



DiTwin

www.ditwin.eu

Handbook

Digital twin systems for VET education

ANNO:

2026

REALIZZATO DA:

Learnable (IT)

Digital Smart srl (IT)

ETN Training Vision Ireland (IE),

University of Malaga (ES)

Málaga TechPark (ES)

Innovation Frontiers IKE (GR)

University of the National Education

Commission, Krakow (PL)



Co-funded by
the European Union



DiTwin – Digital Twin for VET schools

DiTwin Handbook

La redazione di questo documento è stata conclusa a gennaio 2026.

Sito web del progetto: Project website: <https://www.ditwin.eu/>

DiTwin è un Partenariato di Cooperazione nel settore dell'istruzione e formazione professionale (KA220-VET) finanziato dal Programma Erasmus+.

Numero di progetto: 2023-1-IT01-KA220-VET-000154611

Finanziato dall'Unione Europea. Le opinioni espresse sono solo degli autori e non riflettono necessariamente quelle dell'Unione Europea o dell'Agenzia Nazionale Erasmus+ INAPP. Né l'Unione Europea né l'autorità erogante possono esserne ritenute responsabili.

Questo documento è stato realizzato con la collaborazione di tutto il partenariato DiTwin: Learnable Società Cooperativa a r.l. (IT) – coordinatore, Digital Smart srl (IT), ETN Training Vision Ireland (IR), Università di Malaga (ES), Málaga TechPark (ES), Innovation Frontiers IKE (GR), Università della Commissione per l'Istruzione Nazionale, Cracovia (PL).

Questo documento è concesso con licenza Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale.





Contenuti

Introduzione.....	p. 4
1. Introduzione alla tecnologia Digital Twin.....	p. 5
2. La rilevanza dei Digital Twin nella IFP.....	p. 11
3. Strategie pedagogiche per l'insegnamento con i Digital Twin.....	p. 20
4. Svolgere attività in classe basate sui Digital Twin: guida passo-passo ai moduli DiTwin.....	p. 26
5. Casi studio e buone pratiche.....	p. 32
6. Tendenze future e opportunità di carriera nei Digital Twin.....	p. 39
Conclusioni.....	p. 45

Introduzione

Verso il futuro con i Digital Twin nella Formazione Professionale

In un'epoca segnata da rapidi progressi tecnologici e trasformazione digitale, adattare i modelli educativi ai bisogni in evoluzione dell'industria è diventato essenziale. La tecnologia Digital Twin (DT), un tempo limitata a contesti di ingegneria o manifattura avanzata, sta ora trovando crescente applicazione anche nell'istruzione e formazione professionale (IFP). Questo manuale nasce come guida completa e pratica per docenti, formatori e dirigenti scolastici che vogliono comprendere e applicare l'apprendimento basato sui Digital Twin nei loro istituti.

Un Digital Twin è una rappresentazione virtuale di un oggetto, processo o sistema reale che consente monitoraggio, analisi e simulazione in tempo reale. Collega i dati dal mondo fisico al suo gemello digitale tramite sensori, modelli e interfacce, offrendo nuovi modi per comprendere e ottimizzare le operazioni. Per docenti e provider IFP, questa tecnologia rappresenta un'opportunità unica di offrire agli studenti esperienze realistiche, interattive e prive di rischi che riflettono ambienti industriali moderni.

Il manuale parte dalle basi: cosa sono i Digital Twin, come funzionano e quali componenti e tecnologie comprendono. Esplora poi la loro rilevanza nella formazione professionale, in particolare nel colmare il divario tra l'apprendimento scolastico e le pratiche industriali reali. Approfondendo strategie pedagogiche e sviluppo curricolare, i lettori scopriranno come coinvolgere gli studenti tramite compiti pratici, simulazioni digitali, lavoro di squadra e apprendimento interdisciplinare.

Grazie ai contributi dei partner di progetto in tutta Europa, il manuale presenta anche casi studio ed esempi di collaborazioni riuscite tra istituti IFP e imprese di Industria 4.0. Queste esperienze mostrano il valore di programmi formativi co-progettati e infrastrutture digitali condivise. Infine, vengono analizzati trend futuri, opportunità di carriera e percorsi di apprendimento continuo che permetteranno a studenti e docenti di restare aggiornati in un panorama digitale in rapida evoluzione.

Questa guida è pensata non solo per informare ma anche per ispirare. Adottando la tecnologia Digital Twin, i sistemi IFP possono diventare più agili, connessi all'industria e meglio preparati a fornire agli studenti le competenze necessarie per i lavori di domani.

1. Introduzione alla tecnologia Digital Twin

1.1 Industria 4.0 e Digital Twin

La Rivoluzione Industriale, nata nell'Inghilterra del XVIII secolo, trasformò un'economia basata sul lavoro artigianale in una fondata sulla produzione meccanizzata. L'introduzione della macchina a vapore di James Watt, insieme a innovazioni come la filatrice idraulica di Richard Arkwright, aumentò la capacità produttiva e consolidò il carbone come principale fonte energetica. Questo cambiamento non solo accrebbe l'efficienza e il volume dei beni prodotti, ma ridefinì il rapporto uomo-tecnologia, mostrando che la potenza meccanica poteva superare di gran lunga la forza muscolare. Oggi questo periodo è ricordato come Prima Rivoluzione Industriale.

Alla fine del XIX e all'inizio del XX secolo l'industria adottò l'elettricità come fonte di energia. Ciò permise di riorganizzare gli impianti produttivi – sostituendo i grandi alberi meccanici con motori individuali – aumentando flessibilità, sicurezza e illuminazione. Con la produzione di massa, modello avviato da Henry Ford per la sua Model T, si affrontò la manifattura su larga scala. Questo portò a nuovi modelli organizzativi, come la gestione scientifica del lavoro e la catena di montaggio, con rigida divisione dei compiti e standardizzazione dei componenti. I progressi ridussero drasticamente tempi e costi, rendendo beni prima esclusivi accessibili alla popolazione. Nacque così la Seconda Rivoluzione Industriale.

Il passo successivo arrivò negli anni '60 e '70. Nel dopoguerra, computer, controllo elettronico e automazione si consolidarono, portando alla robotica industriale. L'introduzione di CNC e PLC, insieme ai primi robot – come l'“Unimate”, installato nel 1961 in uno stabilimento General Motors – trasformò linee rigide mono-prodotto in sistemi flessibili basati su celle robotiche.

Con semplici modifiche software e attrezzature standardizzate, una linea poteva produrre varianti o integrare modifiche in pochi giorni. Questo nuovo paradigma, la “Terza Rivoluzione Industriale”, introdusse i sistemi produttivi flessibili (FMS), pose le basi per CAD/CAM e promosse strategie snelle come il just-in-time, ampliando la capacità dell'industria di adattarsi a mercati in continuo mutamento.

Oggi viviamo la “Quarta Rivoluzione Industriale” – o “Industria 4.0” – mentre alcuni esperti delineano già i tratti di una imminente “Quinta”, caratterizzata da collaborazione uomo-macchina e sostenibilità.

Questa fase si distingue per la digitalizzazione integrale della catena del valore, dal design e ingegneria alla produzione, logistica e interazione post-vendita. Tutti i processi sono connessi e coordinati da un unico sistema di gestione dati. Tale convergenza è resa possibile da tecnologie come cloud computing, intelligenza artificiale, IoT, robotica collaborativa e manifattura additiva.

Accanto a queste tecnologie, emerge il “digital twin”: una replica virtuale di elementi fisici, macchine, robot, linee produttive o intere fabbriche. Alimentato da dati in tempo reale, consente di simulare scenari, ottimizzare prestazioni e prevedere guasti prima che si verifichino.

In questo modo l’industria guadagna flessibilità ed efficienza, chiudendo il ciclo informativo tra mondo fisico e digitale e ponendo le basi per un modello produttivo resiliente, personalizzato e pienamente sostenibile.



1.2 Componenti chiave di un Digital Twin

Come detto, un digital twin è una rappresentazione virtuale di un sistema fisico, capace di replicarne il comportamento e fornire dati in tempo reale sul suo stato.

Questi output vengono costantemente confrontati con i dati della controparte reale, permettendo al sistema – tramite metodi statistici o IA – di prevedere le prestazioni future, rilevare anomalie e supportare strategie di manutenzione preventiva.

Per svolgere tali funzioni, la tipica architettura di un digital twin è illustrata in Figura 1.

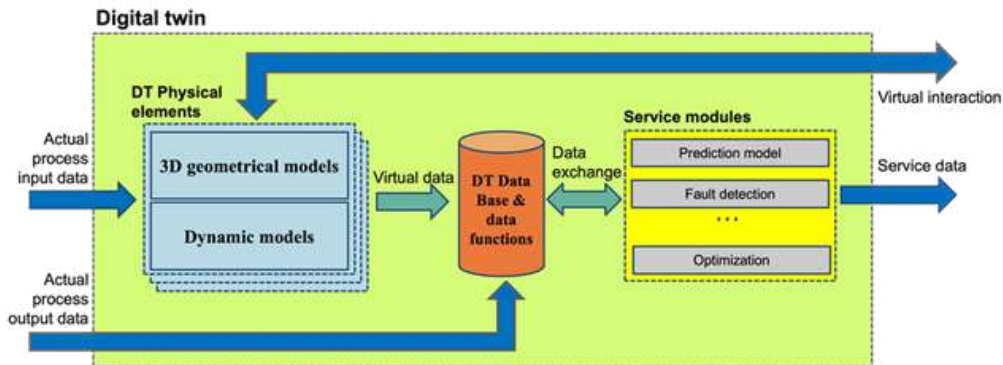


Figura 1. Architettura di un digital twin.

Sul lato sinistro dello schema è rappresentata la copia virtuale del sistema fisico (DT Physical elements). Essa include un insieme di modelli geometrici 3D, che descrivono la morfologia del sistema, e modelli dinamici che ne simulano il comportamento operativo. Questi modelli ricevono gli stessi dati di input del sistema reale e, una volta eseguiti, generano dati virtuali di output che confluiscono nella piattaforma dati del digital twin (DT Database). Qui i dati virtuali vengono integrati con le misurazioni in tempo reale del processo fisico — indicate dalla freccia blu di input — e resi disponibili per l'interazione bidirezionale con vari moduli di servizio (previsione, rilevamento guasti, ottimizzazione).

