



## Linee guida operative sul contesto e sugli strumenti di formazione

Progetto n. 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B



SAM - Definizione di profili professionali Processo di progettazione e revisione e quadro settoriale nell'ambito della produzione additiva (AM) per sostenere e alimentare il sistema di qualificazione della stessa

### Dettagli del documento

Numero deliverable:	D3.3
Data prevista per la consegna:	Giugno 2023
Organizzazione leader:	EC Nantes
Organizzazioni partecipanti:	LMS, Lortek, Ansys , EWF, LAK, Polimi
Revisori	Polimi, IMR
Data di revisione	Giugno 2023
Lingua/e:	IT
Livello di diffusione:	Pubblico

## Contenuti

Contenuti .....	3
1 Sintesi .....	5
2 Introduzione .....	6
3 Stato attuale del contesto e degli strumenti di formazione in uso nella produzione additiva.....	7
3.1 Stato attuale dei contesti di apprendimento nella produzione additiva .....	7
3.1.1 Introduzione .....	7
3.1.2 Opportunità al tempo del Covid-19 .....	10
3.1.3 Apprendimento in classe/in presenza .....	11
3.1.4 Apprendimento online/apprendimento a distanza .....	15
3.1.5 Attività pratiche .....	18
3.1.6 Qualifiche e diplomi AM .....	19
3.1.7 Formazione in azienda/formazione sul lavoro e stage in azienda .....	20
3.1.8 Apprendimento misto.....	21
3.1.9 Panoramica dei contesti di apprendimento presentati .....	22
3.2 Stato attuale degli strumenti di formazione nella produzione additiva .....	23
3.2.1 Paradigma della fabbrica didattica (Teaching Factory).....	23
3.2.2 Giochi seri .....	25
3.2.3 Realtà aumentata .....	26
3.2.4 Apprendimento basato sui progetti .....	27
3.2.5 Casi studio.....	28
3.2.6 Lezioni di esperti in ambito AM .....	29
3.2.7 Software di simulazione.....	30
3.2.8 Video e animazioni a scopo didattico .....	31
3.3 Panoramica degli strumenti di apprendimento .....	31
3.4 Attività dei progetti europei AM a sostegno dell'apprendimento e della formazione in ambito AM .....	35
4 Linee guida operative SAM sul contesto e sugli strumenti di formazione .....	36
4.1 Esempi di contesti e strumenti di apprendimento tratti dai partner SAM .....	36
4.1.1 LORTEK.....	36
4.1.2 LZH Laser Akademie GmbH.....	40
4.1.3 Irish Manufacturing Research (IMR) .....	41

La aziende si trovano ad affrontare molteplici sfide nell'adozione della tecnologia XR. In un panorama in rapida evoluzione, caratterizzato dall'ingresso e dall'uscita di fornitori, da continue iterazioni di hardware e software e

da soluzioni non collaudate a livello aziendale o di impresa, le aziende non hanno le risorse per valutare molte di queste opzioni né per acquisire l'esperienza necessaria a prendere decisioni informate. ....	42
4.1.4    IDONIAL.....	42
4.1.5    Software didattico - Granta EduPack.....	42
4.2    Meta-analisi degli studi pilota e delle indagini condotte nell'ambito del progetto SAM.....	44
4.2.1    Studi pilota.....	44
4.2.2    Analisi sistematica .....	46
4.2.3    Sondaggi.....	57
4.2.4    Conclusioni della meta-analisi .....	58
5    Approvazione di una serie di raccomandazioni per il contesto e gli strumenti di formazione in ambito AM.....	61
6    Conclusioni .....	64
7    Riferimenti.....	66
8    Glossario .....	67
APPENDICE 1: GLOSSARIO DEI TERMINI RELATIVI AL CONTESTO DI APPRENDIMENTO E AGLI STRUMENTI DI APPRENDIMENTO .....	67

## 1 Sintesi

Obiettivo del progetto SAM (Sector Skills Strategy in Additive Manufacturing) è quello di ottenere, insieme a tutti i partner e alle parti interessate, una visione condivisa e soluzioni di competenze collaborative in grado di promuovere e sostenere la crescita, l'innovazione e la competitività del settore della produzione additiva (AM).

Il pacchetto di lavoro (WP) 3 si compone di tre deliverable (Figura 1) che definiscono la metodologia per la progettazione e la revisione dei profili professionali, delle qualifiche e delle Unità di risultati dell'apprendimento. Il presente deliverable riporta la terza parte di quanto operato nel WP3, seguendo la metodologia proposta per la creazione e la revisione dei profili professionali (D3.1) e i kit e i modelli per applicare tale metodologia (D3.2).

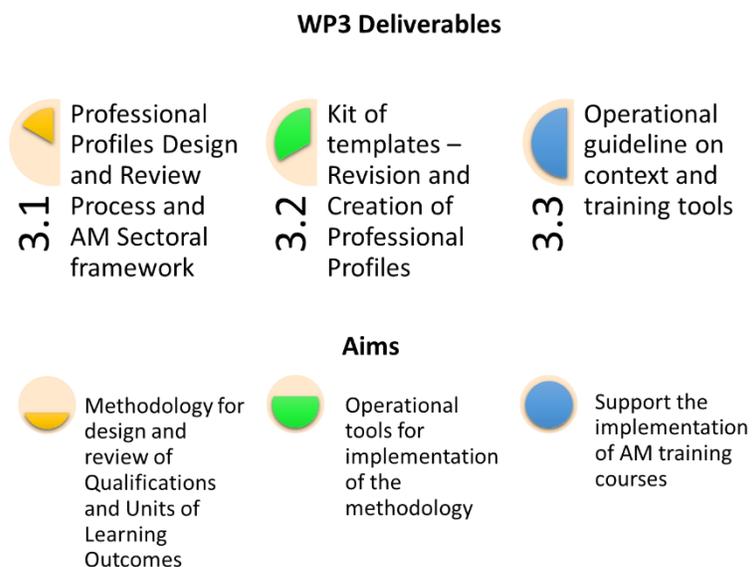


Figura 1: Panoramica dei deliverable del WP3

Il contributo principale fornito dal presente documento consiste nel mappare e valutare i contesti formativi e gli strumenti di formazione corrispondenti ai risultati dell'apprendimento delle qualifiche. Per "contesto di apprendimento" si intende la situazione in cui si avviene l'apprendimento o la comprensione. Per "strumenti di formazione" si intende qualsiasi programma, piattaforma o modello che aiuta i formatori a erogare la formazione ai propri discenti. Nel 2008, l'EQF ha definito i "risultati dell'apprendimento" come dichiarazioni di ciò che un discente conosce, comprende ed è in grado di fare al termine di un processo di apprendimento, che può essere definito in termini di conoscenza, abilità e competenza. Ciò può essere particolarmente importante per il giudizio e la valutazione finalizzati a stimare le conoscenze acquisite. Nel caso del progetto SAM, i risultati dell'apprendimento saranno specificati come abilità e conoscenze; per descrivere queste ultime si utilizza spesso la "Tassonomia di Bloom", un modello gerarchico che categorizza gli obiettivi di apprendimento in vari livelli di complessità, dalla conoscenza e comprensione di base alla valutazione e creazione avanzata.

Il presente documento contiene un elenco e una descrizione dei contesti di apprendimento e degli strumenti di formazione in uso nella formazione AM. Per ciascun contesto/strumento di formazione è presente una descrizione dei suoi "vantaggi", "vincoli" e "raccomandazioni d'uso nella formazione AM", che offrono una buona panoramica di come ogni contesto/strumento possa contribuire alla formazione/all'insegnamento in ambito AM. Inoltre, il deliverable trae vantaggio dai dati raccolti attraverso il sondaggio sui centri di formazione per mostrare lo stato delle abilità richieste, in particolare quelle digitali e verdi, che vengono insegnate nei corsi AM esistenti. Infine, nell'ultima sezione alcuni esempi di strumenti di formazione e apprendimento dei partner SAM supportano i risultati dell'analisi documentale discussi nelle sezioni precedenti.

L'ultima revisione del presente deliverable (numero 3) include ulteriori risultati della meta-analisi condotta con i dati forniti dagli studi pilota e dalle indagini svolte dai partner nei primi tre anni del progetto SAM, nonché le conclusioni della meta-analisi, un quadro olistico dei contesti e degli strumenti di formazione derivati dall'analisi pilota e dal sondaggio e un'interpretazione degli strumenti di formazione più utilizzati per le esigenze di ogni singola abilità specifica. L'ultima sezione del presente deliverable, allo stato aggiornato, comprende una serie di raccomandazioni per i contesti e gli strumenti di formazione AM, discusse con esperti e attori del settore in un workshop organizzato in data 21 aprile 2022. Le raccomandazioni individuate sono state convalidate in un'altra sessione speciale durante l'ottava riunione tecnica del progetto SAM, tenutasi nel maggio 2022.

## 2 Introduzione

Secondo SmarTech Publishing, azienda leader nell'analisi della stampa 3D, il mercato globale dell'AM valeva 9,3 miliardi di dollari nel 2018, con una rapida crescita del 18% rispetto all'anno precedente (1) (a titolo esemplificativo, il proprietario di 3DPrint.com, 3DR Holdings, ha acquisito una partecipazione in SmarTech Markets Publishing, la principale società di analisi del settore della produzione additiva. SmarTech Publishing è l'unica azienda che fornisce analisi di mercato granulari per il settore della stampa 3D e della produzione additiva). In un recente studio, Deloitte indica inoltre che il settore sta crescendo a un ritmo ancora più rapido e che il mercato globale dell'AM dovrebbe superare i 21 miliardi di dollari di fatturato entro il (2) (3). Al contempo, la Society of Manufacturing Engineers (SME) ha riscontrato che nove produttori su dieci hanno difficoltà a (3) (4). Pertanto, urge la necessità di garantire istruzione e formazione professionale in ambito AM affinché si possa agevolare la crescita del settore AM.

A seguito dei principali sforzi condotti nei precedenti compiti di questo pacchetto di lavoro, che includono la definizione di una metodologia per la progettazione e la revisione dei profili professionali nell'ambito della produzione additiva (AM), il presente deliverable mira a fornire una panoramica dei contesti e degli strumenti di formazione che consentiranno agli attori di applicare i profili professionali all'interno di uno scenario reale. L'attenzione è rivolta agli specifici contesti di apprendimento/insegnamento che ben si adattano ai programmi di istruzione/formazione in ambito AM, nonché agli strumenti di formazione che aiutano i corsisti/discenti a raggiungere specifici risultati dell'apprendimento.

Insieme ai deliverable D3.1 e D3.2, il presente deliverable fornisce un kit di strumenti che include la metodologia per la creazione e la revisione del profilo professionale, un kit di modelli per l'applicazione di tale metodologia e una mappa del contesto/degli strumenti di formazione che consente al WP5 e al WP6 di fare un passo avanti durante l'attuazione dei corsi pilota.

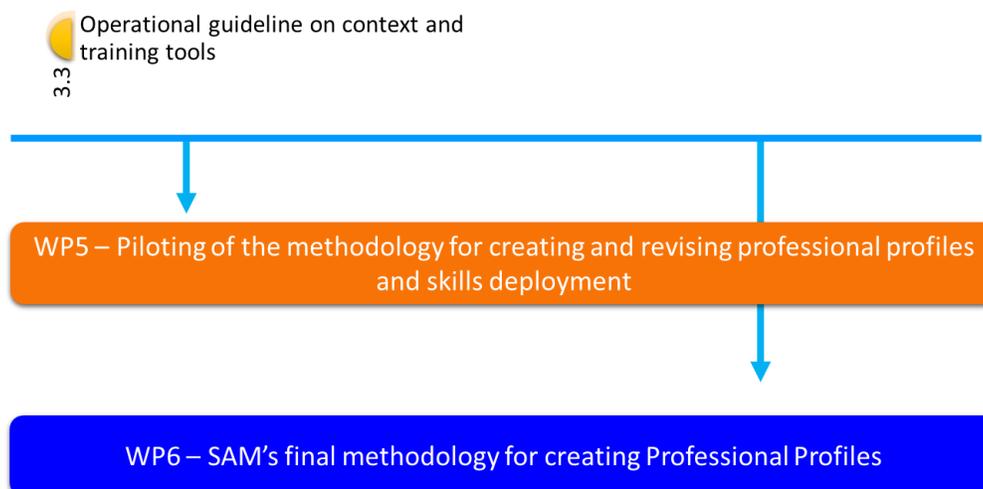


Figura 2: Flusso di interazione tra D3.3 e i restanti risultati del progetto

Per esplorare appieno la disponibilità di contesti di apprendimento e insegnamento specifici dell'AM, il documento si prefigge di studiare lo stato attuale dei contesti di apprendimento e degli strumenti di formazione in ambito AM disponibili. La revisione è quindi divisa in due sezioni principali, incentrate rispettivamente sui contesti di apprendimento (Sezione 3) e sugli strumenti di apprendimento (Sezione 4). Al termine di ogni sezione viene delineata una panoramica degli aspetti positivi e negativi di ciascun contesto/strumento. Nella sezione 5 viene fornita una panoramica delle diverse iniziative europee in materia di formazione in ambito AM. Infine, nella Sezione 6 vengono descritte le esperienze dirette dei partner SAM, che possono essere considerati organizzazioni leader che operano nel campo dell'AM in Europa.

