui è riportato un estratto che riflette il tipo di informazioni disponibili nell'allegato 1:

Tabella 1 – Fabbisogno di competenze (estratto)

Area di competenza LCAMP	Categorizzazione	Sottocategorie raccomandate nel quadro LCAMP	Professione / Origine della relazione	Abilità / Competenza / Attitudine
Alfabetizzazione IA	Competenza	Competenza digitale critica	Manutenzione predittiva (PdM)	IA di base o <i>machine learning</i> – Conoscenza di base dei modelli di IA/ML
	Abilità	Visione informatica	Tecnico per il controllo qualità (BC)	Visione informatica e CNN per la rilevazione di difetti – Applicazione delle reti neurali per il controllo qualità automatizzato
Digitale	Attitudine	Sicurezza informatica	Gestione della catena di approvvigionamento (SCM)	Consapevolezza in materia di sicurezza informatica – Consapevolezza in materia di IT
		Problem solving	Manutenzione predittiva (PdM)	Risoluzione dei problemi (manutenzione) – Pensiero analitico per un processo decisionale basato sui dati
	Competenza	Design di sistema	Tecnico per la robotica dell'automazione (BC)	Integrazione della robotica industriale – Collegamento dei robot ai sistemi delle linee di produzione
		Alfabetizzazione dei dati	Manutenzione predittiva (PdM)	Interpretazione dei dati dei sensori – Capacità di leggere e utilizzare i dati dei sensori IoT
	Abilità	ICT	Tecnico per la robotica dell'automazione (BC)	Protocolli di comunicazione (OPC-UA, Ethernet) – Applicazione di norme in materia di comunicazione industriale
			Operatore CNC (BC)	Interfacce digitali e HMI – Uso di controlli touchscreen su macchine CNC
			Tecnico della manutenzione (BC)	Installazione e configurazione di sensori industriali IoT – Allestimento di sensori connessi per la raccolta dei dati
			Tecnico della manutenzione (BC)	Troubleshooting della connettività dei dati nelle reti IoT – Risoluzione dei problemi di comunicazione nei sistemi connessi
		Alfabetizzazione dei dati	Tecnico per il controllo qualità (BC)	Funzionamento dei sistemi di ispezione digitali – Uso di apparecchiature automatizzate di misurazione e test
			Operatore CNC (BC)	Integrazione dei sistemi MES/ERP – Collegamento delle operazioni di lavorazione con i sistemi aziendali



			Tecnico della manutenzione (BC)	Uso di piattaforme basate sul cloud per monitorare le prestazioni delle macchine – Accesso a sistemi di monitoraggio da remoto
		Manifattura digitale	Operatore CNC (BC)	Uso di software CAD/CAM – Uso di programmi informatici per la progettazione e la manifattura
Trasversali	Attitudine	Comunicazione	Gestione della catena di approvvigionamento (SCM)	Comunicazione e coordinamento – Apertura e volontà di abbracciare la trasformazione digitale
		Flessibilità / Agilità	Manutenzione predittiva (PdM)	Adattabilità – Volontà di adattarsi all'evoluzione dei ruoli/delle tecnologie
	Competenza	Collaborazione / Lavoro di squadra	Manutenzione predittiva (PdM)	Collaborazione – Collaborazione tra reparti (manutenzione, operazioni IT)
		Pensiero critico	Gestione della catena di approvvigionamento (SCM)	Pensiero strategico – Comprensione olistica delle catene di approvvigionamento complesse
	Abilità	Collaborazione / Lavoro di squadra	Competenze trasversali (BC)	Collaborazione tra ruoli – Capacità di lavorare efficacemente con team multidisciplinari in ambienti digitali
		Comunicazione	Competenze trasversali (BC)	Comunicazione e coordinamento – Condividere chiaramente le informazioni tra vari reparti e turni
		Flessibilità / Agilità	Competenze trasversali (BC)	Adattarsi alle tecnologie emergenti – Volontà di apprendere e utilizzare nuovi strumenti tecnologici
		Problem solving	Competenze trasversali (BC)	Problem solving e processo decisionale – Analisi delle situazioni e adozione di decisioni tecniche efficaci
		Miglioramento continuo	Competenze trasversali (BC)	Mentalità di miglioramento continuo – Individuazione delle opportunità di ottimizzazione nei processi di manifattura digitale
Professional e	Competenza Abilità	Progettazione di sistema	Tecnico della robotica dell'automazione (BC)	Integrazione della robotica industriale – Collegamento dei robot ai sistemi di linee di produzione
		Progettazione di sistema	Tecnico della robotica dell'automazione (BC)	Configurazione dei sistemi di visione – Allestimento di telecamere ed elaborazione di immagini per la guida e l'automazione dei robot

È essenziale coltivare una cultura dell'apprendimento. Le PMI devono non solo formare all'uso degli strumenti, ma anche promuovere ambienti in cui la curiosità, il feedback e la sperimentazione digitale siano normalizzati.

3.4.3. VARIAZIONI REALI: ESEMPI DEI PAESI BASCHI

La relazione BC conferma variazioni significative nell'adozione tra i vari settori e regioni:



- Negli ecosistemi digitalmente avanzati, le PMI si interfacciano con piattaforme condivise, hub regionali e fornitori di servizi per le capacità di PdM e SCM.
- In altri casi, l'adozione è frammentata o superficiale e dipende più da requisiti esterni che da una strategia interna.

Queste differenze evidenziano l'importanza dei sistemi di innovazione territoriale, che aiutano le PMI a superare i vincoli strutturali attraverso la sperimentazione e l'apprendimento collaborativi.

3.5. TENDENZE FUTURE – RACCOMANDAZIONI STRATEGICHE

Le transizioni digitale e verde continuano a rimodellare il panorama industriale per le PMI. Le tendenze future e le raccomandazioni che emergono dalle tre relazioni evidenziano i progressi tecnologici, i nuovi modelli organizzativi e gli orientamenti strategici che le PMI e gli attori dell'ecosistema dovrebbero adottare. Sebbene i settori osservati condividano direzioni comuni, le loro traiettorie specifiche differiscono in base alla logica operativa e all'applicazione tecnologica.

3.5.1. DIREZIONI FUTURE DELLA MANUTENZIONE PREVENTIVA (PDM)

La relazione PdM sottolinea l'importanza di sviluppare strategie scalabili, incentrate sulle persone e basate sulle prestazioni, per rendere la manutenzione predittiva più accessibile e incisiva in tutte le PMI.

- Ampliare l'accesso al sostegno finanziario e all'adozione della tecnologia:
Molte PMI sono ancora riluttanti ad adottare la PdM a causa dei costi, dei rischi o della complessità. La relazione raccomanda azioni concrete per ridurre gli ostacoli finanziari e tecnici:
 - Facilitare gli incentivi finanziari e l'accesso a tecnologie PdM a prezzi abbordabili, in particolare attraverso partenariati pubblico-privato o programmi a livello dell'UE.
 - Promuovere modelli PdM-as-a-Service scalabili e basati sul cloud per ridurre le spese in conto capitale e abbassare la soglia di adozione.
 - Incoraggiare piattaforme dimostrative collaborative in cui le PMI possano osservare e testare le applicazioni reali delle soluzioni PdM.
- Investire nella formazione della forza lavoro e nello sviluppo delle competenze digitali:
Il capitale umano rimane un fattore critico di successo per la PdM. La relazione sottolinea la necessità di allineare la formazione all'evoluzione delle pratiche di manutenzione:
 - Ampliare la formazione sulle competenze digitali e sull'analisi della manutenzione, in particolare tra i tecnici e gli operatori.
 - Collaborare con i centri di istruzione e formazione professionale (IFP) per integrare i moduli specifici per la PdM nei programmi di studio.
 - Incoraggiare approcci che favoriscano l'apprendimento lungo tutto l'arco della vita e le competenze trasversali per allineare i team di manutenzione agli strumenti in evoluzione (ad esempio, diagnostica assistita dall'IA, monitoraggio a distanza).
- Ottimizzare le strategie di PdM per la competitività a lungo termine:
Per generare valore a lungo termine, la PdM deve andare oltre i casi d'uso isolati e diventare un pilastro della gestione strategica degli asset:
 - Passare da casi isolati di uso di PdM a piani di trasformazione strategica della manutenzione a livello aziendale.



- Integrare la governance dei dati e i protocolli di sicurezza informatica nella progettazione del sistema PdM.
- Tracciare e ottimizzare i KPI della PdM per dimostrarne il valore per l'azienda e l'impatto sulla sostenibilità nel corso del tempo.

3.5.2. PROSPETTIVE FUTURE E RACCOMANDAZIONI PER L'SCM 4.0

La relazione SCM presenta una visione olistica per la digitalizzazione della catena di approvvigionamento che pone l'accento sulla trasparenza, il partenariato e l'allineamento strategico alle aspettative dei clienti e dell'ambiente.

- Costruire fiducia, trasparenza e condivisione delle informazioni:
Man mano che le catene di approvvigionamento diventano più digitali e decentrate, la relazione SCM sottolinea il ruolo fondamentale della fiducia:
 - La digitalizzazione (ad esempio, le piattaforme di gestione dei rapporti con i fornitori) dovrebbe essere utilizzata non solo per l'automazione, ma anche per consentire una comunicazione aperta e tracciabile tra i partner.
 - Occorre promuovere meccanismi di rafforzamento della fiducia, quali ad esempio strumenti collaborativi, dashboard condivise e piattaforme di co-innovazione.
 - Le PMI dovrebbero essere aiutate a bilanciare l'efficienza tecnologica con l'interazione umana personalizzata, al fine di sostenere la lealtà e la cooperazione a lungo termine.
- Raccomandazioni strategiche (10 azioni chiave):
Per orientarsi nella trasformazione digitale e nella complessità globale, la relazione propone un quadro strutturato con dieci leve attuabili:
 - Digitalizzare gli acquisti e la gestione delle relazioni con i fornitori – Implementare piattaforme collaborative e strumenti modulari, come ad esempio l' Equipment-as-a-Service (Attrezzatura come servizio - EaaS), per aumentare la trasparenza e la reattività.
 - Sfruttare gli strumenti digitali per promuovere la trasparenza – Creare dimostratori regionali di SCM 4.0 e utilizzare la blockchain o l'IA per flussi di informazioni aperti.
 - Rafforzare la governance dei dati e la sicurezza delle informazioni – Garantire uno scambio di dati sicuro e conforme fra tutti i partner della catena di approvvigionamento;
 - Allineare i servizi dei fornitori alle aspettative dei clienti – Utilizzare feedback loop digitali per adattarsi all'evoluzione delle esigenze dei clienti.
 - Bilanciare l'efficienza digitale con il coinvolgimento umano – Dare priorità all'intelligenza emotiva, alle capacità negoziali e alla fiducia nelle interazioni mediate digitalmente;
 - Promuovere una cultura del partenariato collaborativo – Passare da modelli transazionali a quelli di partnership, enfatizzando il valore condiviso e la co-innovazione.
 - Investire nell'aggiornamento delle competenze della forza lavoro e nelle capacità relazionali – Fornire competenze di logistica digitale, pianificazione e capacità relazionali attraverso i partner dell'IFP e l'apprendimento ibrido.
 - Rafforzare il supporto alla gestione del cambiamento – Offrire servizi di diagnostica, consulenza e agevolazione del cambiamento per sostenere le PMI nella trasformazione;
 - Integrare il digitale nelle strategie verdi – Integrare i KPI in materia di sostenibilità nei progetti digitali (ad esempio emissioni Scope 3, logistica circolare).
 - Condurre regolari verifiche della fiducia e dei rapporti – Valutare la maturità della collaborazione e affrontare i rischi emergenti nelle relazioni con i fornitori.