Tali moduli elaborano e raffinano i dati, producendo informazioni utili per decisioni tattiche e strategiche. Inoltre, il digital twin può interoperare con altri gemelli digitali tramite lo strato di interazione virtuale superiore, consentendo simulazioni cooperative di sistemi complessi e su larga scala.

Si consideri, ad esempio, lo sviluppo di un digital twin per un braccio robotico. Questo richiede l'integrazione di modelli 3D dettagliati di ciascun segmento — dalla base al gripper — insieme alle equazioni dinamiche che ne governano il movimento. Un unico comando di traiettoria viene inviato in parallelo sia al robot fisico sia al suo gemello virtuale. Quest'ultimo esegue la simulazione e genera dati virtuali su posizione del gripper, coppie dei motori, correnti elettriche e altre variabili di stato rilevanti.

Questi dati vengono registrati nel database del digital twin insieme ai corrispettivi reali del sistema fisico. I moduli di servizio svolgono analisi comparative, abilitando funzioni chiave come rilevamento precoce di anomalie, pianificazione della manutenzione predittiva e ottimizzazione delle strategie di controllo — oltre a servizi aggiuntivi specifici dell'applicazione.



1.3 Il Digital Twin e le sue applicazioni

Il digital twin è diventato uno strumento chiave per la riduzione dei costi industriali grazie alla sua duplice funzione. Da un lato, agisce come banco di prova virtuale: consente di “modellare e simulare” intere linee produttive – flussi di materiali, parametri di processo, consumi energetici – così da individuare e correggere errori di progettazione prima di investire nell’infrastruttura fisica. Dall’altro, se connesso in tempo reale alla sua controparte fisica in un “sistema ciber-fisico”, il digital twin è prezioso per il rilevamento precoce di guasti, l’ottimizzazione dei processi e la manutenzione predittiva basata su IA. Ne derivano minimi tempi di fermo, qualità superiore e maggiore durata dei macchinari. Inoltre, i dati storici alimentano algoritmi di miglioramento continuo, la formazione degli operatori in ambienti AR e la valutazione dell’impronta di carbonio lungo il ciclo di vita del prodotto.

Il successo dei digital twin in manifattura ne ha favorito la diffusione in ambiti diversi da quelli originari.

Un esempio è l’agricoltura di precisione, dove gemelli digitali di suoli, colture e infrastrutture permettono di modellare in dettaglio l’evoluzione dei terreni – in campo aperto o in serre hi-tech – anticipando accuratamente i bisogni. Integrando dati in tempo reale da sensori di umidità, stazioni meteo, camere iperspettrali e robot mobili, questi twin possono prevedere tassi di crescita, stress idrico o rischi fitosanitari. Le risorse – acqua, fertilizzanti, fitofarmaci – vengono così applicate solo dove e quando servono, riducendo costi e impatto ambientale. Inoltre, simulando scenari climatici e di mercato, supportano le decisioni di semina, ottimizzano la logistica post-raccolta e consentono previsioni di resa con settimane di anticipo. Questo approccio data-driven trasforma l’agricoltura in un ecosistema ciber-fisico intelligente, dove ogni ettaro ha il proprio avatar virtuale per guidare decisioni e ottimizzare produttività e sostenibilità. È da qui che nasce anche il concetto di Agricoltura 4.0.

Anche il turismo ha adottato i digital twin per la riproduzione virtuale di ambienti reali, aprendo la strada al “Turismo 4.0”. Con droni dotati di sensori LiDAR e camere ad alta risoluzione, strutture e siti archeologici – come basiliche e fori di Roma antica – possono essere ricostruiti in modelli 3D dettagliati. Questi modelli non solo preservano il patrimonio culturale, ma consentono esplorazioni virtuali senza i limiti del terreno o i danni del turismo di massa.

Inoltre, i digital twin trovano impiego in applicazioni AR, sovrapponendo grafiche storiche o guide multimediali a monumenti e paesaggi reali, offrendo narrazioni contestuali in tempo reale che arricchiscono l'esperienza culturale. Per un'immersione ancora più completa, i modelli possono essere caricati in ambienti metaverso dove i visitatori esplorano repliche virtuali, interagiscono con oggetti e avatar, pianificano percorsi personalizzati e valutano accessibilità prima del viaggio. Ciò diversifica l'offerta turistica con esperienze ibride fisico-digitali e genera dati preziosi sui flussi dei visitatori per migliorare pianificazione, tutela del patrimonio e sostenibilità delle destinazioni.

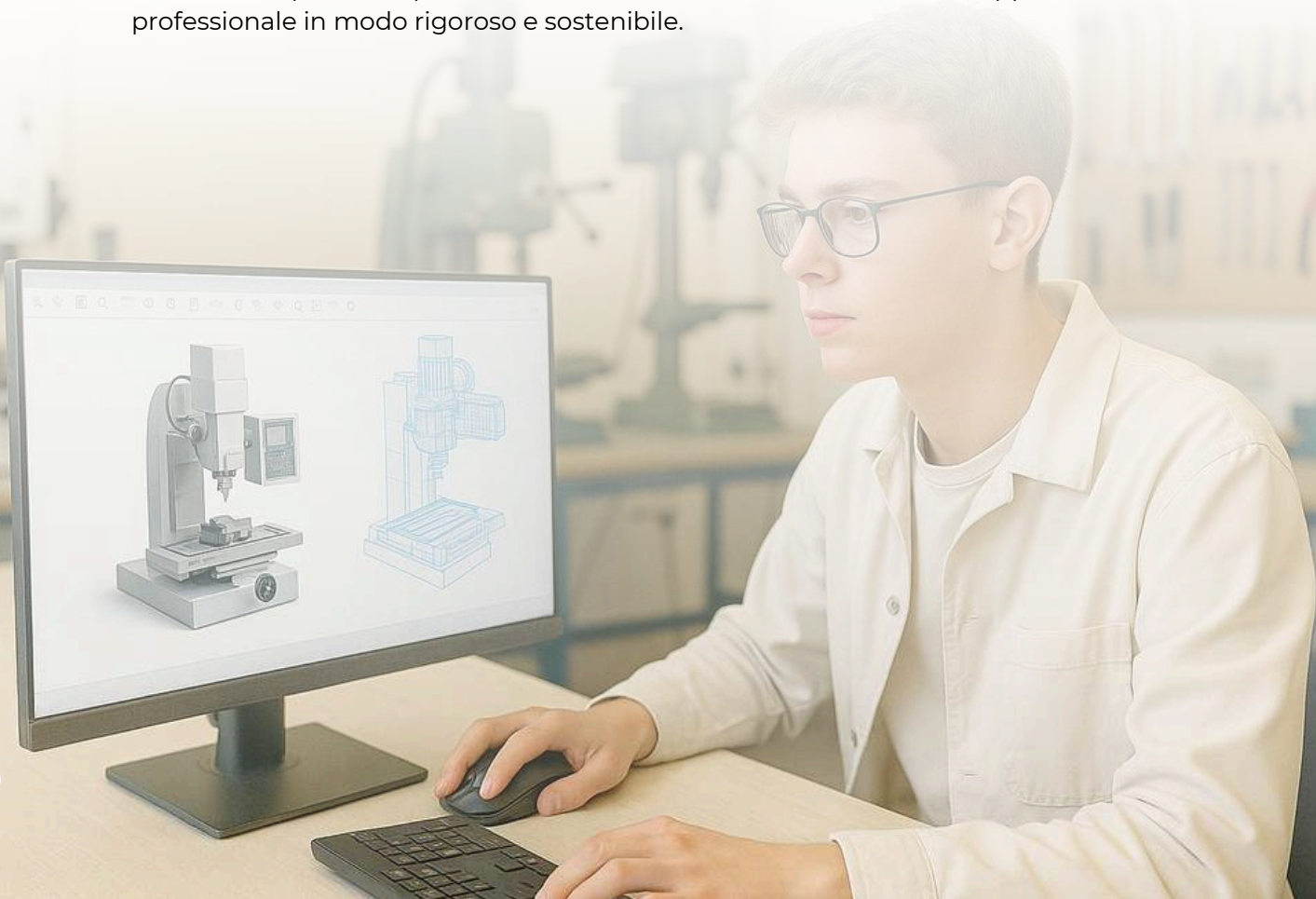
In sanità, il concetto di “Medicina 4.0” è emerso grazie ai digital twin. I primi ad adottarli sono stati ortopedia e neurochirurgia, dove i sistemi di navigazione chirurgica includono repliche 3D del paziente, permettendo ai chirurghi di simulare interventi in anticipo. In ortopedia, ad esempio, l'osso interessato viene ricostruito con precisione, consentendo di pianificare virtualmente fresature e perforazioni per garantire l'esatto alloggiamento della protesi. In neurochirurgia, un modello 3D del cervello aiuta a definire l'approccio migliore per raggiungere la lesione riducendo al minimo i danni a strutture critiche. Oltre a queste tecniche pionieristiche, i digital twin vengono usati per pianificare resezioni con margini di sicurezza e per prevedere in tempo reale la risposta emodinamica durante procedure vascolari (come la riparazione di aneurismi aortici) o oncologiche (resezioni di tumori al fegato o rene).

Oltre alla sala operatoria, la farmacologia utilizza digital twin data-driven per prevedere farmacocinetica ed effetti collaterali in gruppi di pazienti specifici. Questi twin si basano su modelli statistici addestrati con storie cliniche, dati genomici e biomarcatori, così da categorizzare pazienti e personalizzare i dosaggi. Intanto, digital twin multiscala – che combinano dinamica molecolare, fisiologia d'organo e dati da dispositivi indossabili – vengono sviluppati per prevedere crisi epilettiche, aritmie e scompensi metabolici prima che accadano. Ne risulta un ecosistema ciber-fisico in cui sala operatoria, laboratorio e paziente sono interconnessi, abilitando una medicina anticipatoria, minimamente invasiva e centrata sulla persona.

1.4 Digital Twin nell'istruzione

Le università hanno valorizzato i digital twin integrandoli come strumenti didattici attivi e contestualizzati. Una replica virtuale di una macchina, un impianto pilota o un intero laboratorio consente agli studenti di sperimentare procedure in un ambiente privo di rischi, eliminando i costi e i pericoli dell'uso diretto di attrezzature fisiche. All'interno di approcci basati su problem-based learning, gli studenti possono diagnosticare guasti, regolare parametri e osservare immediatamente le conseguenze delle proprie decisioni. Questo metodo chiude il ciclo teoria-pratica, offrendo un apprendimento più profondo e motivante.