### 3 Stato attuale del contesto e degli strumenti di formazione in uso nella produzione additiva

Per chiarire il significato del contenuto delle sezioni seguenti (3.1 e 3.2), nell'Appendice 1 (pagina 67) è stato inserito un glossario dei termini relativi al contesto di apprendimento e agli strumenti di apprendimento.

#### 3.1 Stato attuale dei contesti di apprendimento nella produzione additiva

##### 3.1.1 Introduzione

La produzione additiva (AM) è uno dei settori più promettenti e in rapida crescita nel campo della produzione e dell'ingegneria. Le qualifiche si stanno evolvendo andando oltre le competenze tecnologiche e includono altri tipi di abilità, classificate e discusse in maniera più dettagliata nel WP2. Inoltre, l'analisi dei programmi di istruzione/formazione esistenti in ambito AM rivela che la maggior parte di essi non si è concentrata solo su un singolo contesto di apprendimento, ma piuttosto consiste in una combinazione di contesti di apprendimento. Ora si sta espandendo in vari campi. La AM è pertanto considerata un campo multidisciplinare che andrebbe trattato in maniera adeguata nei programmi di istruzione e formazione, senza dimenticare le radici dell'ingegneria meccanica e dei materiali.

Nonostante la forte crescita industriale, ad oggi la formazione in ambito AM è ampiamente sottorappresentata nel mondo accademico, essendo considerata una materia minore nei curricula di ingegneria. La maggior parte delle

università si avvicina all'AM con corsi introduttivi e laboratori applicati per dimostrarne le capacità nella produzione e nella libertà di progettazione.

Un esempio di corso ben sviluppato in ambito AM è l'approccio didattico del Massachusetts Institute of Technology (MIT) per gli studenti di ingegneria, che differisce da quello degli corsi dell'industria: per gli studenti di ingegneria degli ultimi anni di laurea e di laurea magistrale, la formazione in ambito AM è un contesto pedagogico triangolare (l'albero degli strumenti di apprendimento di base) costituito da sessioni in aula, una serie di pratiche di laboratorio e progetti di casi reali. Il corso inizia con le lezioni per costruire una base di comprensione dell'AM e dei suoi processi correlati; dopo l'introduzione, le lezioni e le sessioni di laboratorio permettono agli studenti di sperimentare sia l'apprendimento sia l'applicazione, così da poter sperimentare contemporaneamente la teoria e la pratica. Per esempio, la Modellazione a deposizione fusa (FDM) viene insegnata in classe e ai team di studenti vengono assegnate le pratiche relative al processo, tra cui la pre-elaborazione (lavorando con alcuni software per la progettazione dei pezzi), la stampa (impiegando e osservando le funzionalità della macchina da stampa), la post-lavorazione e l'ispezione. Il passo successivo consiste nell'assegnazione di un progetto individuale: a ciascuno studente viene assegnato il compito di progettare e/o assemblare un pezzo con l'obiettivo di fargli fare esperienza pratica nell'affrontare le sfide dei vincoli e degli attributi del processo AM scelto. Questo metodo incentrato sul problema consente agli studenti di diventare proattivi e di imparare ad analizzare i problemi, oltre che ad individuare ed evidenziare le competenze necessarie per risolverli. Successivamente, in base alla loro comprensione e alle risorse disponibili, gli studenti saranno in grado di selezionare il processo AM più appropriato per portare a termine il compito. Gli studenti si trovano ad affrontare problemi reali e ciò migliora le loro conoscenze e le loro abilità; grazie a questo metodo si eliminano le carenze di alcuni metodi convenzionali che si concentrano sul fornire agli studenti informazioni specifiche e chiedere loro di svolgere un compito basato su tali informazioni.

Un altro esempio è rappresentato dal Dipartimento di Ingegneria Meccanica del Politecnico di Milano, dove vengono offerti sia corsi di laurea magistrale sia formazione professionale. Due esempi di corsi di laurea magistrale sull'AM includono un corso di Additive Manufacturing erogato a diversi indirizzi (Ingegneria meccanica, Ingegneria dell'automazione, Ingegneria gestionale, Design) (4) e il corso Additive Manufacturing for Space and Aerospace Applications per studenti di Ingegneria Meccanica e Gestionale, aperto anche a dottorandi (5). Tali corsi si basano su un mix di lezioni, discussione di casi studio, testimonianze del settore, esercitazioni in classe, attività di laboratorio e formazione al computer, attraverso la progettazione di programmi specifici dedicati all'AM, ecc. Le attività di laboratorio sono finalizzate a consentire agli studenti di sviluppare conoscenze pratiche su problemi specifici in ambito AM e sulla loro rappresentazione virtuale.

I ricercatori e i docenti del Politecnico di Milano sono inoltre coinvolti in diversi programmi di formazione sull'AM rivolti ai professionisti, di cui si citano a titolo esemplificativo i seguenti: 1) Master Additive Manufacturing, Milano, organizzato da MIP Graduate School of Business - Management Academy, Politecnico di Milano, 2) Metal Additive Manufacturing - Scenario Research and Industrial Experience, organizzato dal Centro Internazionale di Scienze Meccaniche, Università di Udine, 3) Master Bosch Industry 4.0, organizzato da Cefriel, Politecnico di Milano per Bosch Italia, 4) Master Progetto Formativo Additive Manufacturing Advanced, organizzato da Confindustria Firenze Formazione per Baker Hughes, una società GE, 5) Master Additive Manufacturing, organizzato da Rina Consulting. Questi corsi si basano su un mix di lezioni, visite a laboratori e attività di laboratorio, a seconda del background e del livello di competenza dei corsisti. Nelle sezioni seguenti si affrontano esempi di contesti di apprendimento e strumenti di formazione relativi a detti corsi.

Nel contesto del progetto SAM, come scenari "reali" si procede a rielaborare o sviluppare corsi pilota di qualificazione certificati offerti dall'EFW (uno dei principali partner del progetto SAM). La scelta delle qualifiche da

sviluppare avverrà sulla base dei vari sondaggi che verranno inviati all'industria, ai centri di formazione e ai lavoratori due volte l'anno; le qualifiche che paiono più richieste saranno selezionate per essere sperimentate dai diversi partner in condizioni reali. Pertanto, è consigliabile che i partner seguano quanto più la struttura, le unità di competenza e le conoscenze dettagliate.

Per testare l'applicabilità e l'esecuzione di questi scenari pilota "caso reale", nel corso del progetto sono state organizzate diverse sessioni che si sono di volta in volta concentrate su unità di competenza diverse.

La prima fase di corsi pilota si è svolta tra la fine del 2020 e l'inizio del 2021; le unità di competenza su cui ci si è concentrati sono state le seguenti:

Unità di competenza	Ore/Modalità	Partner
00 AM overview	5/In presenza	Lortek
01 DED–Arc Process	42/In presenza	AITIIP
08 DED-LB Process	15/Online	FA
15 PBF-LB Process	27/Online	IMR
25 Post Processing Methods for AM Parts	Online	LMS
26 Introduction to Materials	Online	UBRUN Ansys
27 AM with Steel Feedstock	Online	EPMA
30 Additive Manufacturing with Nickel Feedstock	7/Online	EPMA
31 AM for Titanium	11/In presenza	Lortek
34 Process Selection	20/Online	EC Nantes
35 AM process integration	21/In presenza	AITIIP
36 Coordination of AM	7/Online	MTC
43 Production of PBF-LB parts	18/Online	POLIMI
44 Conformity of PBF-LB parts	20/Online	POLIMI
45 Conformity of facilities featuring PBF-LB	14/Online	ISQ
61 Simulation Analysis	20/Online	IDONIAL
62 AM Simulation Execution	44/Online	Ansys

La seconda fase di corsi pilota si è svolta nell'estate del 2021; le unità di competenza su cui ci si è concentrati sono state le seguenti:

Unità di competenza	Ore/Modalità	Partner
63 Certification, Qualification and Standardization in Additive Manufacturing (CQS)	7/Online	IMR e MTC
63 Certificazione, qualificazione e standardizzazione nella produzione additiva (CQS)	7/Online	LORTEK
64 Business for AM	17/Online	EC Nantes
65 - Overview on polymer materials and properties	Online	ISQ
65 - Panoramica sui materiali polimerici e loro proprietà	Online	UBRUN e Ansys
66 - Designing Polymers AM Parts	Online	MTC & AITIIP
67 - Post Processing for Polymers	7/In presenza	LAK
68 - Design for Material Extrusion	Online	FA

68 - Design for Material Extrusion	Online	LMS
69 - Design for PBF Polymer	Online	LMS e AITTIP

I corsi pilota sono culminati con il Metal AM Coordinator Qualification Pilot (ottobre 2022-maggio 2023)

Unità di competenza	Ore/Modalità	Partner
00 - Additive manufacturing Process Overview	3,5/Online	ISQ
01: DED-Arc Process	35/Online	MTC E LORTEK
08- DED-LB Process	28/Online	MTC
15- PBF-LB Process	28/Online	IMR
25- Post Processing	10,5/Online	LMS
34- Process Selection	24,5/Online	EC NANTES
35- Metal AM Integration	17,5/ Online	IDONIAL
36- Coordination Activities	7/Online	MTC
72- Metal Binder Jetting process	21/Online	POLIMI e MTC

### 3.1.2 Opportunità al tempo del Covid-19

La pandemia di Covid-19 ha avuto un impatto sul settore dell'istruzione, soprattutto con la sospensione generalizzata delle attività in presenza presso le istituzioni scolastiche in oltre 190 Paesi per limitare la diffusione del virus e ridurre gli effetti. L'industria e gli enti educativi non potevano mettere in pausa lo sviluppo delle capacità, perciò si è rivelato necessario trovare molto rapidamente delle soluzioni. Dalle difficoltà causate dalla pandemia sono nate delle opportunità:

se già prima del Covid-19 i programmi di apprendimento in formato digitale e virtuale erano in aumento, oggi si assiste a un incremento significativo di questi programmi, molto apprezzati dai giovani corsisti. Si potrebbe dire che le migliori capacità di apprendimento emerse dalla pandemia potrebbero avere un effetto positivo nel lungo termine. Le attività di best practice, che spaziano dall'aspetto urgente e tattico a quello strategico, possono aiutare i programmi di apprendimento sul posto di lavoro a mantenere lo slancio e i vantaggi, gettando al contempo una nuova base per un efficace apprendimento virtuale e misto che vada ad affiancare la tradizionale formazione in presenza. Stabilire un team di risposta all'apprendimento, salvaguardare i corsisti nei programmi in presenza, sostenere l'apprendimento digitale, sperimentare tattiche digitali alternative, esercitarsi e prepararsi a risultati diversi sono tutti esempi di queste azioni.

Il Covid-19 ha generato sfide (e quindi opportunità) di innovazione sia per gli studenti sia per i formatori, che hanno dovuto adattare le pratiche di formazione per evitare il contatto ravvicinato. Oggi i formatori stanno facendo maggiore esperienza con l'apprendimento virtuale e stanno adottando nuove tecnologie (p. es. gli ambienti di realtà aumentata e virtuale) per affrontare il problema. A titolo esemplificativo, si potrebbe menzionare il fatto che nel settore manifatturiero la formazione è migliore quando è pratica e che sarà quindi fondamentale per gli enti di formazione scoprire modi innovativi per mantenere lo stesso livello di insegnamento, anche di fronte alla crisi. Di conseguenza, la produzione assume un carattere sempre più sofisticato e digitale a

mano a mano che le organizzazioni adottano le tecnologie (cfr. Virtual Reality Market Share & Trends Report, 2021-2028 (grandviewresearch.com) e The Impact and Potential of Virtual Reality Training in High-Consequence Industries (trainingmag.com)), ma è necessario che rimangano al passo. Lo dimostra l'ascesa dell'Industria 4.0 e dell'Industrial Internet of Things (IoT).