3.5.3. STRATEGIE DI TRASFORMAZIONE DIGITALE PER LA MANIFATTURA AVANZATA: APPROFONDIMENTI DAI PAESI BASCHI

La relazione sui Paesi Baschi fornisce preziose indicazioni sulle realtà pratiche della trasformazione digitale nella Manifattura Avanzata, evidenziando sia le sfide che le opportunità per



lo sviluppo delle PMI. L'analisi rivela che la resistenza umana ai cambiamenti rimane il principale ostacolo alla trasformazione digitale, superando persino la complessità tecnologica e i vincoli finanziari. Le imprese si stanno evolvendo verso profili di forza lavoro ibridi che richiedono sia competenze tecniche tradizionali che competenze digitali. Questo cambiamento è particolarmente evidente in professioni quali il tecnico di manutenzione, il tecnico dell'automazione, l'operatore CNC e il tecnico di qualità, dove le competenze digitali sono sempre più essenziali per le prestazioni lavorative e lo sviluppo della carriera.

Sulla base di tali risultati emergono diverse strategie chiave per le imprese che intraprendono il loro percorso di trasformazione digitale:

- Implementare strategie di gestione del cambiamento incentrate sulle persone che affrontino l'adattamento culturale insieme alla formazione tecnica.
- Sviluppare ruoli interni per i dipendenti dotati di conoscenze digitali, provenienti dai programmi di IFP, in grado di collegare le operazioni tradizionali con le tecnologie emergenti e fungere da intermediari efficaci con i fornitori esterni di tecnologie, come gli specialisti in materia di IA e gli esperti di manutenzione predittiva.
- Adottare approcci gradualisti per l'adozione tecnologica utilizzando finanziamenti pubblici e progetti collaborativi per esplorare le tecnologie emergenti in ambienti a basso rischio.
- Riconoscere il valore strategico dei centri di IFP dei Paesi Baschi nel guidare la trasformazione digitale, contribuendo attivamente ai progetti di innovazione applicata e fornendo un sostegno fondamentale per l'aggiornamento e la riqualificazione della forza lavoro.

3.5.4. PRIORITÀ CONDIVISE PER LA TRASFORMAZIONE A LUNGO TERMINE DELLE PMI

Nonostante gli approcci specifici per ogni settore, dalle tre relazioni emergono diverse priorità trasversali:

- L'accessibilità finanziaria è essenziale: che si tratti di sensori, software o consulenza, le PMI hanno bisogno di punti di accesso più semplici attraverso sovvenzioni, leasing o servizi condivisi.
- La trasformazione della forza lavoro è fondamentale: le competenze digitali e trasversali devono essere sviluppate in parallelo. Per l'SCM ciò include il pensiero sistemico, la gestione della fiducia e l'alfabetizzazione in materia di IA. Per la PdM ciò significa monitoraggio delle condizioni, diagnostica e analisi predittiva.
- Integrazione degli obiettivi digitali e verdi: le strategie future devono includere considerazioni ambientali, quali l'efficienza energetica, la riduzione dei rifiuti o il monitoraggio delle emissioni di carbonio.
- Il fattore umano rimane centrale: che si tratti di manutenzione o dei rapporti con la catena di approvvigionamento, la trasformazione dipende dalla leadership, dalla collaborazione e dall'adozione da parte degli utenti.



4. TENDENZE DELLA TRANSIZIONE DIGITALE E VERDE E IMPATTO SUI CENTRI DI IFP

Il presente capitolo presenta una sintesi dei principali risultati relativi all'impatto della transizione verde e digitale sui centri di formazione, come indicato nelle tre relazioni elaborate (PdM, SCM e BC). L'analisi si basa su una revisione della letteratura, nonché sui risultati dei sondaggi e delle interviste condotti nel quadro di tali relazioni.

4.1. SFIDE E OPPORTUNITÀ PER I CENTRI DI IFP

4.1.1. INTRODUZIONE

La transizione verde e digitale sta determinando una profonda trasformazione dell'industria, che richiede ai centri di formazione di adattare i loro programmi e le loro strategie. Data la rapidità dei cambiamenti, è essenziale che tali centri rimangano aggiornati per fornire ai discenti le competenze richieste dal mercato del lavoro. La sezione seguente illustra le principali opportunità e sfide poste da questa transizione.

4.1.2. RAFFORZARE LE COLLABORAZIONI CON I PARTNER INDUSTRIALI

In risposta alla necessità di rimanere in linea con le esigenze del settore produttivo, i centri di formazione ricercano sempre più spesso la collaborazione diretta con l'industria. Molte istituzioni dispongono già di reti di partner commerciali che sostengono l'integrazione di esperienze pratiche nei loro programmi, come la formazione duale, i tirocini e i progetti comuni.

Tale tendenza è stata confermata dai sondaggi condotti: nei settori della PdM e dell'SCM, la maggior parte dei centri di formazione intervistati ha privilegiato i partenariati con le imprese rispetto alle collaborazioni con altri centri di formazione, al fine di allineare i propri programmi alle esigenze reali e attuali dell'industria.

L'allineamento dei centri di IFP con i partner industriali attraverso una maggiore collaborazione rimane essenziale per far sì che i programmi di formazione corrispondano alle reali esigenze del mondo del lavoro. Attraverso una più stretta collaborazione è possibile sviluppare congiuntamente i percorsi di apprendimento, integrare le tecnologie emergenti nei programmi di studio e rispondere meglio all'evoluzione del fabbisogno di competenze. L'incontro tra studenti di centri IFP e partner industriali porta a una migliore comprensione reciproca, aumenta le capacità di innovazione e prepara gli studenti a partecipare attivamente alla trasformazione digitale e industriale dell'impresa.

4.1.3. FORMAZIONE PER I FORMATORI

Uno dei risultati più significativi del sondaggio SCM è stato l'identificazione dei principali ostacoli all'integrazione delle tecnologie digitali emergenti 4.0 nei centri di formazione. La maggior parte



degli intervistati ha indicato come principale ostacolo la mancanza di formazione per i formatori, seguita dai costi elevati associati alla transizione.

Questo problema non riguarda solo un singolo paese, ma interessa i settori industriali di tutta Europa. La relazione "*Tensions on Workforce and Skills in Industry and Associated Training Schemes*" (Tensioni sulla forza lavoro e sulle competenze nell'industria e relativi programmi di formazione) evidenzia già questa lacuna in Francia, dove vi è una necessità riconosciuta e urgente di rafforzare la formazione degli insegnanti. Analogamente, un centro di formazione in Turchia, intervistato nello studio SCM, ha dichiarato: "Il Ministero dovrebbe rendere obbligatoria la formazione dei docenti in materia di transizione digitale e verde per tutti i centri di istruzione professionale."

I Paesi Baschi hanno introdotto programmi di formazione per i formatori IFP al fine di mantenere aggiornate le conoscenze del personale docente sui moderni sviluppi industriali, sui metodi educativi e sui progressi tecnologici. I programmi si concentrano sull'insegnamento sia delle competenze tecniche che dei moderni metodi educativi, che includono approcci di apprendimento ibridi e basati su progetti. Le iniziative attuali necessitano di essere estese, sistematizzate e rese più accessibili, così da ottenere formatori pienamente preparati a gestire ambienti industriali intelligenti e connessi.

4.1.4. AUTONOMIA DEI CENTRI DI FORMAZIONE

Un'altra sfida importante per i centri di formazione è quella di adattarsi alle nuove tendenze, pur avendo un'autonomia limitata. In molti paesi europei, tali centri devono seguire gli orientamenti stabiliti dalle autorità superiori, come i Ministeri dell'Istruzione, che limitano la loro capacità di prendere decisioni indipendenti in merito ai programmi e ai metodi di insegnamento.

Secondo l'indagine PdM, il 44% dei centri di formazione ha dichiarato di avere un'autonomia limitata e il 36% ha descritto la propria autonomia come controllata. Analogamente, dal sondaggio SCM è emerso che solo il 29% dei centri disponeva di piena autonomia.

4.1.5. FORMAZIONE IBRIDA

La trasformazione digitale ha consentito una maggiore flessibilità e accessibilità nei percorsi di formazione, con l'aumento di modelli ibridi che combinano l'apprendimento online e quello in presenza. Questo modello non solo facilita la trasmissione di competenze tecniche, ma promuove anche il networking e l'integrazione professionale.

Inoltre, la formazione ibrida è particolarmente comoda per i lavoratori, in quanto consente loro di proseguire gli studi e di ottenere una qualifica formale pur mantenendo il posto di lavoro. Questa flessibilità rende i modelli ibridi una strategia fondamentale per sostenere l'apprendimento permanente, l'aggiornamento delle competenze e il continuo adattamento della forza lavoro all'evoluzione della domanda di ambienti industriali intelligenti e connessi.

4.1.6. DOMANDA CRESCENTE

Gli istituti di formazione devono far fronte alla crescente domanda di apprendimento specializzato e all'aumento delle iscrizioni, il che offre l'opportunità di modernizzare e diversificare i loro programmi. Un chiaro esempio di questa tendenza è stato l'avvio di un master in gestione della catena di approvvigionamento, nel 2024, in Spagna – nonostante il livello 7 dell'EQF non sia il focus della presente relazione.

I centri di IFP devono pertanto rafforzare le competenze trasversali e promuovere l'adattabilità tra gli studenti. Mentre i centri di IFP baschi applicano già metodologie di apprendimento collaborative e basate su progetti volti a sviluppare competenze tecniche e trasversali, l'importanza delle competenze trasversali è particolarmente critica nell'attuale panorama industriale in evoluzione.



Competenze quali il problem solving, la comunicazione, il lavoro di squadra, l'autonomia di apprendimento e la creatività sono sempre più apprezzate dalle imprese, in particolare nel contesto della trasformazione digitale e del cambiamento continuo. Tali competenze non solo favoriscono la versatilità professionale, ma consentono agli studenti che hanno concluso gli studi di adattarsi rapidamente alle nuove tecnologie, ai nuovi flussi di lavoro e ai modelli organizzativi.