È risultato efficace sia nei corsi di ingegneria chimica, dove la simulazione al computer unita alla gamification arricchisce la formazione online, sia nell'addestramento di tecnici di manutenzione aeronautica tramite gemelli digitali di motori a reazione. Similmente, simulatori virtuali di chirurgia laparoscopica permettono ai futuri specialisti di affinare abilità psicomotorie e strategiche senza rischi per i pazienti, mentre repliche digitali di reti elettriche intelligenti facilitano la formazione degli operatori nella gestione di scenari critici. In conclusione, i digital twin creano un ecosistema educativo flessibile, accessibile e scalabile, capace di promuovere eccellenza accademica e sviluppo professionale in modo rigoroso e sostenibile.



2. La rilevanza dei Digital Twin nella IFP

2.1 Perché è importante: il potenziale impatto dei Digital Twin su Industria 4.0 e forza lavoro futura

2.1.1 Nell'Industria 4.0: un motore di efficienza e innovazione

Ottimizzazione dei processi

I digital twin permettono il monitoraggio in tempo reale di impianti, macchinari e interi sistemi produttivi. Ciò porta a diversi vantaggi concreti. Primo: supportano la manutenzione predittiva, riducendo guasti e tempi di fermo. Secondo: tramite simulazioni avanzate è possibile testare modifiche o nuovi prodotti senza rischi reali. Inoltre, i digital twin contribuiscono alla riduzione dei costi: secondo uno studio (Oliver Wyman, 2016, Digital Twins: Identical, But Different), il loro uso può ridurre i tempi di progettazione e sviluppo fino al 25%, con risparmi del 10–15% sui costi complessivi.

Integrazione con altre tecnologie

I digital twin sono altamente versatili e integrabili con diverse tecnologie avanzate. In combinazione con l'Internet of Things (IoT), permettono la raccolta dati in tempo reale dai sistemi fisici. Integrati con l'Intelligenza Artificiale (IA), supportano analisi predittive e processi decisionali automatizzati. Associati al Big Data, consentono la gestione e l'interpretazione di grandi volumi di informazioni complesse. Inoltre, l'integrazione con sistemi SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) aiuta a colmare il divario tra dati raccolti dall'ambiente fisico e loro rappresentazione digitale.

Collaborazione e trasparenza

I digital twin offrono una visione condivisa e costantemente aggiornata dell'intero ciclo di vita di un prodotto o processo. Questa visibilità rafforza la collaborazione tra team e reparti diversi e facilita la comunicazione tra fornitori, produttori e clienti. Il risultato è un flusso di lavoro più trasparente, coordinato e allineato alle condizioni reali in tempo reale.

2.1.2 Per la forza lavoro futura: competenze ed occupabilità

Nuove competenze richieste

L'integrazione dei digital twin negli ambienti industriali sta ridefinendo le competenze necessarie ai professionisti. Oggi i lavoratori devono saper leggere e interpretare dati digitali, come cruscotti, grafici e indicatori chiave (KPI). Devono inoltre comprendere le informazioni provenienti da sensori e sistemi di monitoraggio, così come interpretare simulazioni e scenari predittivi. Ad esempio, un operatore di linea deve analizzare dati di vibrazioni e temperature di un motore per riconoscere quando serve manutenzione.

Oltre alla data literacy, i professionisti devono saper interagire con interfacce digitali e ambienti virtuali. Ciò include l'uso di HMI (Human-Machine Interface), la navigazione in gemelli digitali 3D di impianti o sistemi e la familiarità con strumenti di AR/VR. Un esempio pratico è il tecnico di manutenzione che esplora la replica virtuale di un impianto per pianificare un intervento senza accedervi fisicamente.

Il digital troubleshooting è un'altra competenza cruciale. I lavoratori devono saper individuare anomalie tramite strumenti digitali, eseguire simulazioni per diagnosticare i problemi e collaborare con i team tecnici per soluzioni efficaci. Un manutentore, ad esempio, può simulare la sostituzione di un componente nel digital twin per valutarne gli effetti prima di agire sul sistema reale.

È inoltre essenziale una comprensione più profonda dei processi industriali digitalizzati: familiarità con flussi di lavoro automatizzati, capacità di seguire procedure software-driven e flessibilità nell'operare in sistemi interconnessi. Un operatore logistico, ad esempio, deve sapere come le modifiche nel digital twin di un magazzino influenzino inventario e gestione delle scorte.

Infine, collaborazione digitale e comunicazione tecnica sono competenze chiave. I professionisti devono condividere dati e report su piattaforme digitali, comunicare efficacemente con ingegneri, analisti e sviluppatori e partecipare a processi decisionali basati su dati. Un team di produzione, ad esempio, può usare il digital twin per coordinare aggiustamenti e allineare tutti gli stakeholder.

Formazione immersiva e pratica

I digital twin offrono anche una risorsa potente per l'istruzione e la formazione. Creano ambienti realistici, interattivi e privi di rischi, in cui gli studenti possono sperimentare sistemi virtuali ed esplorare scenari complessi in sicurezza. Questo approccio pratico sviluppa non solo abilità tecniche, ma anche competenze trasversali come problem solving, pensiero critico e collaborazione digitale, fondamentali nei contesti industriali moderni.

Occupabilità e adattabilità

La formazione con i digital twin aumenta significativamente l'occupabilità degli studenti. Li prepara a lavorare in ambienti altamente automatizzati e tecnologici, fornendo loro anche competenze per nuovi ruoli in manutenzione intelligente, progettazione digitale e gestione dei dati industriali. La capacità di adattarsi a contesti lavorativi in rapida evoluzione diventa così un asset prezioso nell'Industria 4.0.





2.2 Impatto sui programmi IFP: come i Digital Twin possono influenzare la formazione tecnica

Trasformazione della didattica tradizionale

L'integrazione dei Digital Twin nella istruzione e formazione professionale (IFP) segna un passaggio dal modello teorico a uno più esperienziale, immersivo e interattivo. Invece di ricevere passivamente nozioni, gli studenti partecipano a simulazioni che riproducono scenari industriali reali. Possono interagire con repliche virtuali di impianti, macchinari o processi produttivi ed esplorare situazioni complesse in un ambiente sicuro. Questo approccio pratico aumenta motivazione e coinvolgimento, stimola responsabilità sugli apprendimenti, favorisce collaborazione tra pari e consente valutazioni più dinamiche.

Percorsi formativi personalizzati

Uno dei principali vantaggi dei Digital Twin è la flessibilità, che consente esperienze di apprendimento altamente personalizzate. I contenuti possono essere adattati al livello di competenza dello studente e ai suoi obiettivi professionali. Ciò rende possibili percorsi differenziati e moduli interdisciplinari, offrendo a ciascun allievo un percorso mirato e rilevante.

Sviluppo di competenze operative e digitali

Con i Digital Twin, gli studenti acquisiscono sia competenze operative sia digitali. Imparano a leggere e interpretare dati dei sistemi digitali, usare pannelli HMI, navigare in ambienti 3D e collaborare in team digitali. La capacità decisionale diventa cruciale: grazie alle simulazioni, possono testare strategie diverse e valutarne gli effetti. Così si preparano a contesti di lavoro automatizzati e interconnessi, sviluppando anche soft skills come problem solving, pensiero critico e comunicazione efficace, insieme a familiarità con ambienti virtualizzati.

Apprendimento contestualizzato

I Digital Twin consentono esperienze di apprendimento contestualizzate in ambienti virtuali che riflettono fedelmente i sistemi industriali reali. Gli studenti comprendono così il funzionamento pratico di macchinari e processi, osservando effetti immediati di modifiche o errori e acquisendo una visione sistemica dei flussi produttivi. Ad esempio, un allievo di meccatronica può programmare un braccio robotico e vederlo operare su una linea virtuale, ricavando conoscenze preziose senza rischi fisici.

Competenze operative e procedurali

I Digital Twin rafforzano lo sviluppo di abilità tecniche e procedurali. Gli studenti esercitano diagnostica e manutenzione predittiva analizzando dati da sensori e simulazioni. Imparano a controllare processi regolando parametri in ambienti virtuali e ad affrontare scenari di emergenza simulati per la sicurezza. Questa pratica senza rischi consolida competenze prima dell'ingresso in contesti reali. Ad esempio, possono simulare guasti e pianificare interventi di manutenzione in spazi interamente virtuali.

Competenze digitali integrate

Oltre alle competenze tecniche, i Digital Twin favoriscono lo sviluppo di competenze digitali trasversali applicabili in vari settori: navigazione in interfacce 3D e HMI, interpretazione di dati tecnici, uso di software di modellazione e simulazione. In applicazioni pratiche come l'agricoltura di precisione, gli studenti possono usare dashboard digitali per gestire irrigazione e fertilizzazione, imparando ad applicare strumenti digitali a sfide reali.

Formazione adattiva e personalizzata

I Digital Twin supportano l'apprendimento adattivo permettendo di modulare contenuti e attività in tempo reale. In questo modo, ciascuno segue un percorso coerente con competenze attuali, obiettivi professionali e richieste tecniche del settore. Un principiante può iniziare con esercizi guidati passo-passo, mentre studenti avanzati affrontano scenari complessi e aperti che stimolano problem solving e decision making.

Valutazione realistica delle competenze

Un altro punto di forza dei Digital Twin è la possibilità di valutazioni realistiche e basate sui dati. I docenti possono monitorare azioni e risultati degli studenti nelle simulazioni, ottenendo un quadro oggettivo delle competenze tecniche. Le valutazioni possono essere formative, fornendo feedback immediato per migliorare, e autentiche, poiché svolte in ambienti che imitano fedelmente condizioni reali. Un insegnante, ad esempio, può valutare la capacità di uno studente di risolvere un guasto simulato in un impianto virtuale, verificandone l'effettiva prontezza al lavoro.



2.3 Colmare il gap di competenze: come la tecnologia Digital Twin può migliorare l'occupabilità

Collegare istruzione e industria

Una delle sfide più urgenti nella formazione tecnica e professionale è il divario tra le competenze richieste dall'industria e quelle realmente acquisite dagli studenti. I Digital Twin offrono un mezzo potente per colmare questa distanza. Replicando fedelmente ambienti, macchinari e processi industriali, portano il luogo di lavoro direttamente in aula. Gli studenti possono così confrontarsi con scenari realistici in un contesto virtuale, acquisendo esperienza pratica anche quando l'accesso a impianti complessi o costosi è limitato. In questo modo la formazione si allinea meglio alle pratiche e alle tecnologie attuali del settore.