Sono state rilevate alcune tendenze: Al di là degli aspetti accademici, dei programmi educativi e della valutazione, mantenere la motivazione dei corsisti è emerso come un'esigenza critica durante il periodo della pandemia. È poi indispensabile che le imprese avviino immediatamente attività di riqualificazione e di aggiornamento professionale se intendono trovarsi nella migliore posizione possibile per il futuro. I sistemi di gestione dell'apprendimento (LMS) facilitano la connessione con i discenti da remoto e in qualsiasi momento, ospitando i contenuti didattici online. Tuttavia, non sempre forniscono una zona di valutazione: Moodle, per esempio, è una piattaforma di apprendimento online in cui è possibile sostenere esami a risposta multipla e assegnare un punteggio. Possono offrire quiz e valutazioni automatiche, ma non sono all'altezza quando si tratta di abilità e competenze. Come già detto, anche se gli strumenti di apprendimento online e misto non sono una novità, la pandemia di Covid-19 li ha portati alla ribalta. La riqualificazione e l'aggiornamento professionale sono divenuti fondamentali anche per coloro che hanno da poco perso il lavoro. La domanda di corsi flessibili, facilmente fruibili e rilevanti per il settore è elevata.

Infine, le micro-credenziali sono divenute una scelta popolare. Questi corsi di entità contenuta (noti come "microapprendimento") possono essere strutturati scomponendo un'unità di competenza ed essere completamente approvati e supportati da un'organizzazione professionale. Tale approccio all'apprendimento piace agli studenti, perché permette loro di concentrarsi e di acquisire le competenze specifiche che desiderano, li aiuta a migliorare le proprie competenze e a rimanere aggiornati in un settore in rapida evoluzione. La previsione è che il microapprendimento rimarrà molto richiesto a causa di questi fattori.

Da ultimo, i futuri studenti desiderano maggiore flessibilità per quanto riguarda l'accesso alla formazione, il che può essere supportato dai datori di lavoro come formazione formale basata sul lavoro con tanto di certificazione riconosciuta oppure mediante opzioni di formazione indipendente che non richiedono grosso impegno di tempo o grandi esborsi economici (p. es., lo scorso anno in Australia gli studenti part-time hanno rappresentato l'81% dei 4,2 milioni di studenti leFP). Le aspettative dei discenti sono cambiate e le loro preferenze includono l'apprendimento online, in presenza o misto (per "apprendimento misto" si intende un approccio all'erogazione dell'istruzione che combina sessioni di accesso remoto o a distanza con lezioni convenzionali in presenza). La libertà concessa dall'erogazione online permette alla valutazione di essere accessibile, portatile, flessibile e facilmente adattabile. In generale, i corsisti/gli studenti possono trovarsi ovunque si disponga della tecnologia, p. es. in classe, in biblioteca, sul posto di lavoro o anche a casa. Infine, è importante ricordare che è possibile usufruire di finanziamenti erogati a livello nazionale e internazionale il cui scopo è quello di migliorare la digitalizzazione delle organizzazioni e delle aziende aggiornando le tecnologie in loro possesso e offrendo incentivi all'istruzione superiore.

### 3.1.3 Apprendimento in classe/in presenza

L'apprendimento in classe corrisponde all'apprendimento in presenza. L'ambiente di apprendimento si crea all'interno delle mura fisiche di un'aula dove si trovano fisicamente sia gli studenti sia il docente. A seconda della tipologia, sono suddivise in

- **Lezione:** tipo di lezione in presenza in cui il docente parla di un dato argomento per un periodo di tempo prolungato. Scarsa interazione tra insegnante e studenti. Metodo unidirezionale<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

- **Seminario:** tipo di lezione in presenza in cui gli studenti si alternano per fornire alla classe il proprio contributo su un argomento. Gli studenti discutono di ciò che hanno appreso dalla lezione<sup>2</sup>.
- **Workshop:** tipo di lezione in presenza simile al seminario in cui gli studenti intervengono su un argomento specifico e l'insegnante modera la discussione. I workshop prevedono esercizi più interattivi per incoraggiare la comunicazione tra i partecipanti e possono durare un'intera giornata o anche più giorni<sup>1</sup>.

In un sondaggio condotto nell'ambito del progetto SAM WP 4.3, il 57,1 % dei rispondenti ha dichiarato che l'istruzione in ambito AM si svolge in un centro educativo. Oggi, molte università offrono master in ambito AM a tempo parziale e a tempo pieno articolati su due semestri che spesso comprendono progetti di gruppo, progetti individuali e una tesi finale. I master in ambito AM durano perlopiù due semestri e possono essere seguiti a tempo pieno o a tempo parziale; sono perlopiù suddivisi in moduli didattici, progetti di gruppo, progetti individuali e/o tesi finale.

Gli argomenti dei **moduli didattici** sono trattati in classe sotto forma di lezioni ed esercitazioni. Il numero di ore di contatto dipende in larga misura dall'argomento del modulo e varia a seconda delle università. Per le linee guida sulle ore si rimanda ai documenti forniti da EWF o CLLAIM (cfr. sezione 4). I risultati dell'apprendimento saranno valutati mediante esami scritti, casi studio, saggi, presentazioni e test. La maggior parte delle università che offrono corsi di laurea o master dispone di macchinari AM nei propri laboratori didattici.

Nei **progetti** di gruppo gli studenti lavorano insieme per risolvere problemi industriali forniti dal direttore del corso. Il progetto applica le conoscenze tecniche e fornisce una formazione al lavoro di squadra, oltre che l'opportunità di sviluppare aspetti non tecnici del programma insegnato. I progetti sono spesso supportati da organizzazioni esterne e propongono scenari reali.

Anche i **progetti individuali** saranno selezionati con il direttore del corso. Lo studente è in grado di dimostrare indipendenza a livello di ricerca e di pensiero.

Gli aspetti multidisciplinari coinvolti nell'AM portano a un mix di formazione su aspetti teorici e attività pratiche/manuali. La formazione in aula per gli studenti del master è finalizzata a introdurre i processi AM e le relative applicazioni, discutendone le implicazioni tecniche e commerciali per progettisti, ingegneri, "maker" e altri possibili utenti di questa tecnologia di produzione avanzata.

Si riportano a titolo esemplificativo gli argomenti trattati nella formazione in aula del corso di laurea magistrale in Additive Manufacturing del Politecnico di Milano, vale a dire i seguenti:

- **Introduction.** Layer-by-layer principles. Benefits and limitation of AM. Historical development of AM technology. Generalized AM process chain. Materials and industrial applications: rapid prototyping, rapid tooling, direct digital manufacturing. Process selection, market availability and trends, business opportunities.
- **AM technology: Polymers.** Description and modelling of the main AM processes for polymers. Machines, software issues, post-processing, design for polymer AM.
- **AM technology: Metals.** Description and modelling of the main AM processes for metals. Machines, software issues, post-processing, design for Metal AM.

---

<sup>2</sup> <https://www.studentassembly.org/seminar-vs-lecture-course-vs-class-terms-youll-need-to-survive-college/>

- **AM product verification.** The need for precision metrology. Dimensional and geometrical metrology for AM: limits of tactile and optical measuring systems; volume-based measuring systems: 3D X-ray computed tomography. Surface topography measurement (tactile, optical, or other and analysis methods).
- **AM process monitoring.** The need for precision processing. In-line monitoring for AM: process variables measurement, monitoring approaches, sensor, and data fusion.

Un altro esempio di insegnamento in aula è rappresentato dal corso di Additive Manufacturing for Space and Aerospace Application del Politecnico di Milano. La formazione in aula mira a fornire una comprensione approfondita di tutte le attuali tecnologie AM utilizzate nei settori industriali di fascia alta. Ogni processo di produzione di metalli (convenzionali e non), polimeri, materiali compositi, ceramiche e vetro, cellule viventi/organismi umani viene descritto nel dettaglio. Ogni processo viene analizzato in termini di applicazioni principali e del processo capace di offrire prestazioni ideali, nonché di tutti i vantaggi e gli svantaggi associati.

Il corso affronta quindi tutte le sfide tecniche attualmente esistenti, p. es. gli aspetti di progettazione e le relative regole di progettazione per la AM, sfide di produzione che iniziano con l'approvvigionamento e il controllo delle materie prime (metodi di vagliatura delle polveri, specifiche di approvvigionamento e requisiti di verifica). Per quanto riguarda il processo di produzione, la stabilità del processo e il suo monitoraggio/controllo, la maggior parte delle università che offrono corsi di laurea o master dispone di macchinari AM nei propri laboratori didattici. È il prodotto a ricoprire il ruolo principale. Inoltre, si affrontano percorsi di qualificazione e validazione dello spazio. Infine, si passa a presentare la standardizzazione in modo da agevolare l'adozione della stampa 3D da parte del mercato e promuovere l'insito potenziale innovativo per la competitività industriale. Da ultimo, il corso offre una panoramica degli sviluppi futuri legati all'AM, tra cui la stampa 4D e il progresso dell'industria 4.0.

Di recente le **lezioni virtuali** sono divenute una necessità a seguito delle limitazioni imposte dalla diffusione del Covid-19 e ciò ha imposto la temporanea erogazione a distanza dei corsi già esistenti. Si prevede che il Covid-19 avrà un grosso impatto sulla formazione futura. Sebbene i metodi formativi siano stati in parte adattati alle piattaforme per le lezioni a distanza, i contenuti sono rimasti invariati; tuttavia, è interessante sottolineare che tale contesto ha anche aperto la discussione e dato modo di comprendere il ruolo delle tecnologie AM quando si affrontano situazioni di emergenza e una rapida domanda di prodotti comunemente realizzati con altri metodi di produzione. L'inclusione di queste discussioni nei corsi di formazione sull'AM può potenzialmente aumentare la consapevolezza dei corsisti sul ruolo strategico svolto dall'AM a livello nazionale e internazionale.

Agli studenti delle scuole superiori e agli studenti di ingegneria vengono sporadicamente offerte lezioni in aula sulla produzione additiva. Nei corsi di laurea in ingegneria, l'istruzione in ambito AM assume la forma di alcuni corsi che fanno parte di un programma curricolare più ampio. Grant Design ha p. es. sviluppato delle risorse per l'insegnamento a livello universitario e post-universitario incentrate sui corsi tradizionali di ingegneria dei materiali, ma include l'AM come area in crescita per nuove risorse. Nel Teaching Resources HUB (<https://grantadesign.com/education/teachingresources/>) sono disponibili le unità didattiche in PowerPoint pronte per l'uso e i libretti di esercizi associati.

È possibile creare grafici personalizzati delle proprietà dei materiali per illustrare un punto particolare e copiarli in PowerPoint oppure salvarli come file di progetto e aprirli all'interno del software, in modo da poter prendere appunti in tempo reale durante la lezione. Il software GRANTA EduPack viene utilizzato anche come base per brevi esercitazioni pratiche degli studenti durante le sessioni in classe o come "compito a casa". Le risorse didattiche di EduPack forniscono esercizi di questo tipo. Gli studenti possono studiare i materiali e produrre relazioni o poster

per dimostrare di aver appreso. Il software EduPack è disponibile presso la maggior parte delle università europee che insegnano ingegneria dei materiali grazie a licenze appositamente concesse a livello di campus. La Tabella 2 fornisce una panoramica dei contenuti delle unità didattiche integrate nell'EduPack.

Tabella 1. Sintesi dei contenuti dell'unità didattica a supporto dell'apprendimento dei principi delle tecnologie AM.