4.1.7. SFIDE FINANZIARIE E SOLUZIONI FINANZIARIE

Una sfida fondamentale per i centri di formazione consiste nell'investire in nuove tecnologie, cosa spesso limitata da limiti finanziari. Per far fronte a questo problema, molti si affidano a fonti di finanziamento alternative. Secondo l'indagine PdM, i centri beneficiano principalmente di finanziamenti pubblici, partenariati industriali e, in misura minore, collaborazione con altri centri di IFP. Secondo il sondaggio SCM, le principali fonti di finanziamento sono i fondi pubblici e quelli provenienti dall'industria, mentre i finanziamenti interni sono limitati. In particolare, nessun centro del sondaggio SCM ha segnalato la collaborazione con altri centri di IFP. Alcuni hanno inoltre menzionato le sponsorizzazioni e i progetti dell'UE come LCAMP come validi meccanismi di sostegno.

4.1.8. NUOVE TECNOLOGIE PER LE STRATEGIE PEDAGOGICHE

Le tecnologie emergenti menzionate nella presente relazione non solo hanno influenzato il contenuto dei programmi di formazione, ma stanno anche iniziando ad avere un impatto sulle strategie e sulle risorse pedagogiche. Di seguito è riportata una breve panoramica di alcune possibili applicazioni di queste tecnologie nel settore pedagogico:

- **Intelligenza artificiale – Apprendimento personalizzato:** l'IA può adattare la formazione al ritmo e alle esigenze di ciascun discente, offrendo risorse mirate in base alle loro prestazioni.
- **Realtà virtuale e aumentata – Immersione sicura:** VR e AR possono fornire ambienti simulati per le esercitazioni pratiche, ideali per la formazione in settori tecnici senza rischi reali.
- **Piattaforme online e MOOC – Flessibilità e accesso:** questi strumenti possono facilitare l'apprendimento a distanza al proprio ritmo, ampliando l'accesso all'istruzione indipendentemente dal luogo o dall'orario.
- **Big Data e analisi delle prestazioni – Miglioramento continuo:** i big data possono essere utilizzati per analizzare i dati dei discenti, contribuendo a perfezionare i metodi di insegnamento e a migliorare costantemente i risultati della formazione.
- **Nel caso specifico del settore PdM:**
 - **MAAS nella formazione – Accesso alle tecnologie PdM tramite piattaforme cloud collaborative:** le soluzioni basate sul cloud possono consentire agli studenti di lavorare con dati reali e strumenti di manutenzione predittiva, sviluppando in tal modo competenze pratiche nell'uso di tali tecnologie.
 - **MAAS nella formazione – Uso di simulazioni e casi di reali:** l'uso di simulazioni e gemelli digitali può consentire agli studenti di esercitarsi in sicurezza con le tecniche di manutenzione predittiva, migliorando le loro competenze prima di lavorare con macchinari reali.

4.1.9. INIZIATIVE EUROPEE

La ricerca documentale ha rivelato numerose iniziative finanziate dall'UE che si concentrano sulle tendenze tecnologiche e sullo sviluppo delle competenze nella Manifattura Avanzata. I progetti hanno generato importanti materiali formativi che coprono diverse aree di competenza. La tabella che segue mostra una selezione di risorse che forniscono contenuti didattici e buone pratiche a



livello europeo che i centri di IFP e gli altri portatori di interessi principali possono utilizzare a fini di ispirazione e sostegno.

Tabella 2 – Esempi di progetti europei sulle tendenze tecnologiche e lo sviluppo delle competenze nella Manifattura Avanzata

PROGETTO	DESCRIZIONE
OPTIMAI	Migliora la qualità e l'efficienza industriali utilizzando il rilevamento dei difetti basato sull'IA, i gemelli digitali e l'AR; impartisce formazione per l'industria 4.0/5.0.
I4MS	Iniziativa europea che aiuta le PMI manifatturiere ad adottare le tecnologie digitali.
DATA.ZERO	Progetto dell'UE che promuove la produzione a zero difetti con soluzioni basate sui dati e formazione in materia di IA, IoT e apprendimento automatico.
PreMETS	Progetto Erasmus+ che migliora la formazione sulla manutenzione predittiva con strumenti, micro-credenziali e corsi Moodle gratuiti.
DRIVES	Progetto Erasmus+ a sostegno delle competenze nel settore automobilistico attraverso un MOOC sulla manutenzione, la sicurezza informatica, l'IA e la robotica.
4CHANGE	Affronta le carenze di competenze dei metalmeccanici attraverso la formazione digitale, imprenditoriale e l'apprendimento basato sul lavoro.

4.2. IMPATTO SULLA FORMAZIONE E SULLE COMPETENZE FORMATE

4.2.1. COMPETENZE FORMATE IN AMBITO PDM

Le nuove tecnologie, in misura diversa, vengono sempre più spesso incorporate nei programmi di formazione. La tabella seguente illustra esempi di programmi legati alla PdM che hanno integrato tecnologie e settori emergenti.

Tabella 3 – Nuove tecnologie e nuovi settori per la formazione in ambito PdM

TECNOLOGIA	FORMAZIONE / CORSI
Sostenibilità	- Diploma di maturità in Scienze e tecnologie dell'industria e sviluppo sostenibile (EQF 4) (Francia) - Certificato tecnico superiore in Scienze e tecnologie dell'industria e sviluppo sostenibile (EQF 5) (Francia)
Sicurezza informatica	Diploma di maturità professionale e certificato tecnico superiore in Sicurezza informatica, informatica e reti elettroniche (EQF 4) (EQF 5) (Francia)
IoT	Laurea in Ingegneria meccanica e della produzione, con specializzazione in Innovazione per l'industria (EQF 6) (Francia)
IoT e IA	Certificato tecnico superiore in Manutenzione industriale
IoT, IA, Sicurezza informatica	- Laurea professionale in Manutenzione delle apparecchiature biomediche (EQF 6) (Francia) - Laurea professionale in Manutenzione dell'industria 4.0 (EQF 6) (Francia)



IoT, IA, sicurezza informatica, sostenibilità, cloud	• Diploma di maturità professionale in Tecnico di produzione di prodotti meccanici, con specializzazione in Esecuzione e monitoraggio della produzione (EQF 4) (Francia) • Certificato tecnico superiore in Concezione del processo di sviluppo del prodotto (EQF 5) (Francia) • Certificato tecnico superiore in Progettazione e produzione di sistemi automatizzati (EQF 5) (Francia) • Laurea professionale in Progettazione e produzione di sistemi elettronici (EQF 6) (Francia) • Laurea professionale in Progettazione e miglioramento dei processi e delle procedure industriali (EQF 6) (Francia) • Certificato tecnico superiore in Progettazione di prodotti industriali (EQF 5) (Francia)
Esempi di corsi nei settori: IoT, IA, sicurezza informatica, sostenibilità, cloud	• Per la Francia: Modulo di robotica. • Per la Slovenia: Insegnamento digitale; Sostenibilità; Interfaccia utente; Uso efficiente degli strumenti; Hacking etico - Formazione pratica; Sicurezza informatica; Intelligenza artificiale nelle tecnologie dell'informazione - Formazione pratica; Intelligenza artificiale; Sistemi server; Reti informatiche avanzate; Impianti elettrici intelligenti dell'IoT; Sostenibilità; Uso efficiente e fonti energetiche rinnovabili; Sicurezza informatica, sicurezza e protezione; Sicurezza informatica e protezione dei sistemi di informazione. • Per l'Italia: Sistemi e reti; Tecnologie e progettazione di sistemi di informazione e telecomunicazione; Informatica; Telecomunicazioni; Gestione di progetto; Organizzazione aziendale.

4.2.2. COMPETENZE FORMATE IN AMBITO SCM

Anche nel settore della gestione della catena di integrazione delle nuove tecnologie sta diventando sempre più evidente. Di seguito è riportata una tabella dettagliata che illustra i programmi di formazione e le competenze relative a questo settore.

Tabella 4 – Nuove tecnologie e nuovi settori per la formazione in ambito SCM

TECNOLOGIA	CORSI DI FORMAZIONE	COMPETENZE
Sostenibilità	• Laurea triennale in Gestione della tecnologia nel settore della logistica e dei trasporti: mobilità e catena di approvvigionamento sostenibile. • Sostenibilità nella gestione della catena di approvvigionamento.	• Gestire la catena logistica e dei trasporti con particolare attenzione alla sostenibilità. • Ottimizzare l'uso delle risorse. • Attuare strategie di sviluppo sostenibile. • Integrare pratiche responsabili nella logistica e nella mobilità • Condurre audit di logistica sostenibile. • Sviluppare soluzioni innovative con criteri ambientali. • Applicare strategie di Responsabilità Sociale d'Impresa (RSI) nel settore della logistica. • Realizzare catene di approvvigionamento e di produzione sostenibili dal punto di vista sociale, ecologico ed economico. • Interpretare e applicare regolamenti quali il Supply Chain Due Diligence Act e le future direttive dell'UE, utilizzando strumenti per valutare e ottimizzare i risultati in termini di sostenibilità. • Integrare la sostenibilità nella pianificazione strategica e nella gestione operativa, affrontando l'equilibrio tra economia, ecologia e aspetti sociali. • Comprendere il quadro giuridico e le strategie per conseguire la sostenibilità a lungo termine nella catena di approvvigionamento.
Sicurezza informatica	• Qualità, logistica industriale e organizzazione, con specializzazione in organizzazione e catena di approvvigionamento • Gestione della logistica e dei trasporti, con specializzazione in mobilità e catene di	• Garantire la sicurezza informatica e la protezione dei sistemi. • Usare strumenti digitali e applicare le norme in materia di sicurezza informatica per acquisire, elaborare, produrre e diffondere informazioni. • Attuare politiche di sicurezza per la protezione dei dati conservati in un'infrastruttura cloud. • Applicare misure preventive contro intrusioni, frodi, violazioni dei dati o fughe di dati attraverso la configurazione del sistema informativo.