Sviluppo di competenze tecniche avanzate

Attraverso i Digital Twin, gli studenti hanno l'opportunità di sviluppare competenze tecniche di alto livello, sempre più richieste nell'industria moderna. Acquisiscono familiarità con strumenti digitali e interfacce uomo-macchina (HMI), imparano a leggere e interpretare dati provenienti da sensori e sistemi IoT. Inoltre, fanno esperienza operativa lavorando su installazioni virtuali che simulano compiti reali — come eseguire manutenzioni, controllare qualità o gestire flussi logistici — costruendo competenza e fiducia prima di entrare nel mercato del lavoro.

Apprendimento basato sulla risoluzione di problemi

I Digital Twin supportano anche un approccio problem-based, dove gli studenti partecipano attivamente alla risoluzione di sfide reali. La formazione può essere organizzata intorno a compiti come diagnosticare guasti, ottimizzare processi o prendere decisioni operative di fronte a eventi simulati. Scenari critici — come guasti di sistema, emergenze o variazioni della domanda produttiva — possono essere ricreati per testare capacità di risposta e ragionamento. Questa metodologia stimola la collaborazione interdisciplinare, collegando competenze di meccanica, elettronica, IT e logistica, riflettendo meglio la natura integrata degli ambienti industriali odierni.

Allineamento ai requisiti aziendali

Con l'adozione crescente delle tecnologie di Industria 4.0, le aziende cercano professionisti capaci di comprendere e gestire sistemi digitali complessi, adattarsi rapidamente a nuovi strumenti e flussi di lavoro e operare in contesti collaborativi, spesso virtuali. La formazione basata sui Digital Twin aiuta a soddisfare queste esigenze, dotando gli studenti della fluidità tecnologica e della flessibilità richieste nei moderni luoghi di lavoro. Così l'istruzione diventa più rispondente ai bisogni reali delle imprese, aumentando l'occupabilità e riducendo i tempi di training sul campo.



2.4 Strategie per sviluppare sinergie tra sistema IFP e Industria 4.0

L'obiettivo generale è costruire un ecosistema solido di formazione-industria capace di rispondere alle sfide della trasformazione digitale e preparare una forza lavoro con le competenze necessarie per il futuro. Ciò richiede di ripensare il rapporto tra istruzione e industria, promuovendo collaborazione attraverso risorse condivise, percorsi co-progettati e ambienti formativi innovativi.

Co-progettazione dei corsi di formazione

Una delle strategie più efficaci per allineare l'istruzione alle esigenze del mercato del lavoro è la co-progettazione dei curricula tra scuole e imprese. Questo approccio collaborativo assicura che i contenuti riflettano le richieste del settore e i progressi tecnologici. Consente di integrare moduli su tecnologie emergenti — come Digital Twin, IoT e Intelligenza Artificiale — e favorisce il coinvolgimento attivo dei professionisti aziendali nell'insegnamento. La loro esperienza porta in aula prospettive reali, arricchendo l'apprendimento.

Laboratori e ambienti simulati

Creare laboratori tecnologici accessibili a scuole e imprese è un passo chiave per rafforzare il legame tra formazione e industria. Questi spazi condivisi permettono agli studenti di interagire con tecnologie avanzate — Digital Twin, robotica, realtà aumentata — e di fare esperienza pratica in ambienti simulati molto vicini a quelli produttivi reali. Questa esposizione aumenta non solo la competenza tecnica, ma anche la sicurezza nell'affrontare contesti digitalizzati.

Tirocini, stage e apprendistato duale

Le esperienze di apprendimento sul lavoro hanno un ruolo centrale nello sviluppo professionale. Programmi come tirocini, stage e apprendistati duali offrono agli studenti accesso diretto al posto di lavoro, dove possono applicare competenze in contesti pratici e imparare da professionisti esperti. Queste esperienze sono cruciali anche per sviluppare soft skills come autonomia, comunicazione e adattabilità. Inoltre, i progetti di problem solving durante i placement rafforzano pensiero critico e capacità decisionali in scenari reali.

Reti locali e partnership strategiche

Per aumentare capacità di innovazione e reattività, le scuole aderiscono sempre più a reti locali e stringono partnership con altre istituzioni, imprese e enti pubblici. Queste collaborazioni facilitano la condivisione di risorse, esperienze e buone pratiche. Creano inoltre un dialogo strutturato con il tessuto produttivo locale, permettendo alle scuole di restare aggiornate sulle esigenze del settore. La partecipazione a programmi di finanziamento nazionali ed europei — Erasmus+, PNRR, Digital Europe — sostiene lo sviluppo di iniziative comuni e la diffusione di modelli di successo.

Piattaforme digitali per la collaborazione

Le piattaforme digitali sono strumenti potenti per coordinare e gestire progetti formativi con più attori. Consentono a scuole e imprese di collaborare in modo efficiente, monitorare i progressi degli studenti e collegare i profili formativi alle opportunità di lavoro. Esempi sono i portali online per gestire i tirocini, le piattaforme per organizzare e monitorare attività con Digital Twin e gli ambienti virtuali per la didattica a distanza. Queste tecnologie contribuiscono a creare un ecosistema di apprendimento integrato e dinamico, dove istruzione e industria cooperano per formare la forza lavoro di domani.



3. Strategie pedagogiche per l'insegnamento con i Digital Twin

I Digital Twin sono rappresentazioni virtuali in tempo reale di sistemi fisici, che offrono esperienze immersive, interattive e basate sui dati, trasformando insegnamento e apprendimento.

Di seguito alcune strategie pedagogiche efficaci per integrarli nella formazione IFP.

- Apprendimento esperienziale – Uso dei Digital Twin per simulazioni pratiche. Gli studenti interagiscono con il gemello di un sistema fisico per esplorare relazioni causa-effetto e allenare il problem solving in tempo reale. Base pedagogica: ciclo di Kolb (Esperienza concreta → Osservazione riflessiva → Concettualizzazione astratta → Sperimentazione attiva).
- Apprendimento basato sull'indagine – Le lezioni ruotano intorno a domande aperte e problemi da esplorare con i DT. Esempio: indagare come vengono applicate modifiche in un gemello digitale di un sistema HVAC. L'obiettivo è stimolare ragionamento scientifico, pensiero critico e comprensione profonda.
- Apprendimento basato su progetti (PBL) – Gli studenti progettano, testano e iterano soluzioni usando DT in progetti collaborativi di lungo periodo. Es.: sviluppare e ottimizzare processi con un DT di un distretto.
- Apprendimento basato su problemi – Presentazione di problemi reali modellati in DT. Es.: usare un DT di un centro veterinario per affrontare problemi di contaminazione. Si favorisce l'applicazione di conoscenze interdisciplinari in contesti autentici.
- Scaffolding e apprendimento adattivo – Introduzione graduale della complessità con DT dotati di analisi integrate o feedback in tempo reale. Si parte da funzioni base e si aggiungono layer (IoT, analytics predittivi) con l'avanzare degli studenti.
- Apprendimento riflessivo – Gli studenti riflettono sulle azioni svolte nei DT, analizzando cosa ha funzionato o meno e perché. Utile mantenere diari di apprendimento o schede di riflessione dopo le simulazioni.

- Apprendimento collaborativo – Uso dei DT in gruppo per potenziare comunicazione, negoziazione e problem solving condiviso. In una fabbrica virtuale, gli studenti assumono ruoli diversi (operatore, ingegnere, manager) per risolvere sfide produttive.
- Gamification e motivazione – Inserimento di elementi ludici come sfide, badge e classifiche. Premi a design efficienti o soluzioni innovative con metriche reali. Attenzione: le dinamiche di gioco devono sostenere, non distrarre dall'apprendimento.
- Classe capovolta – Assegnare interazioni con DT come attività pre- o post-lezione per massimizzare discussione e analisi in aula. Es.: esplorare un DT di una rete energetica e poi discutere in classe strategie di sostenibilità.
- Valutazione e feedback – Uso dei dati delle interazioni nei DT per valutare risultati in tempo reale.
 - Formativa: tracciare decisioni degli studenti e fornire feedback immediato.
 - Sommativa: valutare prestazioni finali o report prodotti.

Inoltre, qui in DiTwin abbiamo trovato attività pratiche in cui gli studenti creano e interagiscono con i gemelli digitali, organizzate per livello di competenza e disciplina. Queste attività promuovono l'apprendimento approfondito, la risoluzione dei problemi e l'alfabetizzazione digitale, assegnando agli studenti ruoli attivi come progettisti, analisti o operatori di sistemi digitali.

L'obiettivo principale è comprendere il concetto di digital twin e l'interazione di base con esso. È altrettanto importante iniziare a progettare o a costruire parzialmente un digital twin, ed esercitarsi nell'analisi e nel miglioramento iterativo.

Alcuni compiti possibili sono:

- Esplorare un digital twin pre-costruito
- Modificare parametri in un twin
- Creare un digital twin di un oggetto fisico semplice
- Simulare e ottimizzare un sistema fisico
- Costruire un digital twin di una smart room o di un laboratorio
- Progettare un sistema di manutenzione predittiva

Vorremmo inoltre richiamare l'attenzione su alcune attività trasversali:

- Diari di riflessione: gli studenti documentano ciò che hanno osservato, modificato e appreso dall'interazione con i digital twin.
- Peer review: i gruppi valutano i modelli dei twin realizzati dagli altri per realismo, usabilità ed efficacia.
- Mini-hackathon: sfide a tempo in cui gli studenti devono risolvere problemi usando o modificando i loro twin.

Usare i digital twin per testare processi in ambienti virtuali prima delle applicazioni nel mondo reale è uno degli utilizzi più potenti e pratici di questa tecnologia, soprattutto in educazione, ingegneria, business e design dei sistemi. Ecco una sintesi del perché e del come sia efficace, e di come possa essere implementata in contesti educativi o formativi.

Testare processi in un digital twin significa simulare flussi di lavoro, sistemi o comportamenti in un ambiente digitale che rispecchia le condizioni reali, prima della loro applicazione o implementazione fisica.