Principio AM	Contenuto dell'unità
Principi generali delle tecnologie AM	Stratificazione della natura
	Processi di formatura (p. es. fusione, sinterizzazione)
	Post-lavorazione
Progettazione per AM	Descrizione della natura dell'AM Freeform e confronto con la produzione sottrattiva convenzionale e con altri processi di formatura
	Limiti di edificabilità in ambito AM
	Produttività in ambito AM e modifiche alla progettazione
	Ottimizzazione della topologia e progettazione generativa basata sull'AM
AM nella produzione di serie	Economie di scala e personalizzazione di massa
	AM - valore aggiunto per la produzione
	Produzione additiva per le fasi di sviluppo del prodotto e di produzione finale

Da una ricerca via internet riguardante corsi di formazione in ambito AM (Lauree magistrali e triennali) relativi a diverse organizzazioni in Europa e corsi di formazione industriale è emerso che, a seconda delle aree di interesse, gli argomenti trattati sono i seguenti:

- processi AM per metalli
- processi AM per polimeri
- principi ingegneristici e scientifici dell'AM
- materiali AM (plastica/metallo)
- strategie costruttive
- qualità di produzione (difetti, standard, procedure, controllo statistico)
- ispezione delle caratteristiche di qualità
- metallurgia AM (caratteristiche metallurgiche / produzione di forme quasi nette)
- Post-lavorazione in ambito AM - Principi di trattamento termico
- Progettazione per AM/CAD
- Analisi agli elementi finiti

- Simulazione di processo / Modellazione in ambito AM
- Software in ambito AM
- Sistemi di dati in ambito AM
- Attuazione in fabbrica (Industria 4.0)
- Progettazione di sistemi AM
- Automazione e robotica
- Pensiero critico e problem solving
- Tecniche di teaming interfunzionale e di ideazione per l'avvio della creatività

### 3.1.4 Apprendimento online/apprendimento a distanza

Da un sondaggio condotto nell'ambito del WP 4.3 del progetto SAM è emerso che l'istruzione online rappresenta il 27,4%. Tuttavia, come già anticipato nella sezione 2.2, è prevista una crescita costante a causa della diffusione del Covid-19 e della digitalizzazione dell'istruzione e della formazione.

L'apprendimento online è di norma conosciuto con vari nomi: apprendimento potenziato dal computer, apprendimento tramite computer, tecnologia interattiva e apprendimento a distanza. Ciò nonostante, la letteratura afferma che esiste una lieve differenza tra l'apprendimento online e l'apprendimento a distanza. L'apprendimento online è considerato insegnamento non dal vivo. Non ci si aspetta che gli studenti siano disponibili in una data ora o in un dato giorno per l'insegnamento in classe ad opera del docente<sup>3</sup>. Gli studenti hanno accesso a un ambiente di apprendimento virtuale (VLE) come Moodle o Dokeos. Il VLE funge da mezzo di comunicazione e da strumento di apprendimento interattivo. Alcuni enti forniscono un supporto di tutoraggio agli studenti che intraprendono il programma; tali tutor sono raggiungibili via e-mail o Skype quando necessario<sup>4, 5, 6</sup>. L'apprendimento a distanza implica invece che gli studenti utilizzino materiale didattico (sia cartaceo sia elettronico) e ricevano istruzioni dal docente in tempi diversi. Potrebbe svolgersi in tempo reale, utilizzando Microsoft Teams, Blackboard Collaborate, Zoom o alternative simili, oppure secondo tempistiche flessibili. Ci si aspetta quindi che gli studenti siano talvolta disponibili per l'istruzione in modalità sincrona. I lavori realizzati dagli studenti sono stati verificati dal docente in modo digitale<sup>7, 8, 9</sup>. Spesso includono anche workshop in presenza, summer school o "corsi residenziali" come parte del programma di laurea<sup>10</sup>.

---

<sup>3</sup> <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

<sup>4</sup> <https://www.igi-global.com/dictionary/enhancing-student-agency-as-a-driver-of-inclusion-in-online-curriculum-pedagogy-and-learning-content/67168>

<sup>5</sup> <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

<sup>6</sup> Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, Internet and Higher Education (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

<sup>7</sup> <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

Un tipo di apprendimento online viene erogato attraverso un laboratorio virtuale. Engineering Education Australia<sup>11</sup> definisce un “laboratorio virtuale” come un metodo di erogazione strutturato in stile classe online dal vivo per la formazione e lo sviluppo professionale. I laboratori virtuali sono interattivi e si avvalgono di strumenti quali sale di discussione, attività basate su casi studio pratici e comunicazione bidirezionale. Includono anche una serie di materiali di riferimento per aiutare i partecipanti ad applicare le conoscenze acquisite nella pratica post-formazione e possono essere combinati con elementi di prelettura o di studio autonomo per massimizzare i contenuti trattati nel corso.

L'apprendimento online e a distanza possono essere suddivisi in diverse aree: corsi universitari online per studenti di master, corsi online ad accesso libero, piattaforme online come i MOOC e corsi brevi per l'industria. I corsi gratuiti forniscono un livello di informazioni inferiore e sono più adatti al grande pubblico. I corsi di master a pagamento forniscono conoscenze approfondite. La maggior parte delle università che offrono corsi di master in ambito AM mette a disposizione anche programmi progettati per l'erogazione online. Tuttavia, è possibile che i corsi da seguire online richiedano una formazione all'interno di laboratori. I corsi sono suddivisi in diversi moduli e vengono trattati gli stessi argomenti illustrati per l'insegnamento in aula. A seconda del tipo di apprendimento online si applicano approcci di apprendimento diversi. L'apprendimento basato sui fatti è perlopiù legato a lezioni introduttive e a corsi gratuiti, mentre l'apprendimento basato su progetti, indagini o problemi può essere applicato maggiormente all'insegnamento rivolto a studenti di master.

Come già accennato, il MIT si distingue tra le varie istituzioni che mettono a disposizione l'apprendimento online: vengono tenute videolezioni e gli studenti apprendono da esperti del settore educativo e industriale attraverso delle interviste. I pezzi prodotti sono valutati online e per il futuro si prevede l'utilizzo di software all'avanguardia. Per comunicare si utilizza una piattaforma edX basata su browser che comprende elementi multimediali, presentazioni, dati tridimensionali di pezzi e strumenti interattivi e quantitativi. I progetti CAD possono essere salvati in un cloud e i modelli di costo sono facilmente accessibili. Inoltre, l'accessibilità online consente di creare una base di conoscenze online con contenuti supplementari su argomenti AM, ampliando la gamma di quelli insegnati. La comunicazione tra studenti e colleghi può avvenire tramite un gruppo di discussione online. Oltre a quella online della MIT, esistono diverse altre piattaforme di formazione online associate a rinomate università quali UDEMY, Alison, Coursera e EDX che offrono una gamma di corsi di formazione specialistici e non specialistici. L'Unione Europea offre poi corsi online gratuiti che coprono gli argomenti di base in modo da fornire una comprensione più ampia dell'AM (cfr. Capitolo 5 - Attività europee). Le persone interessate all'AM possono avere accesso alle conoscenze anche attraverso manuali online, webinar (spesso erogati dai fornitori AM) e blog.

### 3.1.4.1 Piattaforme di apprendimento online in uso

#### 3.1.4.1.1 3DExperience di Dassault Systems

3DExperience è una piattaforma aziendale globale orientata al database che consente la collaborazione tra i diversi azionisti a cui è stato concesso l'accesso. La piattaforma è incentrata su vari ruoli professionali per diversi settori tecnologici e, a seconda del ruolo selezionato e/o acquisito, è possibile utilizzare le in-app per guidare l'utente attraverso un processo.

---

<sup>8</sup> Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, Internet and Higher Education (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

<sup>9</sup> <https://www.aeseducation.com/blog/online-learning-vs-distance-learning>

<sup>10</sup> <https://www.staffordglobal.org/articles-and-blogs/whats-the-difference-between-online-and-distance-learning/>

<sup>11</sup> <https://eea.org.au/insights-articles/what-virtual-workshop>

Nel caso dell'AM, copre l'intera catena del processo ed è applicabile durante tutto il processo di apprendimento. La piattaforma si rivolge principalmente a ingegneri e progettisti, ma anche a studenti, e fornisce uno spazio per l'apprendimento pratico che li guida passo-passo attraverso la catena del processo AM. Alla piattaforma è possibile accedere per scopi privati, attività aziendali o cloud pubblico. Un fornitore (p. es. un'università) può quindi concedere l'accesso a diversi azionisti (studenti) di modo che lavorino individualmente o in team su progetti AM. Sul piano teorico, un gruppo di studenti può applicare un caso studio reale considerando diversi ruoli interni a un'azienda. La piattaforma è basata su un PLM (Enovia), quindi la gestione degli utenti, dei permessi e del controllo delle versioni è piuttosto semplice. La configurazione iniziale è simile alla creazione di un team in Teams.

È possibile scegliere tra quattro diverse applicazioni: CATIA per creare un progetto generativo funzionale; Delmia per simulare il processo di pianificazione della costruzione durante la Powder Bed Fusion; Simulia per effettuare simulazioni di produzione AM; e CATIA2 per creare morfologie di forme virtuali e reali. A seconda di quanto serve loro, gli studenti scelgono un'applicazione o seguono passo-passo la catena del processo. Percorrere l'intera catena del processo aiuta lo studente a lavorare con l'AM avvalendosi di un approccio globale. In CATIA è possibile studiare la progettazione e l'ottimizzazione di pezzi AM, mentre Delmia è uno strumento più orientato al processo e si concentra sulla conoscenza del processo di costruzione. Simulia e CATIA 2 si focalizzano sulle variabili di processo e sulla loro influenza sul pezzo all'interno del processo, ma anche sull'influenza delle strategie di post-lavorazione. Le singole applicazioni simulano una catena di processi reali e il software 3DExperience permette agli studenti di lavorare in un ambiente reale che viene utilizzato anche nell'industria odierna. La piattaforma viene utilizzata per applicare la metodologia del Project Based Learning (PBL). Le persone possono utilizzare diversi strumenti e metodologie all'interno della piattaforma per sviluppare nuovi prodotti AM e familiarizzare con diversi programmi software.

#### 3.1.4.1.2 Ansys Learning Hub

Ansys offre un hub di apprendimento online basato sul web e dotato di risorse di formazione per affrontare progetti attuali e sviluppare opportunità per migliorare le competenze AM, in particolare per gli ingegneri di progettazione e simulazione in ambito AM. Si tratta di un servizio in abbonamento che fornisce accesso a un'ampia gamma di risorse, tra cui corsi in aula programmati a livello globale, corsi virtuali in tutti i fusi orari, corsi video autogestiti, percorsi di apprendimento che guidano la selezione dei corsi, sale di apprendimento dedicate per domande e discussioni e materiali di formazione dettagliati. Nella fattispecie, attualmente i corsi per lo sviluppo delle competenze AM attraverso il software Ansys sono le seguenti:

- **Introduzione a Ansys Additive Prep:** È destinato a ingegneri, progettisti e macchinisti che operano con macchinari per la stampa di metalli. La metodologia didattica si avvale di lezioni e sessioni pratiche al computer per convalidare le conoscenze acquisite. "Ansys Additive Prep" insegna il flusso di lavoro all'interno del software Additive Prep, dall'importazione dei pezzi all'esportazione dei file di build contenenti tutte le informazioni necessarie per la stampante e/o per la simulazione di stampa. In questo corso, il discente apprende come ottimizzare l'orientamento per la stampa di un pezzo e come rilevare automaticamente le aree che necessitano di supporti; le modalità di creazione e definizione dei parametri dei supporti sono presentate nel file di lezione. I discenti imparano a inserire i parametri della stampante per la generazione del file di build. Infine, il corso apre al passo successivo della simulazione di produzione additiva, vale a dire l'esportazione del file di build per utilizzarlo in Workbench Additive o nei prodotti Additive Print. Questo corso insegna dove definire i parametri dei supporti e come definire i parametri della macchina. A tutti i partecipanti che completano il corso viene elargito un attestato di formazione.
- **Introduzione a Ansys Additive Print:** In questo corso i discenti acquisiscono conoscenze riguardanti quanto segue: processo DMLS, processo di calibrazione, risoluzione di problemi di analisi termica

avanzata, previsione della distorsione, differenziazione delle opzioni di modalità di deformazione, generazione del supporto basato sulla geometria, scelta della posizione di build dei pezzi, scelta del modello di scansione, visualizzazione e valutazione dei risultati di stampa. È destinato a ingegneri, progettisti e macchinisti che operano con macchinari per la stampa di metalli. La metodologia didattica si avvale di lezioni e sessioni pratiche al computer per convalidare le conoscenze acquisite. A tutti i partecipanti che completano il corso viene elargito un attestato di formazione.

### 3.1.4.1.3 Granta Education Hub

Granta Design sviluppa risorse per docenti e studenti, nonché database di materiali e software educativi che utilizzano strumenti sofisticati per supportare l'insegnamento della scelta dei materiali, della progettazione e della sostenibilità. Le circa 350 risorse per docenti e studenti sono disponibili gratuitamente sul sito web Granta Education Hub all'indirizzo <https://grantadesign.com/education/teachingresources>.