	approvvigionamento sostenibile • Laurea professionale in Logistica e gestione dei flussi • Tecnico per le infrastrutture e la sicurezza informatica	• Garantire il corretto funzionamento delle reti informatiche e delle telecomunicazioni dell'azienda. • Proteggere i dati relativi alla logistica. • Proteggere l'infrastruttura cloud. • Applicare strategie di sicurezza informatica. • Mitigare i rischi informatici.
IA	• Laurea triennale in Scienze e Ingegneria, con specializzazione nella manutenzione di sistemi intelligenti e connessi • Laurea triennale in Scienze e Ingegneria - Sistemi informativi (EQF 6) • Laurea triennale in Scienze e Ingegneria - Tecnologia informatica e sistemi digitali (EQF 6) • Coordinatore di progetti informatici (infrastrutture, applicazioni o dati cloud) (EQF 6) • Logistica e intelligenza artificiale	• Ottimizzare la manutenzione predittiva, la robotica, la meccatronica e la gestione della manutenzione assistita da computer. • Elaborare e analizzare i dati per estrarre informazioni strategiche e comunicarle ai colleghi per facilitare il processo decisionale. • Elaborare e sintetizzare dati. • Sviluppare e gestire database. • Integrare l'IA nello sviluppo delle applicazioni. • Progettare e ottimizzare soluzioni di IA per l'industria. • Organizzare e gestire progetti di IA. • Sviluppare strumenti di IA. • Effettuare analisi predittive dei dati utilizzando l'IA. • Automatizzare i processi logistici con la robotica e l'RPA • Gestire i dati utilizzando i big data. • Applicare l'analisi predittiva per anticipare la domanda. • Ottimizzare i percorsi di consegna utilizzando algoritmi avanzati e attuare strategie di sicurezza informatica nei sistemi automatizzati. • Applicare principi etici nell'utilizzo dell'IA. • Massimizzare l'efficienza operativa e garantire il ritorno sugli investimenti, con una visione verso la logistica 4.0 e il futuro dell'automazione nel settore.
Cloud computing	• Coordinatore di progetti informatici (infrastrutture, applicazioni o dati cloud)	• Orchestrare l'infrastruttura cloud. • Gestire la sicurezza delle informazioni. • Implementare e mantenere servizi di cloud computing. • Attuare politiche di sicurezza per proteggere i dati conservati in un'infrastruttura cloud.
Blockchain	• Responsabile di progetto di soluzioni blockchain (EQF 6)	• Progettare, codificare e migliorare sistemi specifici per la blockchain utilizzando linguaggi di programmazione appropriati quali Solidity, C++ o JavaScript. • Sviluppare applicazioni e framework web. • Analizzare le esigenze dei clienti e implementare architetture blockchain solide e sicure. • Applicare conoscenze avanzate in materia di blockchain e crittografia. • Creare soluzioni innovative in vari settori, quali la finanza, la logistica e l'assistenza sanitaria. • Gestire i progetti blockchain, garantendo un coordinamento efficace per conseguire gli obiettivi e rispondere alle esigenze dei clienti. • Fornire soluzioni tecnicamente affidabili e scalabili.
IoT	• Progettista e integratore di soluzioni IoT	• Implementare architetture di dispositivi connessi che consentano loro di inviare, ricevere ed elaborare segnali, informazioni o istruzioni. • Affrontare le sfide specifiche delle imprese, in base alle loro esigenze commerciali, gestionali o operative. • Facilitare l'automazione delle attività, ottimizzare i processi aziendali e rafforzare il processo decisionale dei dirigenti.

Nella tabella seguente troverete una panoramica più dettagliata dei programmi di formazione nella SCM o in settori correlati, insieme alle principali competenze insegnate.



Tabella 5 – Formazioni in ambito SCM e principali competenze formate

PAESE	FORMAZIONE	COMPETENZE
Francia	Diploma universitario in Logistica e gestione dei trasporti (EQF 6)	Logistica, trasporti, eco-responsabilità, sostenibilità, transizione digitale, gestione dei flussi.
	Certificato di qualifica professionale: Tecnico di logistica industriale (EQF 6)	Gestione dei flussi di informazioni, coerenza industriale, supervisione della fornitura e della distribuzione, sistemi computerizzati.
	Laurea triennale in Tecnologia: Gestione della logistica e dei trasporti, con specializzazione in Mobilità e catena di approvvigionamento sostenibili (EQF 6)	Sicurezza informatica, sostenibilità, strategie innovative di logistica e trasporto.
	Laurea triennale in Tecnologia: Gestione della logistica e dei trasporti, con specializzazione in Mobilità e catena di approvvigionamento sostenibili (EQF 6)	Tecnologie innovative, soluzioni digitali nella logistica e nei trasporti.
	Laurea triennale in Scienze e ingegneria, con specializzazione in Manutenzione di sistemi intelligenti e connessi (EQF 6)	Transizione digitale ed energetica, IA, mecatronica, manutenzione predittiva, CMMS (sistemi di gestione computerizzata della manutenzione).
	Laurea triennale professionale in Logistica e gestione dei flussi (EQF 6)	Automazione dei magazzini, logistica sostenibile, sicurezza informatica, RSI (responsabilità sociale d'impresa), gestione dei flussi.
	Laurea triennale in Tecnologia: Qualità, logistica industriale e organizzazione, con specializzazione in catena di approvvigionamento e organizzazione (EQF 6)	Strumenti digitali, sicurezza informatica, gestione dei flussi informativi, catena di approvvigionamento, ottimizzazione dei processi.
	Laurea in Scienze e Ingegneria – Sistemi informativi (EQF 6)	Eco-responsabilità, economia circolare, gestione e analisi dei dati, IA, digitalizzazione.
	Laurea in Scienze e ingegneria – Informatica e sistemi digitali (EQF 6)	IA, <i>deep learning</i> , visione informatica, NPL, banche dati, trasformazione digitale.
	Sviluppatore IA e scienze dei dati (EQF 6)	Sviluppo dell'IA, <i>data science</i> , ottimizzazione dei processi, manutenzione predittiva, marketing digitale.
	Coordinatore di progetti informatici (infrastrutture, applicazioni o dati cloud) (EQF 6)	Sicurezza delle informazioni, cloud computing, automazione, IA, sicurezza informatica, protezione dei dati.
	Sviluppatore e progettista di scienze dei dati (EQF 6)	Analisi predittiva, IA, big data, <i>machine learning</i> , elaborazione dei dati.
	Responsabile di progetto per le soluzioni blockchain (EQF 6)	Blockchain, crittografia, solidità, sviluppo di applicazioni blockchain, contratti intelligenti.
	Progettista integratore di soluzioni IoT (EQF 6)	IoT, automazione, reti di dispositivi connessi, elaborazione dati, ottimizzazione dei processi.
	Tecnico per le infrastrutture informatiche e la sicurezza informatica (EQF 5)	Reti, sicurezza informatica, cloud, supervisione delle infrastrutture, gestione degli incidenti informatici.
	Diploma di studi universitari scientifici e tecnici: Webmaster e professioni legate a Internet (EQF 5)	Sviluppo web, oggetti connessi, realtà virtuale, realtà aumentata, creazione di contenuti digitali.



	Laurea professionale in Progettazione e miglioramento dei processi industriali (EQF 6)	Transizione digitale, linea di produzione, manutenzione, robotica, strumenti digitali, sicurezza informatica, etica, responsabilità ambientale.
	Diploma di maturità professionale per la logistica (EQF 4)	Ricevimento, stoccaggio, preparazione degli ordini, spedizione, gestione di carrelli elevatori, trasporto stradale, sicurezza, qualità, normativa ambientale, logistica aziendale, piattaforme di distribuzione, servizi di logistica aziendale.
	Certificazione di Gestore della catena di approvvigionamento operativa (EQF 6)	Gestione logistica, negoziazione, catena di approvvigionamento, trasporto, stoccaggio, fornitura, pianificazione, spedizioni, responsabile delle spedizioni.
Slovenia	Tecnico mecatronico (EQF 4)	Ingegneria meccanica, ingegneria, informatica, automazione e robotica.
	Tecnico della logistica (EQF 4)	Logistica, magazzino e gestione della catena di approvvigionamento.
	Ingegnere logistico (EQF 5)	Logistica, gestione della catena di approvvigionamento e ottimizzazione dei processi.
	Ingegnere mecatronico (EQF 5)	Automazione, robotica e integrazione delle tecnologie avanzate nei processi di produzione.
Turchia	Laurea triennale in Logistica (EQF 6)	Gestione della catena di approvvigionamento, controllo degli inventari, distribuzione, sistemi informativi logistici.
	Laurea associata in Logistica (EQF 5)	Stoccaggio, trasporto, procedure doganali, gestione dell'inventario.
	Programma di scuola superiore professionale in logistica	Spedizioni, deposito, stoccaggio, software logistici, tirocini, supervisore di magazzino, personale addetto alle spedizioni.
Germania	Gestione della catena di approvvigionamento	Gestione della catena di approvvigionamento, ottimizzazione dei costi, soddisfazione dei clienti, modellizzazione SCOR.
	Sostenibilità nella gestione della catena di approvvigionamento	Regolamentazione, sostenibilità sociale ed ecologica, strategie di ottimizzazione sostenibile.
	Gestione strategica della catena di approvvigionamento (EQF 6)	Pianificazione e gestione delle reti logistiche, riduzione dei costi, simulazione e pianificazione strategica.
	Responsabile certificato della catena di approvvigionamento (EQF 6)	Ottimizzazione della catena del valore, riduzione dei costi, gestione dei progetti logistici.
	Corso per responsabile certificato della catena di approvvigionamento (EQF 6)	Ottimizzazione della catena del valore, riduzione dei costi, processi orientati al cliente, aspetti fondamentali di gestione della catena di approvvigionamento, gestione dei progetti, strumenti pratici.
	Utente SAP certificato in pianificazione della produzione (EQF 4-6)	Navigazione nel sistema SAP, gestione dei dati anagrafici, ordini di produzione, movimenti di materiali, gestione degli inventari, integrazione con i moduli SAP (gestione dei materiali, vendite), strumenti di reporting, gestione della capacità / risorse.
	Preparazione efficace del lavoro – pianificazione e controllo del processo di produzione (EQF 4-6)	Ottimizzazione della pianificazione degli ordini, controllo della produzione, gestione dei materiali, sistemi ERP/MES, pianificazione della capacità, dimensionamento dei lotti, strumenti di pianificazione informatica, miglioramento del servizio di consegna.



Italia	Catena di approvvigionamento, logistica e operazioni (EQF 6)	Competenze nella catena di approvvigionamento, ottimizzazione dei flussi logistici, gestione degli inventari, ERP, blockchain, RFID, IoT, automazione, robotica, IA, <i>machine learning</i> , analisi dei dati, processo decisionale strategico, gestione dei rischi.
	Gestione della catena di approvvigionamento (EQF 5)	Gestione degli acquisti, pratiche collaborative, processi <i>order-to-delivery</i> e <i>demand-to-supply</i> , integrazione dei partner commerciali, efficienza, efficacia e reattività.
	Gestione della catena di approvvigionamento	Approvvigionamento di materiali, gestione della produzione, distribuzione dei prodotti, gestione della catena di approvvigionamento end-to-end, modelli di governance aziendale.

4.2.3. PROGRAMMI DI SPECIALIZZAZIONE NEI PAESI BASCHI

I Paesi Baschi hanno sviluppato una gamma completa di programmi di specializzazione della durata di un anno (EQF5), erogati in formato duale, che combinano l'apprendimento in aula con la formazione pratica in azienda. Questi corsi sono concepiti per gli studenti che hanno completato una qualifica di IFP superiore di due anni e cercano di acquisire competenze avanzate in linea con le esigenze della Manifattura Avanzata e della trasformazione digitale. Tali programmi riflettono una strategia lungimirante all'interno del sistema di IFP basco, con l'obiettivo di allineare la formazione alle esigenze reali e future dell'industria. Per maggiori dettagli, consultare il sito web ufficiale dell'Istituto basco per la conoscenza in materia di IFP.