- Permette sperimentazione sicura, ottimizzazione e previsione degli esiti.
- È diffuso in ingegneria, manifattura, sanità, urbanistica e logistica.

Fornire materiali online, come video, simulazioni e moduli interattivi, prima delle sessioni pratiche in un ambiente di digital twin è una strategia altamente efficace di flipped classroom. Prepara cognitivamente gli studenti, che così possono partecipare in modo più attivo e profondo alla fase pratica con il digital twin.

Perché usare materiali pre-classe con i Digital Twin?

Beneficio	Impatto
Maggiore preparazione	Gli studenti arrivano con conoscenze di base, pronti ad applicare i concetti.
Massimizzazione del tempo di pratica	Meno tempo per spiegazioni, più tempo per sperimentazioni.
Supporta diversi stili di apprendimento	Visivo (video), cinestetico (simulazioni) e uditivo (narrazione) ne traggono beneficio.
Migliori risultati di apprendimento	Rafforzamento delle conoscenze tramite studio preliminare e pratica attiva.

Materiali online consigliati prima delle attività con i Digital Twin:

A) Video introduttivi ai concetti

- Cosa: brevi spiegazioni (5–10 min) di concetti e processi chiave legati al tema DT.
-
- Esempi di argomenti:
 - Come funziona un digital twin
 - Flusso e interpretazione dei dati dai sensori
 - Panoramica del sistema modellato (es. HVAC, turbina eolica)

B) Simulazioni guidate passo-passo

- Cosa: moduli interattivi o screencast che mostrano come navigare nell'interfaccia DiTwin, regolare variabili e analizzare i risultati.
- Strumenti:
 - Integrazione LMS (Moodle, Canvas): simulazioni con quiz
 - H5P: video quiz interattivi o scenari ramificati

C) Compiti pre-laboratorio

- Cosa: quiz o schede che verificano che gli studenti:
 - Sappiano cosa simula il DiTwin
 - Comprendano variabili e controlli chiave
 - Sappiano interpretare metriche semplici
- Obiettivo: attivare conoscenze pregresse e verificare la comprensione

D) Modelli o dashboard di digital twin

- Cosa: screenshot o anteprime interattive del sistema DT con spiegazioni
- Scopo: familiarizzare gli studenti con componenti e ruoli prima della pratica.

E) Video di casi reali

- Cosa: brevi video che mostrano l'uso di DT simili in ambito industriale (es. smart grid, manutenzione aeronautica, etc...).
- Risultato: aumenta rilevanza e motivazione.

Incoraggiare il lavoro di squadra nella risoluzione di problemi reali con i Digital Twin stimola collaborazione, pensiero critico e preparazione al mondo del lavoro. I DT offrono la piattaforma ideale perché riflettono sistemi complessi, gli stessi che i team affrontano nell'industria.

Perché utilizzare i lavori di gruppo nell'apprendimento con i modelli digitali?

Beneficio	Impatto
Simula le condizioni industriali	La maggior parte dei progetti reali con DiTwin coinvolge team multidisciplinari.
Favorisce comunicazione e collaborazione	I gruppi devono coordinare decisioni, compiti e interpretazioni dei dati.
Potenzia il problem solving	Prospettive diverse generano soluzioni più innovative e praticabili.
Sviluppa soft skills	Leadership, negoziazione, condivisione di responsabilità – tutte competenze cruciali sul lavoro.

4. Svolgere attività in classe basate sui Digital Twin: guida passo-passo ai moduli DiTwin

4.1 Come funziona il Sistema

Il sistema sviluppato dal partenariato DiTwin consente attività pratiche e di apprendimento basato sul lavoro (WBL) a distanza, fornendo la simulazione 3D di un oggetto reale connesso al sistema. Questo apre diverse possibilità: dall'osservare come funziona una macchina reale all'interagire con essa tramite la simulazione e ricevere feedback diretto. Il sistema DiTwin si articola in 3 principali laboratori:

Laboratorio remoto per la manifattura additiva

Integra una stampante 3D connessa in rete con la piattaforma DiTwin per supportare attività di manifattura additiva e CAD. Consente simulazioni virtuali di processi di stampa 3D. Tramite il sistema, l'utente può inviare il codice generato direttamente alla stampante e monitorare il processo in tempo reale tramite webcam.

Laboratorio remoto di cella robotica

Comprende una cella robotica basata su un braccio robotico collaborativo (cobot), dotato di sensori di prossimità e nastro trasportatore. Tutti i componenti sono gestiti dall'unità di controllo del braccio. Un digital twin replica tutte le funzionalità della cella, permettendo agli studenti di programmare compiti nell'ambiente virtuale. Le attività possono poi essere inviate alla cella fisica, con esecuzione monitorata in tempo reale via webcam.

Laboratorio remoto per la gestione dei processi produttivi nell'Industria 4.0

È una Cyber-Physical Factory, progettata per rispecchiare il nuovo paradigma produttivo dell'Industria 4.0. Offre un sistema modulare di Smart Factory per didattica e ricerca, capace di riprodurre diverse configurazioni di sistemi automatizzati tipici di Industria 4.0.

Il sistema DiTwin può essere utilizzato da scuole e studenti senza installare software specifici. Solo alcuni strumenti comuni possono essere richiesti (es. app di desktop remoto e videoconferenza). Gli utenti possono collegarsi tramite la piattaforma e prenotare direttamente le lezioni disponibili.



4.2 I moduli

Gli utenti possono scegliere tra tre moduli, con diverse lezioni per ciascuno.

I moduli prodotti riguardano i seguenti 3 profili del DiTwin Competence Framework:

- Profilo 1. Tecnico della manifattura additiva
- Profilo 4. Tecnico dell'automazione per Industria 4.0
- Profilo 10. Tecnico delle macchine robotiche per Industria 4.0

Profilo 1. Tecnico della manifattura additiva

Il tecnico della manifattura additiva è responsabile del corretto funzionamento delle stampanti 3D, compresa installazione, manutenzione e riparazione. Conosce i fondamenti della manifattura additiva, il funzionamento dei diversi sistemi e i vantaggi di ciascuna tecnologia. Tra i compiti principali: preparare e gestire i file di stampa, garantire gli standard di qualità, diagnosticare e svolgere manutenzione, selezionare i materiali più adatti per le applicazioni. Si occupa inoltre del controllo qualità lungo l'intero processo, dalla preparazione alla gestione delle attività di base sulla stampante 3D.

Profilo 4. Tecnico dell'automazione per Industria 4.0

Il tecnico dell'automazione per Industria 4.0 si occupa di creare, riparare e mantenere sistemi automatizzati di base negli ambienti industriali. Ha una solida conoscenza di mecatronica, automazione, robotica, elettrotecnica, elettronica, pneumatica e idraulica. Tra i compiti: uso dei PLC (Programmable Logic Controllers), monitoraggio dei sistemi di produzione automatizzati, esecuzione di riparazioni e manutenzioni di base, installazione di sistemi automatici. È inoltre in grado di descrivere indicatori di manutenzione e tecniche diagnostiche per garantire il funzionamento ottimale dei processi.

Profilo 10. Tecnico delle macchine robotiche per Industria 4.0

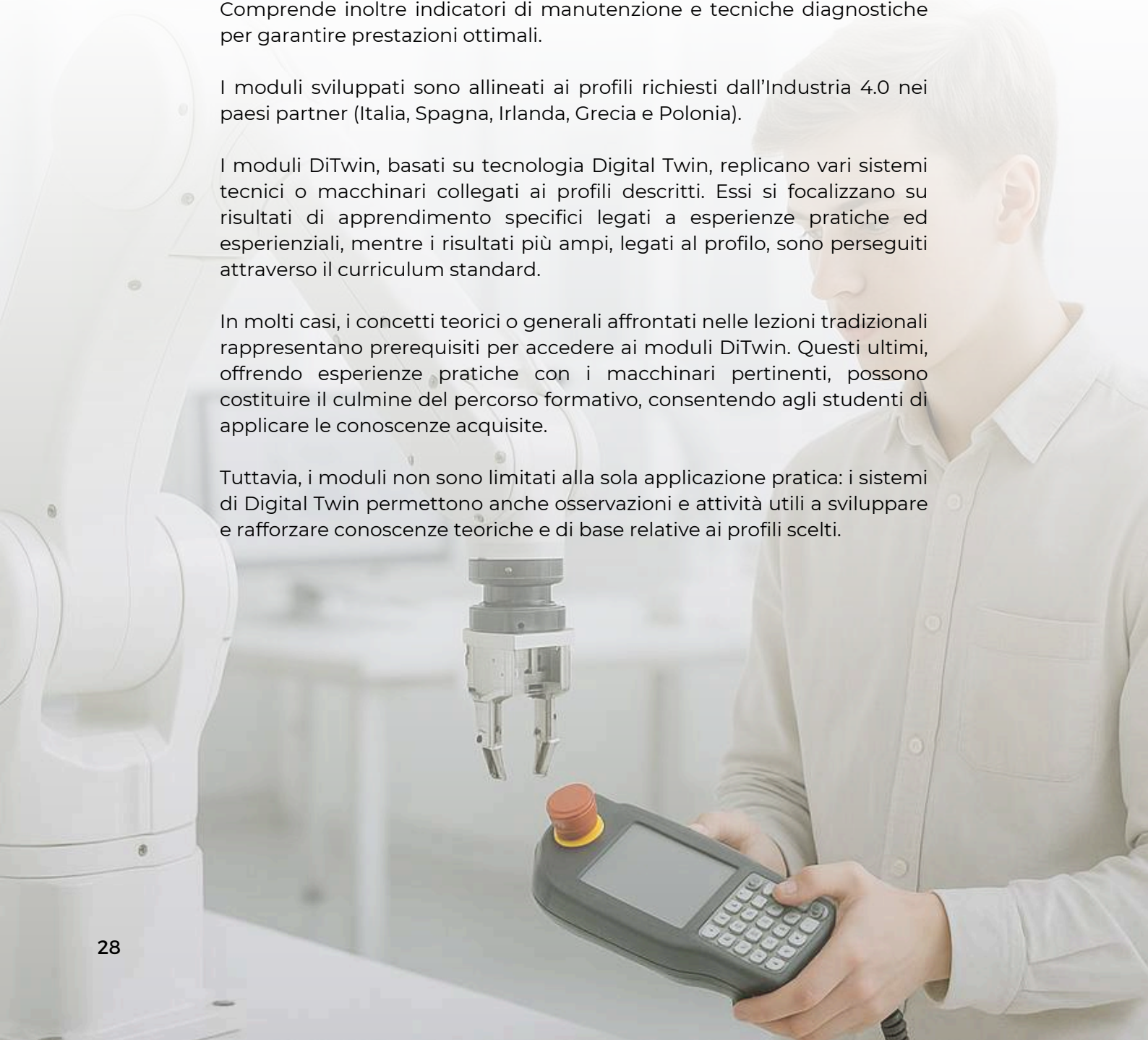
Il tecnico delle macchine robotiche per Industria 4.0 è responsabile della configurazione, gestione e manutenzione di macchine robotiche in ambito industriale. Conosce componenti, caratteristiche e applicazioni dei robot, distinguendo tra robot avanzati e collaborativi e le differenze con quelli industriali tradizionali. Sa programmare, configurare e monitorare bracci robotici industriali, eseguire manutenzioni di base e identificare rischi e problematiche di sicurezza nell'uso dei robot. Comprende inoltre indicatori di manutenzione e tecniche diagnostiche per garantire prestazioni ottimali.