Tra le tipologie di risorse sono inclusi presentazioni, esercizi, casi studio, documenti e video tutorial. L'unità didattica "Produzione" tratta i fondamenti della scienza dei materiali e dei processi correlati, che dovrebbero costituire la base di qualsiasi formazione in ambito AM. Le unità didattiche riguardano per esempio: Materiali e forma, scelta dei materiali, processo di produzione e relativi costi, ecc. Le risorse didattiche sono tradotte in 8 lingue.

### 3.1.5 Attività pratiche

Un aspetto importante della formazione nel campo dell'AM è legato alle attività pratiche e alle visite in laboratorio. I primi possono essere organizzati e attuati in modi diversi: per esempio, nell'ambito del Master Bosch Industry 4.0 organizzato da Cefriel e Politecnico di Milano per Bosch Italia, i corsisti hanno la possibilità di sperimentare tutte le fasi dalla progettazione del pezzo allo slicing, passando per la preparazione del g-code fino alla stampa finale. In questo i corsisti divengono consapevoli delle questioni pratiche legate alla stampa 3D e del suo potenziale industriale. Inoltre, hanno modo di mettere in pratica i principi e i concetti appresi durante il corso. Presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica del Politecnico di Milano è disponibile un'aula attrezzata con diverse stampanti 3D per polimeri che possono essere utilizzate direttamente dagli studenti.

Anche le visite in laboratorio sono importanti, in quanto consentono ai corsisti di vedere e toccare con mano pezzi reali, sistemi industriali e prototipi di ricerca. Gli studenti possono venire a conoscenza dei progetti di ricerca e sviluppo in corso per avere una migliore percezione dello stato dell'arte attuale, ma anche affrontare problemi aperti e soluzioni innovative non ancora presenti sul mercato.

All'interno del mondo educativo e accademico, la produzione additiva è molto presente nelle aree di laboratorio e nei workshop; inoltre, con l'avvento delle stampanti 3D desktop anche le piccole imprese possono accedere alle apparecchiature AM. Questo genera due grandi vantaggi per la formazione in ambito AM:

in primo luogo, i laboratori con attività di ricerca diverse dall'AM possono sfruttare la capacità produttiva delle loro stampanti desktop e stampare pezzi per le loro attività di ricerca; in secondo luogo, le dimostrazioni in tempo reale di come vengono stampati i pezzi in 3D sono considerate il modo più valido ed efficace per introdurre l'AM come nuova tecnologia. Questo primo approccio alternativo, fuori dall'aula e dal vivo, mira a sollecitare gli studenti a partecipare attivamente e a impegnarsi nell'apprendimento delle tecnologie AM. Solitamente le attività di laboratorio AM hanno l'obiettivo di istruire attraverso la dimostrazione di quanto segue:

- Formatura di pezzi AM

- Operazioni del macchinario AM (p. es. carico/scarico di polveri)
- Processi di post-lavorazione AM

### 3.1.6 Qualifiche e diplomi AM

La Qualifica AM è attualmente la convalida ufficiale delle competenze più diffusa nell'industria europea. Le istituzioni che erogano Qualifiche AM sono centri di formazione (autorizzati o meno - p. es. dall'EFMD) che forniscono al partecipante anche una formazione pertinente in ambito AM affinché acquisisca le conoscenze richieste oppure centri di valutazione che convalidano le conoscenze e le competenze pregresse dell'esaminando in ambito AM.

Nel mondo accademico la formazione in ambito AM non gode di certificazioni distinte tra le principali lauree in ingegneria. Si tratta di una materia secondaria o di una specializzazione all'interno delle discipline principali e dei diplomi di ingegneria. Lo studente di ingegneria può scegliere una serie di corsi AM disponibili nella propria facoltà, così da arricchire la propria conoscenza dei processi AM, oppure proseguire gli studi con una laurea magistrale o un dottorato di ricerca in ambito AM. Altre certificazioni AM fornite dalle università sono i titoli rilasciati in seguito a master professionali in ingegneria oppure certificati di credito universitario. Questo tipo di istruzione e certificazione AM è di breve durata (un anno) e di norma si sviluppa in ambiente digitale, come i corsi online.

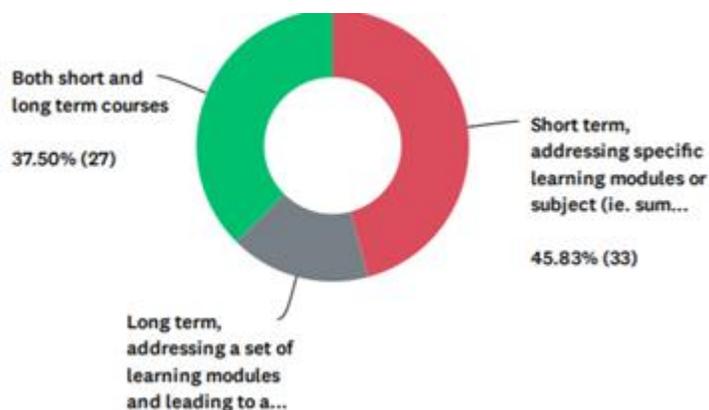


Figura 3: Durata dei corsi AM

Il contenuto di tutte le Qualifiche AM tende ad essere altamente specializzato e mirato ad assi tematici che vanno dalla progettazione per l'AM dei metalli alle operazioni di macchinari AM fino alla manipolazione delle polveri in ambito AM.

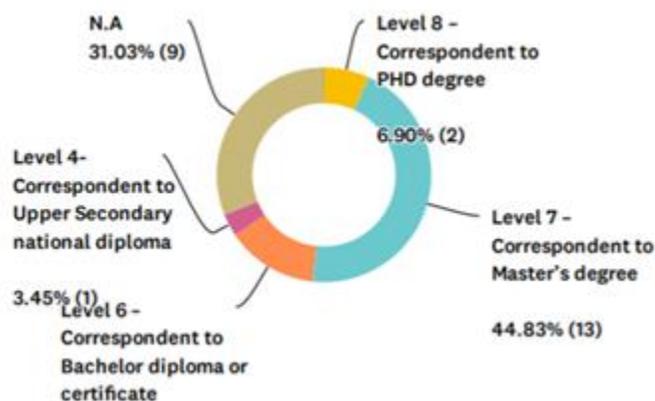


Figura 4: Livello EQF target

### 3.1.7 Formazione in azienda/formazione sul lavoro e stage in azienda

Per “formazione in azienda” o “formazione sul lavoro” si intende un approccio pratico o un corso di formazione volto ad acquisire nuove competenze e abilità necessarie per un lavoro ed erogato dall'azienda a uno specifico lavoratore<sup>12</sup>. Per “stage in azienda” si intende invece un'esperienza di lavoro a breve termine offerta dalle aziende agli studenti per ottenere un'esposizione entry-level a un particolare settore o campo in cui gli studenti sviluppano hard e soft skill<sup>13</sup>.

Molte aziende del settore AM offrono corsi brevi sui temi dell'AM; essendo solitamente rivolti a un pubblico più ampio, tra gli argomenti sono spesso annoverati i seguenti:

- Fattibilità dei progetti dei pezzi
- implementazione dell'AM
- Processi AM
- Materiali in ambito AM
- Calcolo dei costi dei pezzi AM
- Qualità del pezzo (proprietà e tolleranze).

I corsi brevi sono spesso offerti da fornitori di servizi o tecnologie. Inoltre, gli ingegneri ricevono una formazione speciale per la convalida dei processi, la manutenzione, la risoluzione dei problemi, il software, la stima dei costi, la salute e la sicurezza, nonché la pianificazione e l'esecuzione della scansione e della stampa 3D. È possibile visionare un esempio di corso del TÜV SÜD all'indirizzo: <https://www.tuvsud.com/de/store/academy/technical-trainings/additive-manufacturing>

<sup>12</sup> <https://www.valamis.com/hub/on-the-job-training>

<sup>13</sup> <https://www.themuse.com/advice/what-is-an-internship-definition-advice>

La Federazione Europea della Saldatura (EWF - <https://www.ewf.be/additive-manufacturing>,) ha sviluppato un programma di formazione i cui insegnamenti vertono su contesti diversi a seconda dei vari profili professionali. Tali profili sono classificati come segue:

- Direct Energy Deposition - DED (wire plus arc) Operator
- DED (laser) Operator
- Laser Powder Bed Fusion Operator
- DED (wire plus arc) Engineer
- DED (laser) Engineer
- LPBF Engineer
- Designer
- Inspector

Altro erogatore di un programma di formazione in ambito AM è PM Life (<https://www.pmlifetraining.com/about/about-pm-life>), sviluppato dall'Associazione europea di Metallurgia delle Polveri (EPMA). Obiettivo del programma è quello di sviluppare il futuro della metallurgia delle polveri. Le persone possono scegliere e selezionare diversi moduli oppure frequentare un programma completo. I corsi durano una settimana e si svolgono in diverse località europee e al termine viene proposto uno stage in una fabbrica o in un'università (della durata di tre settimane). Il tutto si conclude con il rilascio di un certificato. Gli argomenti trattati sono i seguenti:

- Press and Sinter
- AM
- Powder and Hard Materials

Per quanto riguarda i corsi per professionisti, la formazione viene svolta sia internamente sia esternamente. La maggior parte degli esempi citati (Master in Additive Manufacturing (Milano); Università di Udine; Master in Additive Manufacturing (Rina Consulting) e AM Engineer training (MTC)) è coinvolta nella formazione esterna dei professionisti presso università o enti formativi (come l'EWF), mentre alcune organizzazioni esterne erogano corsi interni all'industria (come il Progetto Formativo AM Advanced (Confindustria Firenze Formazione per Baker Hughes, una società GE). Nell'ambito del Master Bosch Industry 4.0, organizzato da Cefriel, Politecnico di Milano per Bosch Italia, alcuni moduli formativi sull'AM si sono svolti in azienda, mentre altri si sono svolti in università. Nello specifico, l'erogazione di una parte del corso all'esterno facilita l'inserimento di visite in laboratorio e di sessioni pratiche interne e consente di fare esperienza diretta di quello che è lo stato dell'arte della ricerca condotta dall'Istituto nel settore in questione. La formazione interna, invece, consente di personalizzare i contenuti formativi rispetto ai fabbisogni dell'azienda stessa; può essere erogata da fornitori di macchinari che offrono formazione in loco su macchine o tecnologie specifiche.

### 3.1.8 Apprendimento misto

La definizione di “apprendimento misto”, corrispondente a un mix di tecniche di apprendimento, è stata oggetto di studio nel corso degli anni e si è scoperto che, in senso lato, tutti i contesti di apprendimento sopra menzionati

possono essere considerati (in un modo o nell'altro) come tecniche di apprendimento misto. L'apprendimento misto consiste nell'interazione tra insegnamento in presenza e online; pertanto, l'erogazione online (3.1.4) potrebbe essere accompagnata da attività pratiche (3.1.5.). Il docente è libero di scegliere il metodo, la combinazione e il rapporto più idoneo tra le due realtà per soddisfare i fabbisogni del gruppo di discenti. Inoltre, l'apprendimento misto ben si presta al rapido adattamento alle tendenze riguardanti gli stili di apprendimento, nonché a una rapida integrazione di nuovi strumenti di apprendimento online. Tutto ciò rappresenta un vero e proprio vantaggio, soprattutto in un'epoca in cui la digitalizzazione progredisce rapidamente e il professore deve rimanere al passo con gli sviluppi.

Esistono diversi metodi didattici da poter impiegare nell'apprendimento misto:

- In presenza (interazione tradizionale studente-docente)
- Rotazione individuale (gli studenti si spostano da una stazione/attività all'altra)
- Flessibile (gli studenti controllano il proprio percorso di apprendimento - il professore funge da mentore)
- Gamification (comprende elementi di gioco, p. es. gli studenti competono e saltano da un livello all'altro)
- Laboratorio online (apprendimento interamente online per approfondire conoscenze)
- Self-blend (coinvolgimento degli studenti interessati in white paper, blog, video tutorial, ecc.)
- Discenti online (apprendimento in autogestione mentre il professore/formatore/docente interviene p. es. tramite video chat).