Sono attualmente disponibili i seguenti corsi di specializzazione, compresi quelli relativi all'industria intelligente e digitale:

Tabella 6 – Programmi di specializzazione nei Paesi Baschi

PROGETTO	COMPETENZE GENERALI
Manifattura intelligente	Sviluppare e gestire progetti che adattino i processi di produzione individuando gli obiettivi di produzione, applicando KPI e utilizzando tecnologie avanzate per il controllo della produzione, garantendo nel contempo requisiti di qualità e sicurezza.
Digitalizzazione della manutenzione industriale	Attuare e gestire progetti di digitalizzazione per la manutenzione in ambienti industriali, applicando tecnologie all'avanguardia e rispettando le norme in materia di qualità, sicurezza e ambiente.
Robotica collaborativa	Sviluppare progetti di robotica collaborativa che coinvolgano bracci robotici e robot mobili autonomi e realizzarne l'assemblaggio, la messa in servizio e la manutenzione.
Sicurezza informatica nelle tecnologie dell'informazione (IT)	Definire e attuare strategie di sicurezza nei sistemi di informazione, conducendo diagnosi della sicurezza informatica, individuando le vulnerabilità e applicando misure di mitigazione in linea con i regolamenti e le norme settoriali vigenti, rispettando nel contempo i protocolli in materia di qualità, sicurezza sul lavoro e protezione dell'ambiente.
Sicurezza informatica nelle tecnologie operative (OT)	Definire e attuare strategie di sicurezza informatica nelle organizzazioni e nelle infrastrutture industriali, attraverso la diagnostica, l'individuazione delle vulnerabilità e l'applicazione di misure di attenuazione conformemente ai regolamenti e alle norme settoriali vigenti, garantendo il rispetto dei protocolli di qualità, sicurezza sul lavoro e ambiente.
Controllo metrologico della qualità	Effettuare il controllo della qualità dei prodotti, dei sistemi di produzione e dei sistemi di misurazione, garantire la validità delle misurazioni nelle prove e nelle verifiche secondo le norme di qualità applicabili e rilasciare la documentazione appropriata nel rispetto delle norme ambientali e di sicurezza.



Intelligenza artificiale e big data

Progettare e applicare sistemi intelligenti che ottimizzino la gestione delle informazioni e lo sfruttamento dei big data, garantendo un accesso sicuro ai dati e il rispetto delle norme consolidate in materia di accessibilità, usabilità e qualità, nonché dei principi etici e giuridici.

4.2.4. PRIORITÀ E MANCANZA DI COMPETENZE

Secondo la relazione PdM, i centri di formazione hanno individuato nell'IA e nella sostenibilità i settori prioritari tra le tecnologie emergenti. Nel settore della SCM, l'attenzione si sposta verso l'IoT, la sostenibilità e la sicurezza informatica. Quasi il 70% dei centri ha evidenziato carenze di competenze chiave nei sistemi IoT, negli strumenti IA e nell'analisi dei dati. Il cloud computing è stato citato dal 40%, mentre solo il 14% ha menzionato il lavoro collaborativo, il che suggerisce che questa competenza trasversale (*soft skill*) è già ben coperta. I risultati specifici per paese mostrano che:

- In Francia sono carenti le competenze in materia di IA e analisi dei dati,
- In Italia quelle in materia di sistemi IoT,
- In Turchia quelle relative a cloud computing e analisi dei dati, e
- In Slovenia quelle relative agli strumenti IoT e IA.

Un rappresentante di un centro di formazione francese ha sottolineato l'importanza di concentrarsi sullo sviluppo delle competenze piuttosto che sulle conoscenze teoriche. Ha inoltre sottolineato l'importanza di integrare la formazione iniziale e quella professionale con il potenziale dell'IA e dell'XR, che non sono solo strumenti di formazione ma anche una forma di sostegno al processo di apprendimento complessivo.

4.3. RUOLO STRATEGICO DELL'IFP

I centri di IFP stanno emergendo oggi come attori dinamici e strategici, in grado di fungere da catalizzatori per le transizioni digitale e verde. Di fronte alla rapida evoluzione delle tecnologie e alle mutevoli esigenze del mercato del lavoro, questi centri svolgono un ruolo fondamentale nell'adattamento delle competenze e nel sostegno alla trasformazione dei settori industriali.

Come evidenziato in questo capitolo, e nonostante le sfide esistenti, le nuove tecnologie sono già state progressivamente integrate nei programmi di formazione e nelle competenze insegnate.

Consapevoli di queste sfide, i centri di formazione hanno rafforzato i loro partenariati strategici con l'industria e, in misura minore, con altri centri di IFP. Tali collaborazioni non solo promuovono lo scambio di conoscenze, ma forniscono anche l'accesso a fonti di finanziamento aggiuntive, che sono fondamentali per affrontare uno dei principali ostacoli alla transizione: il suo costo finanziario.

In tale contesto, i centri di formazione si sono rivolti anche alle sponsorizzazioni e alla partecipazione a progetti finanziati dall'UE, in particolare quelli sostenuti nell'ambito del programma Erasmus+.

Inoltre, i centri hanno colto questa opportunità per ampliare la loro offerta formativa, rendendola sempre più specifica e specializzata, integrando attivamente le nuove tecnologie come parte delle loro strategie di insegnamento. Ciò ha permesso loro di offrire approcci di apprendimento più moderni, interattivi e rilevanti per l'industria, meglio allineati con le realtà dell'ambiente professionale odierno.

I centri di IFP fungono da motori essenziali per la trasformazione dell'industria, perché consentono l'innovazione e lo sviluppo di talenti, rafforzando al contempo la competitività regionale. I centri di IFP ora svolgono funzioni che vanno oltre la formazione di base, partecipando attivamente alla co-



creazione di soluzioni con le imprese, sviluppano programmi specializzati e conducendo progetti di ricerca applicata e innovazione in ambienti di Manifattura Avanzata e digitalizzazione.

4.4. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

4.4.1. CONCLUSIONI

Il ruolo strategico dei centri di IFP, in quanto attori dinamici nella transizione digitale e verde, è chiaramente ribadito. Queste istituzioni stanno compiendo progressi costanti nell'integrazione di tecnologie e settori emergenti quali l'IA, la sostenibilità, l'IoT, la sicurezza informatica, la blockchain, il cloud computing, la realtà virtuale e aumentata, il *machine learning* e la robotica.

Secondo i sondaggi condotti con i centri di formazione, l'IA e la sostenibilità sono le principali priorità nel settore della PdM. Nel settore della SCM, l'attenzione si concentra sull'IoT, la sostenibilità e la sicurezza informatica.

Il contesto della transizione verde e digitale ha offerto ai centri di IFP diverse opportunità, tra cui:

- L'aumento della domanda di formazione, che ha consentito di ampliare l'offerta formativa.
- La possibilità di ottenere una maggiore diversificazione e specializzazione dei programmi di formazione, che ora comprendono non solo abilità tecniche, ma anche competenze interdisciplinari. Un chiaro esempio è l'iniziativa condotta nei Paesi Baschi, dove sono stati sviluppati programmi di specializzazione annuali in formato duale, incentrati su competenze avanzate in manifattura smart, digitalizzazione, robotica collaborativa, sicurezza informatica e controllo qualità.
- Una più stretta collaborazione con il settore industriale.
- L'uso crescente delle nuove tecnologie come strumenti pedagogici.
- Maggiore accessibilità e flessibilità della formazione attraverso modelli di apprendimento ibridi, che combinano istruzione online e formazione in presenza. Tali formati sono particolarmente vantaggiosi per i lavoratori.
- L'impulso delle iniziative europee che promuovono la modernizzazione dell'IFP.
- Accesso ai finanziamenti attraverso i programmi dell'UE.
- Diversificazione delle fonti di finanziamento grazie alla collaborazione con altri centri di formazione e con l'industria.
- Nei Paesi Baschi, sebbene persistano ostacoli quali la mancanza di cultura digitale nelle imprese, i centri di IFP possono svolgere un ruolo chiave come agenti di trasformazione, formando professionisti in grado di affrontare le sfide della digitalizzazione industriale.

Tuttavia, l'integrazione delle nuove tecnologie ha anche comportato sfide significative, tra cui:

- Limitata autonomia istituzionale, che ostacola la capacità di rispondere efficacemente ai continui cambiamenti.
- Aumento dei costi associati all'adozione di nuove tecnologie.
- Mancanza di formazione specializzata per i docenti, che limita l'effettiva attuazione.
- Sono state individuate carenze di competenze in settori chiave nell'ambito della SCM. I risultati specifici per paese evidenziano le seguenti carenze: la Francia si trova ad affrontare carenze di competenze in materia di IA e analisi dei dati; l'Italia nell'integrazione dei sistemi IoT; la Turchia nel cloud computing e nell'analisi dei dati, e infine la Slovenia negli strumenti IoT e IA.



- I centri di IFP baschi ritengono che i diplomati di centri IFP non siano ancora una vera opzione per guidare la trasformazione digitale. Sebbene molti centri offrano programmi avanzati in materia di automazione e digitalizzazione (EQF5), queste qualifiche non sono largamente riconosciute o richieste dall'industria. Di conseguenza, gli studenti spesso trovano opportunità limitate nei ruoli ad alta tecnologia e il potenziale dell'IFP di contribuire all'innovazione industriale non viene sfruttato appieno.

4.4.2. RACCOMANDAZIONI

- Promuovere modelli di apprendimento ibridi: ampliare i percorsi di apprendimento flessibili che combinano formati online e in presenza per sostenere diversi profili di discenti, in particolare professionisti, e promuovere l'apprendimento permanente.
- Diversificare l'offerta formativa e aumentare il numero di programmi specializzati.
- Affrontare le carenze di competenze critiche.
- Rafforzare la formazione dei formatori.
- Rafforzare la collaborazione con le imprese e gli altri centri di formazione.
- Diversificare le fonti di finanziamento: incoraggiare i centri di IFP a mobilitare finanziamenti pubblici, sponsorizzazioni industriali, progetti europei e meccanismi di finanziamento collaborativo per superare i limiti finanziari.
- Sfruttare le iniziative europee: massimizzare l'uso degli strumenti e delle risorse messi a disposizione dall'Unione europea per sostenere la transizione verde e quella digitale e l'istruzione in generale.
- Sviluppare iniziative di formazione specifiche per paese per colmare le principali carenze di competenze in materia di SCM: IA e analisi dei dati in Francia, sistemi IoT in Italia, cloud computing e analisi dei dati in Turchia e strumenti IoT e IA in Slovenia.
- Dare priorità allo sviluppo delle competenze rispetto alle conoscenze teoriche, integrando la formazione iniziale e professionale e utilizzando l'IA e la XR non solo come strumenti didattici, ma anche come supporti durante l'intero processo di apprendimento.



5. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Al fine di sostenere la crescita continua, la resilienza e la sostenibilità del settore manifatturiero avanzato in tutta l'Unione Europea e oltre, è essenziale anticipare l'evoluzione delle esigenze della forza lavoro, migliorare i sistemi di istruzione e formazione e rafforzare l'allineamento tra l'industria e i fornitori di IFP. La presente relazione – una sintesi di tre indagini complementari sulla manutenzione predittiva, sulla gestione della catena di approvvigionamento e sugli approfondimenti regionali dei Paesi Baschi – offre una prospettiva integrata sul modo in cui la transizione digitale e quella verde stiano rimodellando sia il panorama industriale sia gli ecosistemi educativi che lo alimentano.