I moduli sviluppati sono allineati ai profili richiesti dall'Industria 4.0 nei paesi partner (Italia, Spagna, Irlanda, Grecia e Polonia).

I moduli DiTwin, basati su tecnologia Digital Twin, replicano vari sistemi tecnici o macchinari collegati ai profili descritti. Essi si focalizzano su risultati di apprendimento specifici legati a esperienze pratiche ed esperienziali, mentre i risultati più ampi, legati al profilo, sono perseguiti attraverso il curriculum standard.

In molti casi, i concetti teorici o generali affrontati nelle lezioni tradizionali rappresentano prerequisiti per accedere ai moduli DiTwin. Questi ultimi, offrendo esperienze pratiche con i macchinari pertinenti, possono costituire il culmine del percorso formativo, consentendo agli studenti di applicare le conoscenze acquisite.

Tuttavia, i moduli non sono limitati alla sola applicazione pratica: i sistemi di Digital Twin permettono anche osservazioni e attività utili a sviluppare e rafforzare conoscenze teoriche e di base relative ai profili scelti.





4.3 Passaggi per usare il sistema DiTwin

Il sistema è pensato per essere utilizzato dagli utenti sotto la supervisione di un docente esperto, al fine di evitare danni ai laboratori dovuti a un uso improprio delle attrezzature. Può essere utilizzato seguendo questi step:

1. Accesso alla piattaforma – Il primo passo è accedere alla DiTwin Platform (www.ditwin.eu/ditwin-platform-2/) disponibile sul sito ufficiale (www.ditwin.eu). L'accesso è libero e gratuito.

2. Scelta del modulo – Nella piattaforma, l'utente seleziona uno dei moduli disponibili. Cliccando su go to the module si trova una breve descrizione e i piani di lezione predisposti. I docenti possono così valutare le attività formative implementabili e l'adattabilità agli obiettivi didattici e ai curricula.

3. Prenotazione della sessione – In fondo alla pagina del modulo è presente un form di prenotazione. Il docente deve compilare i campi richiesti e indicare la lezione e il periodo desiderati. Dopo l'invio, la richiesta viene inoltrata al laboratorio che eroga la formazione sul modulo scelto e l'utente riceve un'email automatica di conferma.

4. Pianificazione dell'attività – Successivamente, lo staff del laboratorio invia un'email per pianificare l'attività e definire la data precisa. In questa fase i docenti vengono informati sugli strumenti di comunicazione necessari per essere guidati dallo staff e connettersi al sistema DiTwin. Per questo progetto si usano strumenti gratuiti.

5. Svolgimento della sessione – A questo punto, lo staff predispone il laboratorio fisico con i materiali richiesti e l'utente può partecipare alla sessione.

Per avere una panoramica completa dell'intero processo, sono disponibili 3 video tutorial sviluppati dal partenariato DiTwin e pubblicati sul sito www.ditwin.eu.



4.4 Strategie e politiche per integrare attività basate sui Digital Twin a scuola

Per implementare efficacemente attività basate sui Digital Twin, le scuole professionali dovrebbero seguire una strategia multidimensionale composta dai seguenti pilastri:

Integrazione nei curricula esistenti

Per integrare attività con digital twin nei curricula IFP è necessario partire dai risultati di apprendimento.

Il primo passo è identificare i learning outcomes (competenze, conoscenze e abilità) che un sistema di digital twin può fornire. Ogni DT consente di raggiungere obiettivi formativi specifici legati al macchinario simulato.

Una volta individuati i risultati di apprendimento possibili, occorre mapparli rispetto alle diverse materie scolastiche. Così si capisce quali discipline possano trarre vantaggio dall'uso del DT e quali competenze siano coinvolte.

A questo punto è possibile pianificare un progetto basato su DT per una o più materie, che valuti separatamente il raggiungimento dei risultati attesi.

Metodologie didattiche

Il valore aggiunto dei DT è la capacità di proporre attività esperienziali senza avere i macchinari reali a scuola. L'apprendimento esperienziale è infatti alla base delle attività educative sviluppabili con questa tecnologia.

Un approccio pedagogico efficace è il project-based learning (PBL): gli studenti lavorano su progetti reali o simulati in cui progettano, testano e ottimizzano repliche digitali di sistemi. Questo rafforza le conoscenze tecniche e sviluppa problem solving, creatività e lavoro di squadra.

È inoltre fondamentale innovare i metodi di valutazione: i test tradizionali non catturano pienamente la complessità delle competenze acquisite. Le piattaforme DT consentono invece valutazioni tramite simulazioni in tempo reale e compiti pratici che rispecchiano scenari industriali concreti.

Formazione e sviluppo professionale dei docenti

I docenti hanno un ruolo centrale in ogni innovazione educativa e la loro crescita professionale continua deve essere prioritaria. Le scuole dovrebbero offrire programmi di aggiornamento digitale che includano piattaforme DT, software di simulazione ed ecosistema delle tecnologie di Industria 4.0.

Per sostenere questo sviluppo, è utile creare reti collaborative dove i docenti possano condividere risorse, co-progettare scenari basati sui DT e apprendere dalle esperienze reciproche. Queste comunità di pratica favoriscono una cultura di innovazione e supporto.

Inoltre, offrire ai docenti esperienze dirette in azienda, come brevi tirocini o progetti con imprese che usano i DT, permette loro di acquisire conoscenze pratiche da trasferire in strategie didattiche aggiornate.

Governance istituzionale e leadership

L'adozione dei DT dipende anche da una governance lungimirante. La dirigenza scolastica deve includere l'integrazione dei DT nella pianificazione strategica dell'istituto, allineandola agli obiettivi di trasformazione digitale e innovazione.

Ciò implica un'attenta allocazione delle risorse — sia di bilancio che di personale. Servono fondi e staff dedicati per mantenere infrastrutture, aggiornare strumenti e supportare nuovi modelli didattici.

Infine, la gestione del cambiamento richiede leadership interna: le scuole dovrebbero nominare digital champions o coordinatori dell'innovazione responsabili di guidare il processo, motivare il personale e monitorare i progressi nel tempo.

5. Casi studio e buone pratiche

Questo capitolo presenta esempi concreti di come le tecnologie Digital Twin vengano integrate con successo nella formazione professionale (IFP) in tutta Europa. Attraendo esperienze dai paesi partner e da altri contesti europei, i casi studio evidenziano approcci innovativi all'insegnamento e all'apprendimento attraverso simulazioni immersive e data-driven.

Particolare attenzione è rivolta ai progetti collaborativi tra istituti IFP e attori dell'Industria 4.0, in cui percorsi formativi co-progettati e piattaforme digitali condivise hanno avuto un ruolo centrale. Queste partnership non solo rafforzano la rilevanza della formazione professionale, ma garantiscono anche che gli studenti acquisiscano competenze pratiche e digitali richieste dall'attuale mercato del lavoro.

Esplorando diversi modelli di implementazione, questo capitolo mira a individuare strategie efficaci, mettere in evidenza pratiche trasferibili e stimolare ulteriore innovazione nell'uso dei Digital Twin per l'istruzione e lo sviluppo della forza lavoro.

5.1 Digital Twin nella formazione IFP

Digital Twin su Smart Manufacturing

In corso (2023–2026)

Programma formativo completo sulle tecnologie Digital Twin, con laboratori e strumenti pratici per studenti IFP in Bulgaria, Grecia, Italia, Spagna e Svezia.

Luogo: Europa

Tipo: Finanziato dall'UE

Link: <https://digitaltwinproject.eu>

Risultati:

- Corso di 450 ore sulle tecnologie Digital Twin.
- Digital Twin Skills Index e strumento di autovalutazione.
- Laboratori Digital Twin per apprendimento pratico.

Digital Twins for Sustainability

Completato (2021–2023)

Iniziativa focalizzata sull'uso della tecnologia Digital Twin per promuovere la sostenibilità, con casi studio su trattamento delle acque reflue e stampa 3D, in vari paesi europei tra cui Irlanda, Italia e Spagna.

Luogo: Europa**Tipo:** Finanziato dall'UE**Link:** <https://digital4sustainability.eu>**Risultati:**

- Corso breve sulle applicazioni dei Digital Twin per la sostenibilità.
- Contenuti online multilingue per PMI e studenti.

Mediterranean Digital Twin Network for Climate Extremes

In corso (2023–2026)

Il progetto MeDiTwin è incentrato sulla creazione di modelli Digital Twin per gli eventi climatici estremi nella regione mediterranea, promuovendo scambio scientifico e scuole estive.

Luogo: Europa**Tipo:** Finanziato dall'UE**Link:** <https://meditwin-project.eu>**Risultati:**

- Sviluppo di modelli climatici per l'area mediterranea.
- Organizzazione di scuole estive e scambi scientifici.

Digital Twins: Building Your Own Virtual Lab

In corso (dal 2022)

Progetto che consente agli studenti dei Paesi Baschi di progettare e simulare sistemi di controllo e automazione industriale utilizzando la tecnologia Digital Twin.

Luogo: Spain**Tipo:** Pubblico**Link:** <https://arrivet.org/index.php/arrivet/article/view/18>**Risultati:**

- Virtual commissioning per tempi di implementazione più rapidi.
- Formazione docenti su sistemi industriali virtuali.