### 3.1.9 Panoramica dei contesti di apprendimento presentati

Come si evince dalle sottosezioni da 3.1.1 a 3.1.9, ad oggi vengono offerti diversi contesti di apprendimento per la formazione in ambito AM. Il tipo di contesto di apprendimento dipende dai dettagli del corso. La Tabella 2 fornisce una sintesi delle raccomandazioni completa di vincoli e potenziali valutazioni.

Tabella 2: Sintesi delle raccomandazioni per l'applicazione dei contesti di apprendimento nella formazione in ambito AM.

Tipo di contesti di apprendimento	Vantaggi	Vincoli	Raccomandazioni da applicare alla formazione in ambito AM	Valutazione
<b>Apprendimento online/apprendimento a distanza</b>	Facilmente accessibile	Tutto virtuale - nessuna esperienza diretta Potrebbe essere necessaria dell'apparecchiatura aggiuntiva (p. es. Oculus Rift per la VR)	Per il futuro, in combinazione con l'approccio in azienda o in strutture didattiche.	Test on-line; scelta multipla; saggio. Esercizi con feedback
<b>Apprendimento in classe/in presenza (Conferenze/Seminari/Workshop)</b>	Metodo stabilito	Apprendimento basato sui fatti, la lezione perde di efficacia dopo 15-30 minuti.	Deve essere accompagnato da un'esperienza didattica pratica. Deve includere attività che fungano da stimolo (sondaggi,	Scelta multipla; saggio; basato su problemi.

			brainstorming, sintesi)	
<b>Laboratorio (attività pratiche)</b>	Apprendiment o pratico; deve essere accompagnato da lezioni in aula	Apparecchiature in laboratorio	Deve essere accompagnato da attività quali p. es. lezioni.	Studio in laboratorio; basato su problemi; lavoro di gruppo; pratico.
<b>Stage in azienda per gli studenti o Formazione in azienda/formazione sul posto di lavoro per i lavoratori</b>	Apprendiment o pratico, formazione in un ambiente di ricerca o industriale	Spesso incentrato su un singolo settore/processo, il che limita l'approccio globale all'AM.	Andrebbe svolto accompagnato da un'attività on-line o in aula per fornire una panoramica completa degli argomenti.	Pratico;
<b>Apprendimento misto (combinazione di apprendimento in presenza e online/distanza)</b>	Può raggiungere chiunque; consente di adattarsi rapidamente a nuovi strumenti e tendenze di apprendiment o; basso costo; adeguamento ai fabbisogni dei discenti.	È necessario conoscere in anticipo le caratteristiche del discente in modo da rispondere ai suoi fabbisogni. I risultati dell'apprendiment o vanno definiti in anticipo.	È una buona occasione per affrontare contenuti teorici e approcci pratici (esercitazioni/macchina ri).	Test online; studi di laboratorio; lavori di gruppo; scelta multipla; a seconda di come viene integrato l'apprendimen to misto. (Classe capovolta)

### 3.2 Stato attuale degli strumenti di formazione nella produzione additiva

#### 3.2.1 Paradigma della fabbrica didattica (Teaching Factory)

Il paradigma della fabbrica didattica (Teaching Factory - TF) utilizza l'istruzione e la formazione a partire dai fabbisogni individuali del mondo accademico e industriale. Tra gli ingegneri universitari e gli attori dell'industria viene stabilita una comunicazione diretta per svolgere un compito collaborativo (6) Le due parti affrontano un problema comune di ingegneria pur avendo obiettivi finali distinti, come illustrato nella Tabella 3.

Tabella 3: Obiettivi della fabbrica didattica

Obiettivi del mondo accademico	Obiettivi dei partner industriali
Competenza tecnica	Nuove soluzioni

<b>Pratica della conoscenza</b>	Supporto alle decisioni
<b>Problemi imposti dalla vita reale</b>	Approcci fuori dagli schemi
<b>Prove di concetto</b>	Esternalizzazione dei compiti

È possibile conseguire i diversi obiettivi attraverso una relazione simbiotica tra università e industria, in cui la fabbrica didattica funge da canale di comunicazione e da catalizzatore. Come spiegato da G. Chryssolouris et al <sup>13</sup>, la fabbrica didattica segue un canale di trasferimento delle conoscenze bidirezionale in cui i temi della produzione costituiscono la base per nuovi modelli di sinergia tra università e industria. Tra il mondo accademico e l'industria vengono scambiate idee e soluzioni innovative per bilanciare i tempi e i costi richiesti per l'apprendimento e la sperimentazione di soluzioni ai problemi di produzione, nonché per approfondire le conoscenze di entrambe le realtà attraverso l'innovazione della produzione o i problemi della vita reale (cfr. Figura 5, a sinistra). Esistono due schemi operativi: "dalla fabbrica all'aula" e "dall'università all'industria". Il concetto "dalla fabbrica all'aula" mira a trasferire l'ambiente di produzione reale all'aula, mentre il concetto "dall'università all'industria" mira a trasferire le conoscenze dall'università all'industria (Figura 5, destra).

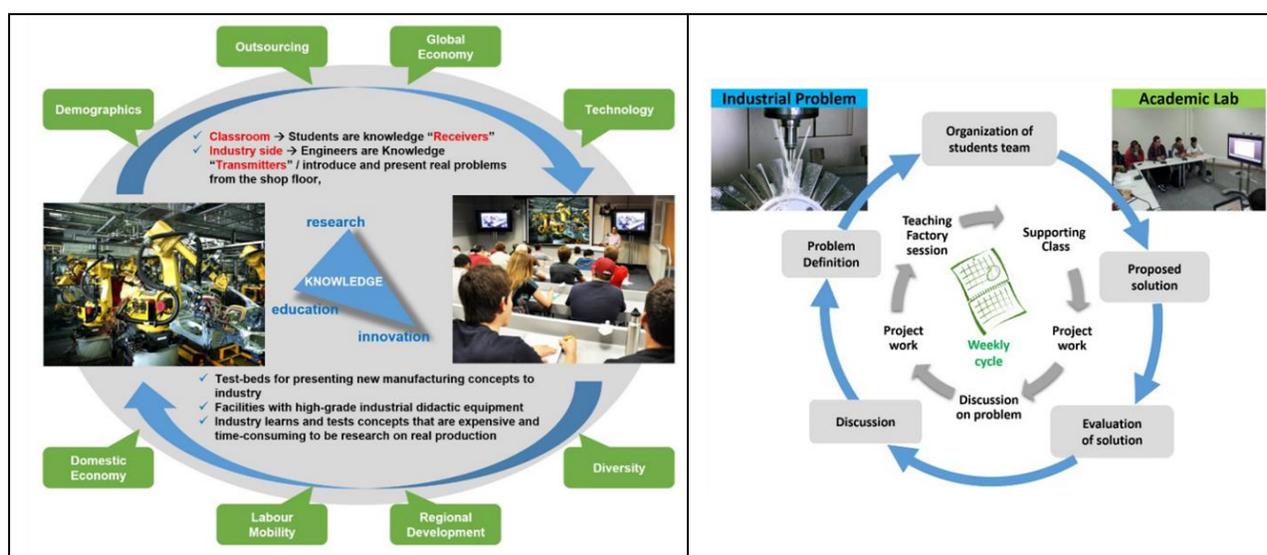


Figura 5: (A sinistra) Concetto di fabbrica didattica; (A destra) Ciclo della fabbrica didattica per il trasferimento delle conoscenze<sup>14</sup>

Essendo gli strumenti per la TF perlopiù digitali, le barriere della distanza vengono eliminate. Si tratta di un modello applicabile a livello globale, tanto all'interno dell'università quanto dell'officina industriale.

A tal fine, l'approccio TF funge da un canale bidirezionale e può essere attuato dalla fabbrica verso l'aula e dal laboratorio verso la produzione. Le tre applicazioni principali della fabbrica didattica sono i seguenti:

1. apprendimento accademico

<sup>14</sup> G. Chryssolouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Volume 57, 2016, Pagg. 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>.

2. apprendimento professionale
3. apprendimento sociale

La fabbrica didattica in ambito AM deve essere utilizzata come strumento di formazione con l'obiettivo di scambiare competenze dall'industria al mondo accademico e viceversa (7). Gli obiettivi fabbrica didattica in ambito AM sono i seguenti:

- a. Fornire conoscenze tecniche e formazione specialistica agli studenti di ingegneria per formare e qualificare meglio i futuri lavoratori nel campo dell'AM.
- b. Migliorare la predisposizione tecnologica delle nuove tecnologie AM e accelerare l'adozione della produzione AM nei settori industriali.

Il processo di attuazione del modello della TF in ambito AM richiede due parti. La prima proviene dal mondo industriale: questa parte porta un problema di produzione reale da risolvere o un nuovo sviluppo da realizzare; Inoltre, possiede le apparecchiature per l'AM e la produzione effettiva del componente AM.

Il secondo gruppo è invece composto da membri della comunità accademica: questa parte fornisce la soluzione analitica al problema da trattare o la ricerca per gli sviluppi necessari.

Al termine della TF in ambito AM entrambe le parti traggono dei vantaggi: l'industria avrà fatto avanzare la propria produzione, mentre l'accademia avrà acquisito preziose conoscenze ed esperienze.

### 3.2.2 Giochi seri

Per **“giochi seri”** si intendono giochi (digitali) utilizzati per scopi diversi dal semplice intrattenimento. Punto di partenza è il concetto stesso di “gioco serio”, nonché il suo effettivo significato. Tali giochi consentono agli studenti di sperimentare situazioni che sono impossibili nel mondo reale (per ragioni di sicurezza, costi, tempo, ecc.) e che tuttavia si ritiene abbiano impatti positivi sullo sviluppo di svariate abilità da parte dei giocatori. In un secondo momento si procede a discutere di alcuni possibili impatti positivi (e negativi) di questi giochi. Inoltre, si prendono in considerazione alcuni dei mercati in cui tali giochi vengono utilizzati, spaziando tra giochi militari, governativi, educativi, aziendali e sanitari (cfr. Serious Games: An Overview (diva-portal.org)). Viene descritto l'utilizzo di motori di gioco per applicazioni non legate al gioco; in altre parole, i giochi saranno utilizzati per scopi di formazione, pubblicità, simulazione ed istruzione. I giochi hanno il potere di catturare l'utente e questo viene utilizzato per acquisire nuove conoscenze e competenze. Sempre più scuole offrono percorsi di laurea in Game Arts, siano essi Bachelor e Master of Fine Arts e/o Bachelor e Master of Science, a seconda degli argomenti scelti. Susi et al. (8) descrivono i giochi seri come un modo divertente per apprendere quali sono le questioni serie legate alla produzione. Per esempio, è possibile applicare facilmente istruzioni audio e video per guidare un utente nell'assemblaggio di un nuovo prodotto nell'intento di utilizzarlo oppure nella manutenzione ordinaria oppure ancora persino nelle riparazioni di emergenza. Attualmente, molte applicazioni riguardano le routine preoperatorie in campo medico, le simulazioni per la gestione delle fobie e l'insegnamento di problemi matematici. È stato dimostrato che l'intrattenimento è un modo efficace per condividere e trasferire le conoscenze.

In termini di insegnamento AM, si potrebbe sviluppare una modalità multigiocatore per consentire a diversi gruppi di apprendimento di assumere ruoli diversi nel processo AM, p. es. mediante piattaforme interattive. Un altro esempio di successo nell'applicazione dei giochi seri riguarda l'uso immediato di un'applicazione di motore in tempo reale creata partendo da dati CAD che sono stati successivamente riformattati e ridotti (9). La visualizzazione in tempo reale può aiutare p. es. un ingegnere di processo a meglio comprendere i macchinari AM e il relativo ambiente.

Un esempio recente di gioco "serio" in ambito AM è un videogioco dedicato alla scoperta della Metal Additive Manufacturing. Si chiama "AddUp Adventure" ed è stato lanciato nel 2019 da AddUp. Il gioco richiama la formula di "The Sims" e si svolge in un ambiente 3D in cui vengono sfruttati espedienti quali dialoghi con NPC, narrazione ambientale, fasi di esplorazione non lineari, raccolta di oggetti, minigiochi e apprendimento basato sui fatti. Si presume che AddUp Adventure favorisca il coinvolgimento dei discenti e aiuti a formare persone con un profilo non tecnico. Inoltre, nel sito sono presenti alcuni quiz relativi all'AM (cfr. p. es. <https://mcqpoint.com/mcq/additive-manufacturing/>, <https://aaq.auburn.edu/node/1549>).