Grazie a un approfondito lavoro sul campo, a indagini multinazionali, a studi di casi istituzionali e all'impegno diretto con le PMI, le grandi aziende manifatturiere, gli istituti di IFP e gli educatori, questo lavoro cattura un'immagine dinamica e sfaccettata della trasformazione in atto. Concentrandosi su due settori ad alto impatto nell'ambito della manifattura avanzata, PdM e SCM, la relazione esamina non solo le tecnologie che guidano il cambiamento, ma anche i cambiamenti operativi, organizzativi e umani necessari per un adattamento di successo.

Attraverso sei aree tematiche chiave (i cambiamenti tecnologici e operativi; l'integrazione verde e digitale; gli ostacoli specifici per le PMI; l'evoluzione delle competenze e delle aspettative della forza lavoro; i modelli di innovazione strategici, e la trasformazione dei sistemi di IFP) i risultati convergono su un obiettivo condiviso: costruire un ecosistema manifatturiero pronto per il futuro, ancorato a un'istruzione agile, a un miglioramento delle competenze inclusivo e a una forte collaborazione intersettoriale. Per questo motivo, la presente sezione conclusiva distilla lezioni strategiche, delinea raccomandazioni trasversali e offre una visione lungimirante di come l'Europa possa essere leader nell'allineare l'innovazione industriale con lo sviluppo incentrato sulla persona.

5.1. SINTESI DEI RISULTATI PRINCIPALI

La Manifattura Avanzata sta attraversando una fase di rapida trasformazione, determinata dalla digitalizzazione, dagli imperativi di sostenibilità e dall'evoluzione delle dinamiche della forza lavoro. Gli approfondimenti tratti dalla PdM, dalla SCM e dal lavoro sul campo a livello regionale nei Paesi Baschi evidenziano tendenze comuni, sfide strutturali e opportunità di azione sia per le PMI che per l'ecosistema dell'IFP. Tali risultati sono organizzati in sei aree tematiche chiave:

5.1.1. CAMBAMENTI TECNOLOGICI E OPERATIVI

L'emergere di IA, IoT, gemelli digitali, edge computing e soluzioni basate sul cloud sta rivoluzionando i processi operativi della PdM e dell'SCM. La PdM migliora l'affidabilità degli asset, riduce i tempi di inattività e ottimizza i costi del ciclo di vita, mentre l'SCM si sta orientando verso la resilienza e l'agilità attraverso le reti di approvvigionamento digitali (DSN). Nonostante i diversi ambienti applicativi, entrambi i settori stanno convergendo verso sistemi autonomi, basati sui servizi e spiegabili, che richiedono flussi di lavoro ristrutturati, una collaborazione interfunzionale e processi decisionali basati sui dati. Nuovi modelli quali ecosistemi basati su piattaforme, architetture orientate ai servizi e banchi di prova sostengono la sperimentazione, la riduzione dei rischi e l'innovazione scalabile tra le parti interessate.



5.1.2. IMPATTO DELLA TRANSIZIONE DIGITALE E VERDE

Le tecnologie di PdM e SCM non solo migliorano le prestazioni, ma favoriscono anche la sostenibilità. La PdM sostiene gli obiettivi verdi estendendo la vita delle apparecchiature, riducendo il consumo energetico, limitando le emissioni legate al trasporto e contribuendo alla circolarità. L'SCM si allinea alle pratiche verdi attraverso il monitoraggio delle emissioni, la riduzione degli scarti di materiali, le strategie di approvvigionamento circolare e la progettazione collaborativa. Gli strumenti digitali sostengono sempre più la capacità delle imprese di anticipare e soddisfare gli obblighi ambientali, allineando l'ottimizzazione operativa agli obiettivi ecologici.

5.1.3. OSTACOLI E SFIDE SPECIFICHE PER LE PMI

Sia la PdM che l'SCM sono limitate da ostacoli strutturali comuni. Quelli principali continuano ad essere i limiti finanziari, con le PMI che faticano ad accedere ai finanziamenti per gli aggiornamenti tecnologici, in particolare per i sistemi modulari o interoperabili. Tra le sfide tecniche figurano le infrastrutture legacy (spesso obsolete), la mancanza di interoperabilità e i rischi per la sicurezza informatica. Dal punto di vista organizzativo, le PMI spesso si trovano in condizioni di scarsa maturità digitale, limitato sostegno informatico interno, resistenza al cambiamento e mancanza di una visione strategica chiara. L'implementazione della PdM risente inoltre dell'accesso insufficiente ai consulenti e della scarsa chiarezza del ROI, mentre la trasformazione dell'SCM è rallentata da sistemi di pianificazione frammentati, strumenti sottoutilizzati e carenze nella governance dei dati.

5.1.4. EVOLUZIONE DELLE COMPETENZE E DELLE ESIGENZE DELLA FORZA LAVORO

Il passaggio al digitale e alle operazioni ecologiche sta ridisegnando il panorama delle competenze industriali. I ruoli stanno diventando ibridi e richiedono combinazioni di know-how tradizionale, pensiero sistemico e padronanza delle piattaforme digitali. Le competenze in materia di IA, diagnostica, sicurezza informatica, interfacce cloud e interpretazione dei dati sono sempre più essenziali. I lavoratori devono impegnarsi nell'apprendimento continuo, adattarsi rapidamente e collaborare tra i vari reparti. Anche le competenze trasversali e le *soft skills* (come la comunicazione, la risoluzione dei problemi e l'adattabilità) sono sempre più richieste, soprattutto con l'evoluzione dei flussi di lavoro e l'aumento dell'automazione.

Tuttavia, le carenze di competenze digitali, la resistenza dei dipendenti e il disallineamento tra i programmi di formazione e i sistemi industriali continuano a rappresentare ostacoli significativi. Per affrontare queste sfide è necessaria l'attuazione di strategie di gestione del cambiamento incentrate sulle persone, che affrontino l'adattamento culturale unitamente alla formazione tecnica. Tale approccio non solo migliora la preparazione della forza lavoro, ma garantisce anche l'integrazione sostenibile delle nuove tecnologie nei processi organizzativi.

5.1.5. PROSPETTIVE STRATEGICHE E MODELLI DI INNOVAZIONE

Guardando al futuro, l'avanzamento della trasformazione digitale e di quella verde nell'ecosistema manifatturiero europeo richiederà strategie integrate e lungimiranti che allineino lo sviluppo tecnologico all'evoluzione della forza lavoro e all'adattabilità organizzativa. La presente relazione si basa su analisi intereuropee (relazioni PdM e SCM) e sull'approfondita analisi del caso regionale illustrato nella relazione sui Paesi Baschi. Essa punta ad identificare modelli strategici di innovazione, migliori pratiche emergenti e soluzioni applicabili nella pratica. La relazione BC sui Paesi Baschi sottolinea, in particolare, il ruolo chiave dei centri regionali di IFP per l'innovazione industriale, fornendo esempi reali di sforzi collaborativi di miglioramento del livello delle competenze e quadri di sperimentazione a basso rischio.



In ambito **manutenzione predittiva (PdM)**, la competitività a lungo termine dipenderà da un maggiore accesso ai finanziamenti, dagli investimenti nella formazione e nell'alfabetizzazione digitale della forza lavoro e dall'ottimizzazione delle strategie incentrate sui dati. In ambito gestione della catena di approvvigionamento (**Supply Chain Management – SCM**), il successo futuro dipende dalla promozione della trasparenza, dall'instaurazione di fiducia tra i partner, dall'allineamento degli obiettivi digitali e verdi e dal rafforzamento della governance dei dati.

A sostegno di questi risultati, stanno già emergendo una serie di modelli di innovazione e fattori abilitanti:

- **Strategie di trasformazione modulari e collaborative:** Le PMI stanno adottando approcci graduali che bilanciano innovazione e convenienza. Spesso si basano su infrastrutture condivise, progetti di sviluppo guidati da consorzi e piattaforme intersettoriali che facilitano la distribuzione del rischio il vantaggio reciproco.
- Le **architetture orientate ai servizi**, come la **PdMaaS (Predictive Maintenance as a Service)**, offrono alle PMI un percorso praticabile per accedere alle capacità predittive senza investire in costose infrastrutture. Tali soluzioni, spesso fornite tramite OEM o piattaforme cloud, trasferiscono le responsabilità dai tecnici interni agli analisti di dati e ai fornitori di servizi esterni, aumentando la flessibilità e preservando nel contempo l'affidabilità operativa.
- I **banchi di prova e i partenariati pubblico-privato** continuano ad acquisire slancio come meccanismi per ridurre i rischi della sperimentazione, consentire la R&S applicata; stimolare la collaborazione tra i centri di IFP e l'industria. La relazione BC rafforza questo aspetto, dimostrando l'esistenza di centri di IFP locali che co-guidano progetti pilota in materia di innovazione con PMI e cluster industriali.
- Le **strategie di adozione graduale**, sostenute da **finanziamenti pubblici e da progetti collaborativi dell'UE** (ad esempio LCAMP), consentono alle PMI di esplorare le tecnologie emergenti in ambienti controllati e a basso rischio: questo è un approccio particolarmente prezioso per le imprese con capacità interne limitate.
- I **centri IFP come catalizzatori**: la relazione BC sui Paesi Baschi e una più ampia ricerca a livello UE concordano sul ruolo strategico degli istituti di IFP. Questi centri fungono da ponte tra le esigenze industriali e l'offerta formativa, sostenendo nel contempo l'innovazione applicata. La loro capacità di adattare i programmi di studio, promuovere l'apprendimento ibrido e formare il personale con una pedagogia moderna li rende protagonisti della trasformazione del settore.
- I **ruoli di intermediazione che padroneggiano il digitale** stanno diventando essenziali sia nei contesti PdM che SCM. Questi nuovi profili della forza lavoro, spesso plasmati dalla formazione IFP, uniscono le tradizionali competenze tecniche di base con l'uso di strumenti digitali avanzati. Inoltre, fungono da collegamento, in maniera efficace, con fornitori esterni di IA, specialisti della manutenzione predittiva o integratori di software.

Infine, i **modelli di innovazione SCM sottolineano il ruolo cruciale della collaborazione basata sulla fiducia**. Se, da un lato, gli strumenti digitali consentono trasparenza, comunicazione in tempo reale e tracciabilità, dall'altro lato la dimensione umana della **fiducia rimane fondamentale** per i partenariati a lungo termine nella catena di approvvigionamento. Instaurare fiducia (attraverso l'allineamento culturale, la continuità relazionale e gli obiettivi condivisi) è un fattore essenziale per la resilienza e l'innovazione industriale.

5.1.6. SISTEMI DI IFP E TRASFORMAZIONE DELL'ISTRUZIONE

I centri di IFP sono sempre più riconosciuti come fattori strategici della transizione digitale e verde nell'ambito della Manifattura Avanzata. In tutta Europa, e in particolare nei Paesi Baschi, questi centri si stanno trasformando da istituzioni puramente educative in poli dinamici di innovazione applicata, sviluppo della forza lavoro e partenariato industriale.