Biodiversity Digital Twin (BioDT) project

In corso (dal 2022)

Progetto ideato per affrontare le complesse dinamiche della biodiversità tramite casi d'uso pratici, fornendo strumenti e conoscenze preziose per conservazione e ripristino.

Luogo: Europa**Tipo:** Finanziato dall'UE**Link:** <https://biodt.eu/>**Risultati:**

- BioDT School
- Prototipo di Digital Twin per la biodiversità

Polish Digital Twin in Education Project

In corso (2023–2025)

Progetto finalizzato a creare moduli formativi sui Digital Twin e integrarli nei curricula VET polacchi.

Luogo: Polonia

Tipo: Pubblico

Link: www.digitaleducation.pl

Risultati:

- Sviluppo di moduli didattici sui Digital Twin.
- Integrazione di simulazioni in tempo reale nella formazione.

VET Simulator-Based

In corso (2024–2026)

Progetto di ricerca che analizza come l'istruzione professionale secondaria superiore possa preparare gli studenti a una futura professione caratterizzata da rapido sviluppo tecnologico, requisiti di sostenibilità e innovazione.

Luogo: Svezia

Tipo: Pubblico

Link: <https://www.gu.se/en/research/simulator-based-teaching-and-learning-in-vocational-education>

Risultati:

- Simulatori digitali di guida
- Sviluppo di metodi didattici in un'industria segnata da sostenibilità, innovazione e rapido progresso tecnologico.



5.2 Collaborazioni con l'industria

Esempi di collaborazione tra Industria 4.0 e scuole VET per lo sviluppo di percorsi formativi co-progettati su Digital Twin.

L'integrazione delle tecnologie Digital Twin (DT) nella formazione professionale rappresenta una frontiera decisiva per allineare istruzione e richieste di Industria 4.0. In tutta Europa, gli istituti VET stanno iniziando a collaborare con attori industriali per co-sviluppare percorsi formativi che includano applicazioni reali di DT nei curricula. Queste collaborazioni aiutano a colmare il mismatch di competenze, promuovono l'apprendimento basato sul lavoro e garantiscono la rilevanza della formazione professionale in un panorama industriale in rapida digitalizzazione.

Siemens and the Didactic Initiative

Luogo: Germania

Progetto: Partnership Siemens Technical Education con i centri IFP

·Siemens AG collabora con diverse scuole professionali tedesche tramite la Siemens Technik Akademien per introdurre le tecnologie Digital Twin nella formazione tecnica. L'iniziativa combina simulazioni virtuali con linee produttive reali usando piattaforme proprietarie Siemens (es. NX, Teamcenter).

Link: https://www.imove-germany.de/en/all_providers_from_a_z.htm?&p=/output/detail/pid/482

Risultati:

- Gli studenti simulano l'intero ciclo di vita di una macchina prima di lavorare sui componenti fisici.
- Integrazione dei DT nella formazione di tecnici meccatronici e dell'automazione.
- Forte attenzione a manutenzione predittiva e sistemi ciber-fisici.

Tknika e l'industria locale nei Paesi Baschi

Luogo: Spagna

Progetto: Laboratorio di Manifattura Avanzata di Tknika

·Tknika, centro basco per l'innovazione nella VET, collabora con produttori regionali (es. Danobat Group) per sviluppare moduli formativi in cui gli studenti lavorano su modelli DT di macchine utensili. L'iniziativa include acquisizione e analisi di dati in tempo reale supportata da piattaforme IoT.

Link: <https://tknika.eus/en/cont/lcamp-the-centre-of-vocational-excellence-in-advanced-manufacturing-kicks-off/>

Risultati:

- Formazione interdisciplinare che combina competenze meccaniche, elettriche e IT.
- Attività didattiche basate su dati reali di produzione e comportamento delle macchine.
- Allineamento con le strategie regionali di specializzazione intelligente.

MADE Competence Center e ITS Lombardia Meccatronica

Luogo: Italia

Progetto: Digital Twin nei percorsi di Smart Manufacturing

·MADE, centro di competenza nazionale Industria 4.0 con sede a Milano, collabora con ITS Lombardia Meccatronica per co-creare esperienze didattiche basate su simulazioni DT. La formazione include modellazione digitale di processi smart factory, virtual commissioning e integrazione con sistemi ERP.

Link: <https://www.made-cc.eu/en/>

Risultati:

- Co-creazione dei curricula tra ingegneri industriali e formatori VET.
- Uso dei DT per pianificazione della fabbrica e sistemi robotici.
- Moduli duali congiunti con aziende partner.

VET-Keskus and Industry 4.0 Labs

Luogo: Finland

Progetto: Apprendimento basato su simulazione nella IFP per l'IIoT

·Il VET-Keskus di Tampere collabora con sviluppatori software e fabbriche per integrare piattaforme DT nei propri laboratori didattici, con focus sull'industria di processo e sull'Industrial IoT.

Risultati:

- Corsi modulari su controllo di processo digitale, simulazione e diagnostica.
- Partecipazione a progetti UE come Digital VET 4.0 e DigiPro.
- Formazione docenti su deployment agile di software per casi d'uso industriali.

Brainport Eindhoven: Digital Twin Learning Factory

Luogo: Netherlands

Progetto: Partnership tra imprese high-tech e il Summa College (scuola professionale), operante come "learning factory".

Link: <https://www.brainportindustriescampus.com/en/>

Risultati

- Ambiente formativo integrato su soluzioni Digital Twin.
- Collaborazione IFP-industria nei campi IoT, robotica e data analytics, con i DT come filo conduttore di progetti pratici.

Questi esempi mostrano come la co-progettazione dei percorsi formativi tra istituti IFP e attori industriali aumenti la rilevanza e l'efficacia della formazione professionale in Europa. Integrando i Digital Twin nei curricula, gli studenti acquisiscono esperienza diretta con strumenti e metodi che stanno plasmando il lavoro del futuro. Tali partnership favoriscono un'istruzione agile e basata sulle competenze, in linea con gli ecosistemi regionali di innovazione.

6. Tendenze future e opportunità di carriera nei Digital Twin

6.1 Trend emergenti nella tecnologia dei Digital Twin

L'adozione dei Digital Twin (DT) cresce in modo esponenziale in settori strategici come manifattura, sanità, smart city e automotive. Le aziende investono sempre più in questa tecnologia per ottimizzare processi, prevedere guasti, migliorare la manutenzione e prendere decisioni più efficaci. I DT permettono raccolta e analisi dei dati in tempo reale, con grandi miglioramenti nella gestione delle risorse e nella prevenzione dei problemi futuri.

Trend chiave

- Integrazione con Intelligenza Artificiale (IA): i DT diventano più autonomi grazie a modelli predittivi e simulazioni intelligenti, permettendo una gestione più precisa e risposte più rapide ai cambiamenti dei processi produttivi e operativi.
- Sostenibilità e Smart Factory: circa il 57% delle organizzazioni investe nei DT per migliorare la sostenibilità. Monitorano e ottimizzano consumi energetici, riducono sprechi e impatto ambientale, diventando strumenti chiave per produzioni più verdi e responsabili.
- Espansione di IoT e monitoraggio remoto: l'integrazione dei DT con sensori e dispositivi IoT apre nuove opportunità per il monitoraggio avanzato e la gestione operativa in tempo reale.
- Cloud ed Edge Computing: piattaforme cloud come AWS IoT TwinMaker e Azure Digital Twins consentono di gestire dati in tempo reale e scalare facilmente le operazioni. Questa architettura è cruciale per sistemi DT complessi, offrendo gestione flessibile e ad alte prestazioni.
- Verso la Extended Reality (XR): i DT si integrano sempre più con VR e AR, creando esperienze immersive che uniscono mondo fisico e digitale. Questa sinergia apre nuove frontiere per design, simulazione e formazione, trasformando la visualizzazione e l'interpretazione dei dati.
- Digital Twin as a Service (DTaaS): l'emergere di soluzioni "DT come servizio" rende la tecnologia più accessibile alle PMI, che possono sfruttarne i benefici senza affrontare i costi di infrastrutture complesse.

- Interoperabilità e standard: la diffusione dei DT ha portato alla creazione di alleanze e collaborazioni internazionali (DTC, OPC Foundation, Industry 4.0) per definire standard comuni che garantiscano interoperabilità e integrazione di DT diversi.

Con la crescente diffusione dei Digital Twins (DT), non solo stanno emergendo nuovi ruoli professionali, ma anche quelli esistenti stanno subendo una trasformazione significativa. La gestione e l'implementazione dei DT richiede competenze sempre più ampie e multidisciplinari incentrate su sistemi virtuali, simulazioni avanzate, analisi dei dati e intelligenza artificiale. In questo contesto, le professioni emergenti stanno diventando fondamentali per affrontare le sfide tecnologiche e supportare le aziende nell'adozione di queste tecnologie innovative.



6.2 Professioni emergenti

- Digital Twin Engineer: progetta, sviluppa e mantiene modelli digitali complessi che rappresentano impianti o processi. Garantisce modelli accurati e aggiornati in tempo reale, riflettendo fedelmente le condizioni dei sistemi fisici.
- IoT Specialist: gestisce sensori, raccoglie e analizza dati da dispositivi connessi, collegando oggetti fisici ai loro gemelli digitali. Il suo lavoro è vitale per assicurare integrità, accuratezza e tempestività dei flussi informativi tra mondo fisico e digitale.
- AI/ML Engineer: applica modelli di intelligenza artificiale e machine learning per analizzare e prevedere comportamenti dinamici in ambienti virtuali e fisici. Con algoritmi avanzati ottimizza i processi tramite previsioni accurate e risposte automatiche in tempo reale.
- Esperto di cybersecurity: con la crescente interconnessione tra sistemi fisici e virtuali, la sicurezza dei dati è cruciale. Protegge le infrastrutture da attacchi informatici monitorando vulnerabilità e sviluppando strategie difensive, inclusa la simulazione di attacchi per testare la resilienza.
- Simulation Developer e Data Scientist: specialisti nella creazione di simulazioni avanzate e nell'estrazione di insight dai dati. Analizzano dati provenienti da sistemi DT, costruiscono modelli predittivi e generano soluzioni per migliorare prodotti, processi e servizi.