### 3.2.3 Realtà aumentata

La realtà aumentata (AR) è una tecnologia che permette di sovrapporre elementi virtuali alla nostra visione della realtà. Ciò avviene attraverso l'uso di elementi visivi digitali, suoni o altri stimoli sensoriali forniti tramite la tecnologia<sup>15</sup>. Tale tecnologia consente ai docenti di mostrare esempi virtuali di concetti e di aggiungere elementi di gioco in modo da fornire supporti ulteriori al libro di testo. In questo modo gli studenti possono apprendere più velocemente e memorizzare le informazioni.

Attualmente solo negli Stati Uniti è possibile trovare programmi AM che combinano realtà aumentata/realtà virtuale (AR/VR) e AM. L'Università dell'Arizona offre un corso di specializzazione spalmato su 8 moduli, da svolgere online o in presenza, che consente di inserire in curriculum un "minor" in ambito AM(<https://ami.arizona.edu/courses>). Gli argomenti trattati comprendono quanto segue (denominazioni originali):

- AM process simulation
- Physics based modelling using Unity3D game engine
- Evaluation of trainees based on time, accuracy, and human factors
- Cognitive perception supported by immersive experience using VR/AR equipment
- Visualization and haptic feedback
- Digital twins and machine learning for process modelling and control
- Cyber-physical security and infrastructure

3D Bear ha sviluppato una risorsa didattica per la realtà aumentata e la stampa 3D. L'azienda lavora su risorse didattiche a distanza che combinano tecnologie immersive e contenuti pedagogici stimolanti per ottenere i migliori risultati dell'apprendimento. Realtà aumentata ("AR"), realtà virtuale ("VR"), foto a 360 gradi, scansione e stampa 3D. Sviluppo professionale, implementazione e workshop.

<https://www.3dbear.io/>

Il documento "Augmented Reality Interfaces for Additive Manufacturing" (10) indaga sui potenziali casi d'uso dell'AR come strumento per il funzionamento delle macchine industriali. Come base viene utilizzato un sistema di produzione additiva, più comunemente noto come stampante 3D. Si adottano nuove interfacce e controlli aumentati attraverso framework open-source facilmente disponibili e hardware a basso costo. I risultati dimostrano che la tecnologia consente un controllo della stampante e un monitoraggio delle prestazioni più ricco e

---

<sup>15</sup> <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>

intuitivo di quello attualmente disponibile sul mercato. Ci troviamo quindi di fronte a un enorme potenziale per questo tipo di tecnologie nelle future fabbriche digitali.

Altre esperienze legate alla realtà virtuale sono citate in "A Virtual Reality Application for Additive Manufacturing Process Training" (2015), documento che presenta un'applicazione software estensibile capace di simulare un processo AM in un ambiente VR. L'applicazione analizza i movimenti dei componenti della macchina e gli attributi dei segmenti stampati dai file G-code esportati dal software MakerBot® Computer Aided Manufacturing (CAM). Posizione, velocità e tipo di movimento vengono utilizzati per simulare i movimenti fisici della macchina. In corrispondenza delle posizioni iniziale e finale di un movimento di stampa viene creato un "segmento" di stampa. La codifica cromatica degli attributi dei segmenti e la modifica delle loro dimensioni e forme stabiliscono una relazione visiva tra la terminologia di un'impostazione di stampa e la sua rappresentazione nell'ambiente virtuale. Tale relazione visiva tra i segmenti stampati e le impostazioni di stampa facilita l'apprendimento del processo di stampa 3D e della terminologia associata. Gli utenti, siano essi esperti o principianti, possono modificare le impostazioni di stampa nell'ambiente virtuale prima e dopo la stampa di un prototipo. L'identificazione e la correzione di un errore nell'ambiente virtuale riduce i tempi e i costi di stampa di un pezzo con la qualità desiderata.

### 3.2.4 Apprendimento basato sui progetti

I metodi didattici induttivi includono l'apprendimento basato sull'indagine, l'apprendimento basato sui problemi (PBL), l'apprendimento basato sui progetti (PjBL), l'insegnamento basato sui casi e l'insegnamento just-in-time.

I problemi/progetti sono concepiti in modo da essere rappresentativi di problemi autentici che in maniera comprovata motivano gli studenti, mantengono alto il loro interesse e li coinvolgono attivamente nell'apprendimento. È stato dimostrato che gli approcci di apprendimento PBL migliorano lo sviluppo del pensiero critico e della risoluzione dei problemi, nonché la comprensione dei concetti critici dell'ingegneria.

L'approccio PBL si fonda sul principio centrale che il raggiungimento degli obiettivi di apprendimento da parte degli studenti avviene attraverso la soluzione di problemi aperti anziché attraverso la presentazione deduttiva di informazioni. Il problema, accuratamente concepito per essere autentico e riflettere la prassi professionale, funge da motivazione per apprendere i contenuti. Gli studenti lavorano in piccoli gruppi per risolvere il problema individuando innanzitutto ciò che già sanno e ciò che hanno bisogno di sapere e successivamente definendo la modalità e il luogo in cui accedere alle informazioni che li aiuteranno a risolvere il problema. I problemi sono utilizzati come un'opportunità per gli studenti di acquisire le conoscenze desiderate, migliorando al contempo le loro capacità di risoluzione dei problemi e la loro competenza nell'apprendimento autodiretto. Il solo fatto di fornire agli studenti un problema aperto non è considerato un vero PBL: l'istruttore deve guidare il processo di apprendimento e al contempo condurre gli studenti alla riflessione e al debriefing al termine dell'esperienza. Un esempio di corso AM potrebbe essere il seguente:

- spiegare le capacità, i limiti e i principi di base delle tecnologie AM alternative;
- valutare e selezionare le tecnologie AM idonee per applicazioni specifiche di progettazione e produzione;
- spiegare le cause fondamentali di errori e irregolarità all'interno di pezzi AM;
- adottare tecniche AM con un'applicazione di progettazione e produzione impegnativa;
- identificare, spiegare e dare priorità ad alcune delle principali sfide della ricerca in ambito AM.

Un aspetto importante della formazione nel campo dell'AM è legato alle attività pratiche. In questo campo sono diversi i vantaggi apportati da progetti che coinvolgono un lavoro di gruppo. Da un lato, consentono ai corsisti di sperimentare direttamente le numerose potenzialità delle tecnologie AM e consolidano il raggiungimento degli esiti di apprendimento attesi attraverso sessioni pratiche e il lavoro con dati e prodotti reali. Inoltre, promuovono le abilità di lavoro in gruppo all'interno di ambienti multiculturali e multidisciplinari, dal momento che i corsi AM includono di norma corsisti con background diversi.

L'esempio che segue riguarda un'attività di laboratorio e lavoro di gruppo nell'ambito del corso di Additive Manufacturing for Space and Aerospace del Politecnico di Milano. Agli studenti del corso è stato chiesto di riprogettare, per un reale componente spaziale AM (vale a dire il supporto che collega le ruote di reazione per il controllo dell'assetto dello ION Cubesat Carrier), una nuova versione di un piccolo veicolo spaziale originariamente progettato da D-Orbit, start-up italiana (<https://www.dorbit.space/>) per la consegna e il posizionamento finali dei satelliti CubeSat. Per questa versione del veicolo spaziale, D-Orbit collabora direttamente con l'ESA e la sua tecnologia sarà impiegata anche per l'iniziativa Clean Space di quest'ultima relativa alla manutenzione in orbita e alla rimozione attiva dei detriti.

A tutti i team è stato chiesto di ridurre al minimo il peso del supporto riprogettato, di rispettare i requisiti meccanici della struttura (valutazione statica e analisi modale) e di ottimizzare la producibilità. Il team vincitore, composto da quattro studenti, ha sbaragliato la concorrenza presentando un progetto che ha permesso di ottenere la più alta riduzione di peso (-65% rispetto al peso originale del componente) nel rispetto di tutti i requisiti meccanici e di "stampabilità". Alla fine del progetto, i partecipanti sono stati coinvolti in una giornata di presentazione finale.

Volendo menzionare un altro esempio, nell'ambito del corso di laurea magistrale in Additive Manufacturing del Politecnico di Milano, gli studenti svolgono un progetto di gruppo in cui viene chiesto loro di progettare in ambito AM e di stampare, attraverso la Modellazione a deposizione fusa, pezzi che devono soddisfare requisiti funzionali imposti e massimizzare una determinata funzione obiettivo. Tra gli esempi di progetti semestrali si menziona la produzione di macchinine, successivamente testate durante una gara tra tutti i team (le macchinine dovevano percorrere la distanza più lunga scendendo da una rampa), e la realizzazione di ponti, anch'essi testati durante una gara (i ponti dovevano sostenere il peso più alto senza crollare).

Tutte queste attività progettuali consentono agli studenti di entrare in possesso di nuovi strumenti software per l'ottimizzazione della topologia, la preparazione della costruzione, i processi, la simulazione, nonché l'uso di stampanti 3D, in modo da applicare la maggior parte dei concetti appresi nella pratica e di sperimentare le reali potenzialità e i limiti dei metodi AM. La competizione aiuta ad esigere maggiore impegno dagli studenti e promuove il loro interesse per i temi della formazione.

Il software GRANTA EduPack è una risorsa adatta a studenti che svolgono progetti e apprendono sulla base di problemi, in quanto offre sia una risorsa informativa completa sia strumenti software come la selezione dei materiali, l'Eco Audit e altri strumenti di modellazione per risolvere i problemi legati ai materiali. Tali progetti possono essere estremamente variegati: si passa da brevi esercizi all'interno di un corso introduttivo (le risorse didattiche del GRANTA EduPack forniscono alcuni esempi) ad ampi progetti di design dell'ultimo anno fino a lambire progetti di ricerca a livello di master (utilizzando i dati approfonditi del database EduPack di livello 3).

### 3.2.5 Casi studio

Un caso studio è il resoconto di un'attività, di un evento o di un problema che contiene una situazione reale o ipotetica e include le complessità che si incontrano sul posto di lavoro. I casi studio vengono utilizzati per aiutare

gli studenti a capire come le complessità della vita reale influenzino le decisioni. L'analisi di un caso studio richiede che gli studenti si esercitino ad applicare le proprie conoscenze e le proprie capacità di ragionamento a una situazione reale<sup>16</sup>. Per imparare dall'analisi di un caso studio gli studenti "analizzano, applicano le conoscenze, ragionano e traggono conclusioni" (Kardos & Smith 1979).

L'inclusione di casi studio nella formazione ha assunto grande importanza sia per i corsi di livello universitario sia per i corsi destinati a professionisti. Nell'ambito del corso di Additive Manufacturing for Space and Aerospace tenuto presso il Politecnico di Milano, per esempio, vengono presentati casi studio reali (principalmente nel settore spaziale e aerospaziale) una volta che lo studente è pienamente consapevole di tutte le tecnologie attualmente disponibili, dei loro vantaggi e svantaggi e delle principali sfide aperte. L'obiettivo del corso è quello di trasmettere allo studente un approccio attuale di implementazione industriale dell'AM su prodotti di alta qualità. Vengono mostrati i processi di progettazione/produzione end-to-end di veicoli spaziali, satelliti, razzi o parti di aerei reali. Si parte dalla progettazione/ottimizzazione della topologia (design bionico), passando per la selezione della tecnologia AM ideale fino ad arrivare all'ottimizzazione dei parametri di processo, alla caratterizzazione meccanica (statica, a fatica, microstruttura, NDI, tomografia computerizzata, eddy current, ecc.) e alla produzione di una breadboard da testare in scala reale e poi portare in orbita. Il corso fornisce inoltre casi studio ed esempi di indagini su guasti di componenti reali.

### 3.2.6 Lezioni di esperti in ambito AM

Gli aspetti multidisciplinari coinvolti nell'AM implicano tipicamente il coinvolgimento di esperti in diversi campi chiamati a tenere lezioni su argomenti specifici. Tale approccio è stato mantenuto tanto nei corsi di laurea magistrale quanto nei corsi destinati a professionisti. A titolo esemplificativo, il corso di laurea magistrale in Additive Manufacturing del Politecnico di Milano prevede lezioni di docenti esperti in diversi settori (processi produttivi, ingegneria della qualità e analisi dei dati, metrologia e misurazioni, ecc.) e seminari tenuti su invito da esperti provenienti dall'industria o da altri gruppi di ricerca. I seminari sono molto apprezzati dagli studenti, in quanto consentono loro di entrare in contatto con i punti di vista dell'industria, con le reali esperienze di implementazione, con le sfide e le opportunità. I seminari degli esperti sono poi efficaci nel mostrare l'attuale stato dell'arte in merito all'adozione delle tecnologie AM nell'industria odierna e il loro impatto sugli aspetti della società e della crescita economica.