I risultati mostrano che gli **enti di formazione stanno approfondendo la collaborazione con l'industria**, sviluppando congiuntamente programmi di studio che integrano tecnologie fondamentali quali l'IA, l'IoT, il cloud computing e la sicurezza informatica. Stanno inoltre sperimentando **modelli pedagogici ibridi**, combinando l'apprendimento in presenza e online per migliorare la flessibilità e l'accessibilità. Queste innovazioni sono fondamentali per rispondere alle esigenze di competenze in rapida evoluzione e per preparare i discenti, siano essi nuovi arrivati o lavoratori in via di riqualificazione, alle complessità dei moderni ambienti industriali.

Permangono tuttavia delle sfide. I **centri di IFP si trovano spesso ad affrontare ostacoli strutturali**, tra cui un'autonomia limitata nella definizione dei programmi, una formazione insufficiente per i formatori (in particolare per quanto riguarda gli strumenti digitali e le nuove metodologie didattiche), programmi didattici con strutture antiquate e finanziamenti limitati per aggiornare le attrezzature e le infrastrutture. Di conseguenza, molti centri faticano a far fronte al ritmo della trasformazione industriale.

Per colmare tali lacune, gli istituti di IFP stanno iniziando ad esplorare nuovi formati, come ad esempio le **micro-credenziali**, i **percorsi di formazione modulari** e la **collaborazione tra centri**, per rispondere meglio all'aumento delle iscrizioni e alla domanda di qualifiche altamente specializzate da parte dei datori di lavoro.

La **relazione sui Paesi Baschi (BC)** offre esempi concreti di come queste sfide vengano affrontate attraverso **strategie di adozione graduale delle tecnologie**, sostenute da **finanziamenti pubblici e progetti collaborativi**. Queste iniziative offrono ambienti sicuri e a basso rischio per sperimentare le tecnologie emergenti e promuovere l'innovazione. Inoltre, i **centri di IFP baschi partecipano attivamente a progetti di innovazione applicata**, posizionandosi come attori fondamentali nelle strategie industriali regionali. I loro contributi al **miglioramento delle competenze e alla riqualificazione della forza lavoro** evidenziano il ruolo centrale che i centri di IFP possono svolgere nel sostenere gli ecosistemi locali e nel guidare la trasformazione sul campo.

Infine, le **iniziative a livello europeo come LCAMP** offrono un livello critico di coordinamento e supporto, allineando la sperimentazione locale agli obiettivi strategici continentali. Collegando industria, politica e istruzione, questi programmi rafforzano la capacità dei centri IFP di fungere da **catalizzatori di innovazione, sostenibilità e inclusione** nel futuro della Manifattura Avanzata.

5.2. LEZIONI STRATEGICHE

La trasformazione della Manifattura Avanzata attraverso le tecnologie digitali e verdi rivela sei lezioni strategiche fondamentali per allineare l'evoluzione industriale allo sviluppo della forza lavoro e al rinnovamento dell'istruzione:

- **La tecnologia non è neutrale: l'adozione è contestuale e diseguale.** Sono tipicamente le grandi imprese a guidare l'innovazione, potendo contare su solide infrastrutture interne e capacità di investimento. Al contrario, le PMI adottano le tecnologie in modo più graduale, limitate da vincoli finanziari, organizzativi e tecnici. Pertanto, affinché le strategie di trasformazione possano avere successo, devono tenere conto di questi punti di partenza divergenti e privilegiare soluzioni modulari, scalabili e orientate ai servizi.
- **Le transizioni verde e digitale stanno convergendo e si rafforzano reciprocamente.** Gli obiettivi di sostenibilità non sono più separati dalle agende tecnologiche. La PdM riduce il consumo di energia, gli sprechi di materiali e le emissioni grazie alla manutenzione proattiva. La digitalizzazione dell'SCM consente modelli di economia circolare e la tracciabilità delle emissioni. Gli obiettivi verdi sono sempre più spesso perseguiti attraverso l'uso di strumenti digitali, creando sinergie che devono essere sfruttate congiuntamente.
- **Sia nella PdM che nell'SCM, le aspettative in materia di competenze tecniche, padronanza digitale, capacità di interpretazione dei dati e interazione con l'IA**



compaiono sempre più spesso nelle descrizioni dei posti di lavoro, insieme alla capacità di collaborare al di fuori del proprio campo di studio. Queste aspettative emergenti illustrano la crescente domanda di profili ibridi, che combinano conoscenze settoriali specifiche approfondite con competenze interfunzionali, digitali e interpersonali.

- **I sistemi di IFP stanno diventando attori strategici negli ecosistemi dell'innovazione.** Il ruolo dei centri IFP va ben oltre l'erogazione della formazione. Come dimostrato in particolare nei Paesi Baschi, essi stanno diventando facilitatori dell'innovazione industriale, banchi di prova per le tecnologie applicate e agenti di resilienza economica locale. Per garantire una trasformazione inclusiva è fondamentale che vengano rafforzate la loro autonomia, capacità tecniche e i legami con l'industria.
- **Le competenze sono la moneta della trasformazione – e si stanno evolvendo.**
- **Le competenze tecniche in materia di IA, cloud computing e IoT sono sempre più essenziali.** Tuttavia, altrettanto importanti sono le competenze trasversali: adattabilità, pensiero critico, collaborazione e apprendimento autonomo. Man mano che emergono ruoli ibridi e gli ambienti di lavoro diventano ricchi di dati, i lavoratori devono combinare la padronanza operativa con la capacità analitica e la resilienza in materia di soft skills.
- **La gestione del cambiamento è il perno della trasformazione.**
- **L'adozione delle tecnologie è una questione tanto culturale quanto tecnica.** Il successo della transizione industriale e di quella educativa dipende dalla leadership, dalla comunicazione e dalla fiducia. Dalla resistenza all'automazione a modelli pedagogici obsoleti, i progressi dipendono dalla disponibilità delle persone e delle istituzioni a reinventarsi continuamente.

5.3. RACCOMANDAZIONI

In risposta a questi insegnamenti strategici, si propongono le seguenti raccomandazioni trasversali per i portatori di interessi dell'ecosistema manifatturiero avanzato:

Per i decisori politici e le autorità di finanziamento

- Garantire investimenti costanti nella trasformazione digitale e verde, sostenendo l'adozione da parte delle PMI attraverso partenariati pubblico-privato, voucher per l'innovazione e piattaforme di sperimentazione a rischio zero.
- Riconoscere il ruolo dei centri di IFP come attori strategici per la trasformazione e sostenerne l'autonomia, il potenziamento delle infrastrutture e la capacità di partecipare agli ecosistemi dell'innovazione.
- Promuovere l'allineamento tra i quadri nazionali delle qualifiche e i profili professionali emergenti, garantendo che i ruoli professionali in evoluzione e i set di competenze ibride siano riconosciuti e trasferibili in tutta Europa.

Per le PMI e le parti interessate del settore industriale

- Adottare tecnologie modulari e scalabili, come la *PdM-as-a-Service* e piattaforme SCM basate sul cloud, per ridurre il rischio di investimento e aumentare l'agilità.
- Investire nell'aggiornamento professionale della forza lavoro attraverso le micro-credenziali e la formazione continua, ad esempio nell'IA, nell'interpretazione dei dati e nelle operazioni sostenibili.
- Promuovere una cultura della collaborazione aderendo a ecosistemi di piattaforme, partecipando a reti regionali di innovazione e rafforzando la fiducia nelle catene di approvvigionamento.



Per i centri IFP e gli enti di formazione

- Sviluppare e integrare modelli di formazione ibridi che combinino l'apprendimento online e quello in presenza, consentendo flessibilità sia agli studenti che ai professionisti.
- Collaborare con le imprese alla co-progettazione dei programmi di studio e all'applicazione delle competenze nel mondo reale, in particolare attraverso banchi di prova, casi di studio e progetti di innovazione.
- Rafforzare la formazione dei formatori, dotandoli sia di competenze digitali che di approcci pedagogici moderni.

Per il coordinamento a livello UE

- Portare avanti iniziative come LCAMP, che creano metodologie strutturate per osservare le tendenze tecnologiche, le esigenze in termini di competenze e le innovazioni in materia di formazione.
- Agevolare l'armonizzazione delle strategie di transizione digitale e verde in tutti gli Stati membri, consentendo ai centri di IFP e alle PMI di operare in un quadro coerente di obiettivi e sostegno.

Accogliendo queste raccomandazioni, l'Europa può garantire che il suo settore manifatturiero avanzato rimanga competitivo a livello globale, sostenibile dal punto di vista ambientale e inclusivo dal punto di vista sociale, grazie a un ecosistema di IFP pronto ad affrontare le sfide del domani.

5.4. PROSPETTIVE

La transizione verde e quella digitale che stanno attualmente ridisegnando il settore manifatturiero avanzato, non sono solo sfide tecnologiche, ma rappresentano anche opportunità umane e sistemiche. Guardando al futuro, appare chiaro che una trasformazione di successo non richiede solo l'accesso a nuovi strumenti, ma anche la capacità di integrare queste innovazioni nelle operazioni quotidiane, nelle aspettative della forza lavoro e nei sistemi educativi.

Sia nella manutenzione predittiva che nella gestione della catena di approvvigionamento, le prospettive sono definite dalla convergenza. Gli obiettivi verdi e digitali sono sempre più legati, non solo in termini di metriche di sostenibilità, ma anche di strategie condivise per l'efficienza, la circolarità, la trasparenza e la resilienza. In entrambi i campi, sia le PMI che le grandi imprese stanno sperimentando soluzioni ibride, che combinano le competenze locali con infrastrutture basate sul cloud, i ruoli tradizionali con sistemi potenziati dall'IA e strategie di adozione modulare con un più ampio allineamento della catena del valore.

I centri di IFP sono fattori chiave di questa transizione. Le prospettive per l'istruzione professionale non si limitano alla sola formazione tecnica o alla certificazione specifica per il settore, ma si stanno espandendo verso lo sviluppo di capacità integrate. I centri devono preparare gli studenti a pensare in modo trasversale a tutti i sistemi, a lavorare in modo collaborativo tra i vari settori e ad adattarsi costantemente all'evoluzione delle esigenze delle industrie digitalizzate e orientate alla sostenibilità. Ciò significa promuovere percorsi di apprendimento flessibili, rafforzare i partenariati industriali e garantire che gli insegnanti dispongano delle competenze – e della libertà istituzionale – per sperimentare, evolvere e guidare.

Allo stesso tempo, le forme emergenti di cooperazione e sperimentazione plasmeranno la prossima fase di trasformazione. Attraverso banchi di prova, partenariati pubblico-privato, iniziative fra più centri o modelli di finanziamento sperimentali, i centri di IFP e l'industria devono co-progettare sia le esperienze di apprendimento che le roadmap tecnologiche. La collaborazione con diversi centri di IFP e decine di partner industriali ha fornito a questo *work package* informazioni preziose sul terreno comune tra istruzione accademica, preparazione pratica, formazione professionale e preparazione della forza lavoro. L'accesso diretto alle attività e alle aspirazioni di



apprendimento e insegnamento, nonché alle percezioni e ai protocolli delle PMI e delle grandi industrie, ha portato a un'attenta analisi di due aree chiave del panorama manifatturiero. È emerso chiaramente il valore indiscusso della formazione offerta dai centri di IFP, l'imperativo della collaborazione tra istruzione e industria e l'impegno condiviso di tutti noi a favore del successo degli studenti nell'apprendimento e la soddisfazione dei dipendenti sul posto di lavoro. Attraverso la prospettiva della manutenzione predittiva e della gestione della catena di approvvigionamento, abbiamo visto che la trasformazione digitale e quella verde condividono un futuro comune sostenuto da un impegno comune.