6.3 Competenze chiave richieste

Per affrontare queste sfide e soddisfare le richieste di un mercato in rapida evoluzione, i professionisti devono possedere una solida base di competenze tecniche, tra cui:

- Programmazione (Python, Java, C++): capacità di scrivere codice per sviluppare applicazioni, modelli di simulazione e interfacce tra sistemi virtuali e fisici, essenziale nei ruoli legati ai DT.
- Modellazione e simulazione di sistemi: conoscenza avanzata della modellazione di sistemi complessi e della creazione di simulazioni che riproducono comportamenti reali, fondamentale per l'efficacia delle soluzioni DT.
- Data Science e visualizzazione dati: capacità di raccogliere, analizzare e interpretare grandi quantità di dati e di comunicarne chiaramente i risultati, cruciale per ottimizzare processi e strategie data-driven.
- Tecnologie cloud (AWS, Azure): familiarità con piattaforme cloud per la gestione dei dati in tempo reale, la scalabilità operativa e l'implementazione di DT che richiedono potenza di calcolo avanzata.
- Intelligenza Artificiale e Machine Learning: conoscenza di algoritmi e tecniche AI/ML per analisi predittiva e miglioramento continuo dei sistemi tramite automazione intelligente.
- Reti di sensori e IoT: comprensione delle tecnologie IoT e della gestione delle reti di sensori, vitale per integrare senza soluzione di continuità dispositivi fisici e gemelli digitali.
- Conoscenze di cybersecurity: la protezione di sistemi e dati è una priorità crescente, e le competenze in sicurezza informatica sono essenziali per prevenire minacce e garantire resilienza.

Con l'evoluzione dei Digital Twin e la loro diffusione in più settori, queste competenze saranno sempre più richieste, creando un panorama professionale dove collaborazione interdisciplinare e adattabilità alle nuove tecnologie saranno decisive per il successo.



6.4 Cosa devono imparare gli studenti per i lavori del futuro

Per preparare gli studenti a lavorare con i Digital Twin (DT) nei contesti di Industria 4.0, i programmi di istruzione e formazione professionale (VET) devono fornire una combinazione di competenze tecniche avanzate e soft skills. Integrare tecnologie emergenti come i DT nelle pratiche aziendali richiede conoscenze tecniche solide e una mentalità critica e adattabile. Le scuole professionali hanno un ruolo cruciale nell'inserire moduli che trattino questi temi, preparando i giovani a professioni sempre più richieste e ben retribuite in un contesto industriale in continua evoluzione.

Competenze tecniche da sviluppare

- Programmazione (Python, R, Java): gli studenti devono acquisire una solida conoscenza dei linguaggi più usati in ambito tecnologico come Python, R e Java — essenziali per sviluppo applicazioni, gestione dati e interazione con modelli digitali.
- Data Analytics, IA e Machine Learning: la capacità di analizzare grandi dataset e applicare tecniche di IA/ML è cruciale per l'analisi predittiva e la gestione efficiente di sistemi basati su DT. Gli studenti devono imparare a elaborare e interpretare dati per ottimizzare processi e prendere decisioni data-driven.
- Cloud Computing: poiché le piattaforme cloud sono centrali per l'archiviazione e la gestione dei dati in tempo reale, le competenze nel cloud sono fondamentali per lavorare con tecnologie come AWS, Microsoft Azure e altre soluzioni usate nei progetti DT.
- Automazione e Robotica: gli studenti devono essere formati in automazione industriale e robotica, tecnologie strettamente legate all'integrazione dei DT nelle operazioni aziendali. La comprensione di sistemi automatizzati e tecniche di controllo è essenziale per ottimizzare la produzione.
- IoT, Reti e Protocolli di Comunicazione Industriale: la conoscenza delle reti IoT, dei protocolli di comunicazione industriale e dei dispositivi connessi è indispensabile per permettere ai DT di raccogliere dati in tempo reale e interagire efficacemente con i sistemi fisici. Le competenze di networking e connettività sono quindi cruciali per gestire l'interoperabilità.
- Simulazione e Modellazione di Processi: la capacità di modellare e simulare processi industriali con software dedicati è fondamentale per progettare, testare e ottimizzare modelli digitali. Gli studenti devono acquisire esperienza pratica con strumenti di simulazione per creare rappresentazioni accurate dei sistemi fisici.

- Formazione e sviluppo professionale dei docenti: I docenti hanno un ruolo centrale in ogni innovazione educativa e la loro crescita professionale continua deve essere prioritaria. Le scuole dovrebbero offrire programmi di aggiornamento digitale che includano piattaforme DT, software di simulazione ed ecosistema delle tecnologie di Industria 4.0.

Soft Skills

Oltre alle competenze tecniche, le soft skills sono altrettanto importanti per aiutare gli studenti ad affrontare le sfide del lavoro e ad adattarsi rapidamente a nuovi scenari. Tra queste:

- Pensiero critico e problem solving: la capacità di analizzare logicamente i problemi, pensare in modo critico e sviluppare soluzioni innovative è essenziale, soprattutto quando si lavora con sistemi complessi come i DT.
- Collaborazione e comunicazione: saper lavorare in team e comunicare chiaramente è fondamentale in contesti di lavoro sempre più interfunzionali. Gli studenti devono essere preparati a collaborare in modo efficace con colleghi, ingegneri e specialisti di altri settori.
- Mentalità di apprendimento continuo: poiché le tecnologie e i metodi legati ai DT evolvono costantemente, gli studenti devono sviluppare una mentalità orientata all'apprendimento permanente, pronta ad adattarsi e aggiornare regolarmente le proprie conoscenze.
- Iniziativa e creatività: gli studenti dovrebbero essere incoraggiati a prendere iniziativa e proporre idee innovative. Un approccio creativo e proattivo è fondamentale per affrontare nuove sfide tecnologiche e sviluppare soluzioni originali con i DT.
- Adattabilità a nuovi strumenti e contesti digitali: con l'evoluzione rapida delle tecnologie digitali, gli studenti devono essere pronti ad adattarsi velocemente a nuovi strumenti, software e ambienti digitali. Flessibilità e capacità di apprendere nuove tecnologie sono indispensabili nello scenario industriale moderno.

Iniziative a supporto della formazione continua:

Le scuole professionali possono promuovere l'apprendimento permanente e lo sviluppo delle competenze attraverso varie iniziative, tra cui:

- **Certificazioni professionali:** programmi di certificazione riconosciuti a livello internazionale, come quelli offerti da AWS, Microsoft e Siemens, sono preziosi per garantire che gli studenti acquisiscano competenze richieste dal mercato. Queste certificazioni aumentano anche l'occupabilità fornendo qualifiche riconosciute professionalmente.
- **Corsi online tramite piattaforme come Coursera, edX e Udacity:** la disponibilità di corsi online offre agli studenti opportunità di approfondire aspetti specifici dei DT e delle tecnologie emergenti. Queste piattaforme propongono corsi di alta qualità in collaborazione con università e aziende leader.
- **Partnership scuola-impresa:** le scuole professionali possono avviare collaborazioni con le aziende per offrire agli studenti la possibilità di lavorare su progetti reali con i Digital Twin. Questa esperienza pratica è fondamentale per applicare le conoscenze teoriche in contesti professionali e creare contatti nel mercato del lavoro.
- **Laboratori virtuali e ambienti di simulazione:** per sostenere l'apprendimento pratico, le scuole possono utilizzare laboratori virtuali e ambienti simulati in cui gli studenti possano esplorare ed esercitarsi con i DT in condizioni sicure e controllate. Questi strumenti offrono un'esperienza immersiva che consente di familiarizzare con la tecnologia prima dell'ingresso nel mondo del lavoro.

Attraverso una combinazione di competenze tecniche e soft skill, unite a opportunità di formazione continua, le scuole professionali possono preparare i giovani a crescere in un mercato del lavoro sempre più digitale e guidato dall'innovazione.

Conclusioni

Come mostrato in questo manuale, integrare la tecnologia dei Digital Twin nella formazione professionale non è una tendenza, ma un'evoluzione necessaria. La domanda di lavoratori con competenze digitali continua a crescere e la capacità delle istituzioni formative di rispondere con esperienze educative innovative e allineate all'industria sarà cruciale per il successo di studenti e aziende.

I Digital Twin sono molto più di repliche virtuali: sono porte d'accesso a un apprendimento immersivo e applicato. Attraverso le simulazioni, gli studenti possono affrontare sfide reali, testare soluzioni in ambienti sicuri e sviluppare sia competenze tecniche sia soft skills come problem solving, collaborazione e pensiero critico. Queste capacità sono al cuore dell'Industria 4.0 e fondamentali per muoversi nei contesti di lavoro futuri.

In questo manuale abbiamo visto come i DT possano trasformare i curricula, rafforzare i legami tra istruzione e industria e sostenere nuovi modelli pedagogici. La co-progettazione dei percorsi formativi con le imprese porta a un apprendimento più efficace e pertinente. I casi studio e le buone pratiche illustrano i benefici della collaborazione: le aziende offrono strumenti e conoscenze, le scuole talenti e visione educativa.

Sappiamo anche che l'implementazione dei DT nella IFP è un processo graduale che richiede pianificazione, investimenti e supporto continuo. Ma i benefici sono significativi: maggiore coinvolgimento degli studenti, migliori esiti occupazionali e un allineamento più stretto con le competenze richieste dalle industrie moderne. Con questo approccio, le scuole possono diventare attori attivi negli ecosistemi di innovazione regionale, formando una forza lavoro adattabile, lungimirante e digitalmente competente.

Guardando al futuro, è chiaro che i DT continueranno a evolversi, portando nuove opportunità in ambiti come integrazione con l'IA, operazioni da remoto, sostenibilità e smart manufacturing. Per gli studenti ciò significa accesso a nuove carriere e percorsi di apprendimento permanente. Per docenti e istituzioni significa impegno costante nell'innovazione, nello sviluppo professionale e nella collaborazione intersettoriale.

In conclusione, questo manuale è sia una roadmap sia un invito all'azione. Collaborando — scuole, imprese, decisori e docenti — possiamo garantire che la formazione professionale resti non solo attuale, ma visionaria. I Digital Twin ci offrono gli strumenti: spetta a noi sbloccarne tutto il potenziale a beneficio delle generazioni future.

www.ditwin.eu

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the Agenzia nazionale Erasmus+ INAPP. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Project Number: 2023-1-IT01-KA220-VET-000154611



Co-funded by
the European Union