A tal fine, le prospettive di integrazione collaborativa di questi due risultati, nonché delle due istituzioni che sostengono tali obiettivi, sono al tempo stesso positive e possibili. Abbiamo il potere, come singole istituzioni e come settore educativo collettivo, di collaborare con le imprese manifatturiere di tutte le dimensioni nella trasformazione dell'apprendimento, dell'insegnamento, della formazione e dell'occupazione. Attraverso raccomandazioni sia pratiche che aspirazionali, incentrate sul discente e che abbracciano l'industria, il livello locale, regionale e quello transnazionale, abbiamo l'opportunità di reimmaginare il futuro della formazione professionale e dell'istruzione nel settore manifatturiero avanzato in tutta l'Unione Europea e nel mondo.

Queste relazioni, e le informazioni che contengono, non esisterebbero senza l'intelligenza collettiva, l'energia e la dedizione di tutti i partner impegnati in questo lavoro. Al di là delle frontiere, dei fusi orari e delle istituzioni, ciascun contributore ha contribuito con le proprie competenze e con l'impegno condiviso a favore dell'eccellenza. Dal cuore dell'Unione europea alle regioni limitrofe, questo spirito di cooperazione riflette il meglio della missione di Erasmus+: collaborazione, centralità della persona e orientamento al futuro. È un privilegio essere testimoni e partecipi di un così fulgido esempio dello spirito europeo in azione.



6. RIFERIMENTI

- Pablo Marino. (2025, June). Alignment of VET Offer and Industry Needs in Advanced Manufacturing in the Basque Country. LCAMP Project – WP3 Observatory – D3.2 – M36. <https://lcamp.eu>
- Pichoutou Pascal, Ralf Steck, Camille Leonard, & Jésus Rebolledo. (2025a, June). Digital technologies 4.0 and green transition impacts on predictive maintenance. LCAMP Project – WP3 Observatory – D3.2 – M36. <https://lcamp.eu>
- Pichoutou Pascal, Ralf Steck, Camille Leonard, & Jésus Rebolledo. (2025b, June). Digital technologies 4.0 and green transition impacts on supply chain management. LCAMP Project – WP3 Observatory – D3.2 – M36. <https://lcamp.eu>



7. INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 – Fabbisogno di competenze (estratto).....</i>	<i>31</i>
<i>Tabella 2 – Esempi di progetti europei sulle tendenze tecnologiche e lo sviluppo delle competenze nella Manifattura Avanzata</i>	<i>39</i>
<i>Tabella 3 – Nuove tecnologie e nuovi settori per la formazione in ambito PdM</i>	<i>39</i>
<i>Tabella 4 – Nuove tecnologie e nuovi settori per la formazione in ambito SCM</i>	<i>40</i>
<i>Tabella 5 – Formazioni in ambito SCM e principali competenze formate.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabella 6 – Programmi di specializzazione nei Paesi Baschi</i>	<i>44</i>
<i>Tabella 7 – Fabbisogno di competenze (dalle relazioni PdM, SCM e BC)</i>	<i>57</i>



8. ALLEGATO

8.1. ALLEGATO 1 – FABBISOGNO DI COMPETENZE

Tabella 7 – Fabbisogno di competenze (dalle relazioni PdM, SCM e BC)

Area di competenza LCAMP	Categorizzazione	Sottocategorie raccomandate nel quadro LCAMP	Professione/Origine della relazione	Esigenze in termini di competenze
Alfabetizzazione IA	Competenza	Competenza digitale critica	Manutenzione predittiva (PdM)	IA di base o <i>machine learning</i> – Conoscenza di base dei modelli di IA/ML
	Abilità	Visione informatica	Tecnico per il controllo qualità (BC)	Visione informatica e CNN per la rilevazione di difetti – Applicazione delle reti neurali per il controllo qualità automatizzato
		<i>Machine learning</i>	Tecnico per il controllo qualità (BC)	Strumenti di ispezione basati sull'IA – Uso dell'IA per individuare i guasti
Digitale	Attitudine	Sicurezza informatica	Manutenzione predittiva (PdM)	Consapevolezza in materia di sicurezza informatica – Consapevolezza in materia di IT
			Gestione della catena di approvvigionamento (SCM)	Consapevolezza in materia di sicurezza informatica – Consapevolezza in materia di IT
		ICT	Operatore CNC / Tecnico per il controllo qualità / Tecnico per la robotica dell'automazione (BC)	Sicurezza informatica negli ambienti OT – Comprendere i rischi per la sicurezza nei sistemi di produzione
	Competenza	ICT	Gestione della catena di approvvigionamento (SCM)	Piattaforma cloud – Capacità di utilizzare strumenti cloud – Competenze di problem solving – Capacità di utilizzare strumenti cloud
			Manutenzione predittiva (PdM)	<i>Problem solving</i> (manutenzione) – Pensiero analitico per un processo decisionale basato sui dati
		Progettazione di sistema	Manutenzione predittiva (PdM)	Gestione dei modelli predittivi (analisi dei pattern di guasto, soglie di rischio)
			Tecnico per la robotica dell'automazione (BC)	Integrazione della robotica industriale – Collegare i robot ai sistemi di linee di produzione



	Abilità	Alfabetizzazione dei dati	Manutenzione predittiva (PdM)	Interpretazione dei dati dei sensori – Capacità di leggere e utilizzare i dati dei sensori IoT
				Capacità di diagnostica dei dati (manutenzione) – Analisi dei dati per la diagnostica dei guasti
			Gestione della catena di approvvigionamento (SCM)	Alfabetizzazione in materia di dati – Alfabetizzazione generale in materia di dati nell’SCM
		ICT	Gestione della catena di approvvigionamento (SCM)	Profili ibridi (catena di approvvigionamento + competenze digitali) – Ad es. analisti della catena di approvvigionamento con competenze digitali
				Alfabetizzazione nei sistemi ERP e SCM – Uso regolare di software ERP/SCM
			Tecnico per la robotica dell'automazione (BC)	Protocolli di comunicazione (OPC-UA, Ethernet) – Applicazione di norme in materia di comunicazione industriale
			Operatore CNC (BC)	Interfacce digitali e HMI – Uso di controlli touchscreen su macchine CNC.
			Tecnico per la robotica dell'automazione / Tecnico della manutenzione (BC)	Applicazione di protocolli di sicurezza informatica di base negli ambienti OT – Attuazione di procedure di sicurezza e controlli di accesso nei sistemi di produzione
			Tecnico della manutenzione (BC)	Installazione e configurazione di sensori industriali IoT – Allestimento di sensori connessi per la raccolta dei dati
				Uso di sistemi informatici di gestione della manutenzione (CMMS) – Gestione digitale dei flussi di lavoro di manutenzione
		ICT	Manutenzione predittiva (PdM)	Uso di piattaforme PdM – Uso di dashboard PdM, strumenti CMMS, ecc.
		<i>Problem solving</i>	Manutenzione predittiva (PdM)	Interpretazione dei dati (manutenzione) – Analisi dei dati per la diagnosi dei guasti
			Tecnico della manutenzione (BC)	Troubleshooting della connettività dei dati nelle reti IoT – Risoluzione dei problemi di comunicazione nei sistemi connessi
		Alfabetizzazione dei dati	Tecnico per il controllo qualità (BC)	Funzionamento dei sistemi di ispezione digitali – Uso di apparecchiature automatizzate di misurazione e test



				Documentazione digitale e tracciabilità – Conservazione dei registri elettronici dei dati di qualità
				Configurazione dei sistemi di visione – Allestimento di telecamere ed elaborazione di immagini per il controllo qualità
			Operatore CNC (BC)	Integrazione dei sistemi MES/ERP – Collegamento delle operazioni di lavorazione con i sistemi aziendali
				Acquisizione e interpretazione dei dati – Raccolta e analisi dei dati di produzione a fini di ottimizzazione
		Visione informatica	Tecnico della manutenzione (BC)	Monitoraggio dei dati dei sensori (IoT) – Analisi dei dati in tempo reale provenienti da sensori industriali connessi
				Uso di piattaforme basate sul cloud per monitorare le prestazioni delle macchine – Accesso ai sistemi di monitoraggio a distanza
			Tecnico per il controllo qualità (BC)	Sistemi di visione macchina – Uso di sistemi di controllo qualità basati su telecamere
Trasversale	Attitudine	Manifattura digitale	Operatore CNC (BC)	Uso di software CAD/CAM – Uso di programmi informatici per la progettazione e la manifattura
		Comunicazione	Gestione della catena di approvvigionamento (SCM)	Comunicazione e coordinamento – Apertura e volontà di abbracciare la trasformazione digitale
	Competenza	Flessibilità / Agilità	Manutenzione predittiva (PdM)	Adattabilità – Volontà di adattarsi all'evoluzione dei ruoli/delle tecnologie
		Collaborazione / Lavoro di squadra	Manutenzione predittiva (PdM)	Collaborazione – Collaborazione tra reparti (manutenzione, operazioni IT)
		Pensiero critico	Gestione della catena di approvvigionamento (SCM)	Pensiero strategico – Comprensione olistica delle catene di approvvigionamento complesse
	Abilità	Collaborazione / Lavoro di squadra	Competenze trasversali (BC)	Capacità di lavorare efficacemente in team – Collaborazione di successo a gruppi di lavoro multidisciplinari
				Collaborazione tra ruoli – Capacità di lavorare efficacemente con team multidisciplinari in ambienti digitali



		Comunicazione	Competenze trasversali (BC)	Comunicazione e coordinamento – Condividere chiaramente le informazioni tra vari reparti e turni
		Flessibilità / Agilità	Competenze trasversali (BC)	Adattarsi alle tecnologie emergenti – Volontà di apprendere e utilizzare nuovi strumenti tecnologici
		<i>Problem solving</i>	Competenze trasversali (BC)	Problem solving e processo decisionale – Analisi delle situazioni e adozione di decisioni tecniche efficaci
		Miglioramento continuo	Competenze trasversali (BC)	Mentalità di miglioramento continuo – Individuazione delle opportunità di ottimizzazione nei processi di manifattura digitale
Professionale	Competenza	Progettazione di sistema	Tecnico per la robotica dell'automazione (BC)	Integrazione della robotica industriale – Collegamento dei robot ai sistemi di linee di produzione
	Abilità	Progettazione di sistema	Tecnico per la robotica dell'automazione (BC)	Configurazione dei sistemi di visione – Allestimento di telecamere ed elaborazione di immagini per la guida e l'automazione robot





Learner Centric Advanced Manufacturing Platform



**Co-funded by
the European Union**

Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni e posizioni espresse, tuttavia, sono quelle degli autori e non riflettono necessariamente quelle dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.