Il corso in Additive Manufacturing for Space and Aerospace del Politecnico di Milano rappresenta un esempio diverso, essendo interamente tenuto da Tommaso Ghidini, Capo della Divisione di Strutture, Meccanismi e Materiali dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA). In questo caso, gli studenti magistrali hanno l'opportunità di entrare in contatto con uno dei maggiori esperti dell'UE nel settore, che trasferisce ai corsisti il proprio approccio (molto applicato e pratico) ai temi e alle questioni relativi all'AM. Per esempio, dopo aver completato con successo il corso, lo studente dovrebbe essere in grado di:

- individuare le tendenze, le tecnologie e le metodologie chiave relative alla fabbricazione digitale e additiva per prodotti ad alto valore aggiunto (applicazione di conoscenze);
- sviluppare nuove idee e soluzioni nei settori industriali emergenti- La produzione additiva è infatti uno degli ambiti più ferventi in fatto di nuove soluzioni, idee innovative e start-up (applicazione di conoscenze e formulazione di giudizi);

---

<sup>16</sup> <https://www.student.unsw.edu.au/writing-case-study-report-engineering>

- interagire in maniera professionale, responsabile, efficace e costruttiva in un ambiente di lavoro. Il progetto consentirà a tutti gli studenti di interagire in un ambiente multidisciplinare, dal momento che il team di progetto sarà composto da studenti di ingegneria gestionale, meccanica, di design, dell'automazione e fisica (capacità di lavorare in gruppo e di comunicare).

Inoltre, nei corsi AM rivolti a professionisti (quantomeno ingegneri e manager) le lezioni sono comunemente tenute da diversi esperti in campi specifici che spaziano dalla scienza dei materiali ai processi basati su fasci laser ed elettronici, passando per la progettazione per l'AM, il controllo qualità e i test sui materiali, fino ad arrivare alla metrologia, alla simulazione, all'analisi dei dati, al calcolo dei costi del ciclo di vita, ecc. Ne è un esempio il progetto LILIAM - Lifelong Learning in Additive Manufacturing (<https://www.liliam-project.polimi.it/>), che ha visto la nascita di un team di otto partner internazionali provenienti da diversi Paesi dell'UE; l'intento è quello di sviluppare un programma di formazione permanente rivolto a professionisti (ingegneri e manager di prodotto e di processo) che, attraverso la combinazione di diverse competenze, fornisca un percorso di apprendimento completo e multidisciplinare. LILIAM si propone di includere lezioni sui seguenti argomenti: 1) Materiali per la produzione additiva, 2) Processi di produzione additiva, 3) Progettazione e ottimizzazione del prodotto, 4) Modellazione e simulazione, 5) Monitoraggio e controllo del processo, 6) Post-trattamento/processi ibridi, 7) Controllo, qualificazione e certificazione, standard e DPI, 8) Valutazione del ciclo di vita (LCA), costo del ciclo di vita, 9) Fine vita e riciclo dei materiali.

### 3.2.7 Software di simulazione

Il software di simulazione consente di progettare la produzione additiva in modo più prevedibile per evitare quanto più l'approccio per tentativi ed errori, risparmiare costi e tempo e generare prodotti più innovativi. Esistono diversi prodotti software per migliorare la progettazione e la lavorazione in ambito AM; la Figura 6 mostra quelli più utilizzati. Questi prodotti software possono essere impiegati per simulare il processo di stampa, prevedere distorsioni e compensarle oppure migliorare la strategia di supporto al fine di prevedere la precisione della parte, come negli esempi<sup>17</sup>.

Additive Works	Amphyon	Simulation-based process preparation software for metal powder bed fusion
Adobe	Photoshop CC	3D design tools and color management
Altair Engineering	Inspire	Topology optimization
Altair Engineering	SIMSOLID	Meshless topology optimization
Altair Engineering	Inspire Print3D	Simulation-based process preparation software for metal powder bed fusion
Autodesk	Project Shapeshifter	Browser-based tool for generating geometric shapes and exporting them for 3D printing
Autodesk	Within Medical	Lattice structures for orthopedic industry, porous coatings for implants
Dassault Systèmes	Tosca Structure	Topology optimization for FEA packages including Abaqus, ANSYS, and MSC Nastran
Desktop Metal	Live Parts	Generative design and topology optimization software
DTU	TopOpt	Topology optimization
e-Xstream	Digimat	Material simulation tool
GeonX	Virfac	Material and process simulation
GravitySketch	GravitySketch	VR-based modeling
MSC	Simufact	Metal AM build simulation
ParaMatters Inc.	CogniCAD 2.0	Topology optimization
PTC	GENERATE	Topology optimization
Siemens	NX	High-end CAD that integrates topology optimization, lattice structures, and support generation

Figura 6: Azienda (a sinistra), nome (al centro) nome e descrizione (a destra) dei prodotti software più utilizzati (Rapporto Wohlers 2021).

<sup>17</sup> <https://fluidcodes.com/software/additive-manufacturing-simulation/>

### 3.2.8 Video e animazioni a scopo didattico

I video e le animazioni a scopo didattico sono strumenti che fungono da ausilio visivo per facilitare l'apprendimento. Vengono utilizzati dagli educatori per rendere i contenuti coinvolgenti, facili da capire ed emotivamente accessibili a tutti i tipi di studenti. Sono risorse che permettono di spiegare idee complesse in modo semplice, che mantengono alta l'attenzione dei discenti sul contenuto e creano un'esperienza distinta che i discenti hanno maggiori probabilità di ricordare<sup>18,19</sup>.

Sul web sono disponibili numerosi esempi di video e animazioni a scopo didattico che spiegano i processi di produzione additiva a diversi livelli di complessità, p. es. video introduttivi (<https://www.youtube.com/watch?v=EHvO-MlzAIM> di GE Additive, <https://www.youtube.com/watch?v=qoBU0r7pT84> di Bracken Media, <https://www.youtube.com/watch?v=t4S0mKjXtT4> di Additive Manufacturing Media) o video e animazioni più specifici relativi a un particolare processo, come la fusione laser a letto di polvere (<https://www.youtube.com/watch?v=VqjtuFxGio4> di SLM Solutions NA, Inc) o il processo di fusione multi-getto (<https://www.youtube.com/watch?v=sUjyK0ilhgw> di Protolabs).

### 3.3 Panoramica degli strumenti di apprendimento

Come si evince dalle sottosezioni da 3.2.1 a 3.2.6, è possibile avvalersi di diversi strumenti di apprendimento per la formazione in ambito AM. Il tipo di strumento di apprendimento dipende dalle caratteristiche specifiche del corso. La Tabella 4 fornisce una sintesi delle raccomandazioni completa di vincoli e potenziali valutazioni.

---

<sup>18</sup> <https://elearningindustry.com/video-learning-animation-styles-and-best-practices-to-follow>

<sup>19</sup> <https://elearningindustry.com/how-animation-based-learning-can-benefit-online-courses>

Tabella 4: raccomandazioni per l'impiego di strumenti di apprendimento per la formazione in ambito AM

Tipo di strumento di formazione	Vantaggi	Vincoli	Raccomandazioni da applicare alla formazione in ambito AM	Valutazione
<b>Fabbrica didattica</b>	Esperienze di apprendimento pratico. Avvicinamento dell'industria al mondo accademico. Insegnamento pratico	Grossa dipendenza dall'infrastruttura.	Da utilizzarsi insieme ad altre attività didattiche "tradizionali".	Basato su problemi; lavoro di gruppo;
<b>Giochi seri</b>	Risoluzione di problemi, divertimento, In linea con la digitalizzazione	Nessuna esperienza pratica.	Complementare ad altre attività didattiche (lezioni in aula, laboratori).	Pratica, intervista
<b>Realtà aumentata</b>	Apprendimento del processo in linea;	Attualmente disponibile solo per alcuni processi e variabili. Nessuna esperienza pratica. Virtuale.	Da utilizzarsi insieme ad altre attività didattiche "tradizionali" o in contesti di fabbrica didattica.	Pratica, intervista
<b>Progetto (Apprendimento basato sui progetti (PBL))</b>	Possibilità di svolgimento accanto alla formazione. Possibilità per gli studenti di vedere l'intera catena del processo. Di pari valore per tutte le persone. Dimensioni del progetto facilmente regolabili.	Da svilupparsi per l'intero corso.	Si consiglia vivamente di imparare attraverso la pratica e avvalendosi della catena del processo di stampa 3D.	Individuale; intervista
<b>Caso studio</b>	Possibilità di implementare le	A seconda del caso studio, potrebbe		Saggio: basato su problemi.

	conoscenze acquisite.	manca l'esperienza pratica.		
<b>Lezioni</b>	Facile panoramica delle conoscenze di tutti gli studenti. In presenza. Approccio più facile.	Nessuna esperienza pratica. Rivolte principalmente a studenti o alunni.	Messa a disposizione della documentazione relativa ai materiali di lavoro.	Scelta multipla, saggio, intervista.
<b>Software di simulazione</b>	Utilizzato nelle simulazioni AM; gli studenti possono fare esperienza diretta nell'esecuzione di esercizi di simulazione impostati e dialogare coi formatori per essere orientati	Necessità per gli studenti di raggiungere lo stesso livello, in modo da poter procedere con le simulazioni e avere accesso agli strumenti		Domande e risposte, esercizi pratici
<b>Attività pratiche</b>	Esperienze di apprendimento pratico. Deve essere accompagnato da lezioni in aula	Necessità di attrezzature, software o materiali	Deve essere accompagnato da attività quali p. es. lezioni.	Basato su problemi; lavoro di gruppo; pratico.
<b>Lavoro di gruppo</b>	Grazie all'apprendimento cooperativo, gli studenti sviluppano competenze relative p. es. a risoluzione di problemi, negoziazione, risoluzione di conflitti, leadership, pensiero critico e gestione del tempo.	Dispendioso in termini di tempo	Adatto ad esporre gli studenti a idee e approcci diversi	Basato su problemi, pratico o teorico
<b>Video e animazioni</b>	Eccellente per	Le animazioni	Complementare ad	Pratica, intervista



<b>a scopo didattico</b>	spiegare contenuti complessi. L'apprendimento emotivo aumenta la capacità di ritenzione e cattura l'attenzione degli studenti	personalizzate richiedono costi elevati	altre attività didattiche (lezioni in aula, laboratori).	
--------------------------	--	---	--	--

### 3.4 Attività dei progetti europei AM a sostegno dell'apprendimento e della formazione in ambito AM

Per contribuire allo sviluppo delle competenze settoriali per la produzione additiva, è stata sfruttata una serie di progetti europei all'interno di un contesto sia fondativo sia orientativo. La presente sezione riporta un elenco non esaustivo di progetti che rappresentano uno sforzo dichiarato più significativo. Nell'AM Observatory è possibile trovare un ulteriore elenco, stilato a partire dal 2019 ([https://skills4am.eu/amobservatory\\_projects.html](https://skills4am.eu/amobservatory_projects.html)).

**Admire (Alliance for aDditive Manufacturing between Industry and univeRsitiEs):** Admire è stata un'alleanza tra aziende AM, università e studenti che ha risposto a un'esigenza industriale: *la qualificazione dei lavoratori in ambito AM*. Il risultato è stato lo sviluppo di un "Metal AM Master degree" europeo conforme al livello 7 del Quadro Europeo delle Qualifiche.

<https://admireproject.eu/summary.html>

**3D Prism:** 3D Prism ha sviluppato un "Massive Open Online Course (MOOC)" disponibile per il pubblico utilizzo. Il corso copre gli aspetti di base e le diverse tecnologie AM, i materiali, i parametri di processo, gli strumenti CAD/CAM e argomenti connessi alla manutenzione. Le conoscenze del corso, pubblicamente accessibile online, saranno verificate tramite quiz.

<https://versal.com/c/jppgww/3dprism-mooc>

**Metals – MachinE Tool Alliance for Skills.** Il progetto Metals ha ambito a dotare un Operatore AM delle abilità necessarie per raggiungere il livello 5 del Quadro Europeo delle Qualifiche. Ciò ha portato allo sviluppo di un corso online che predispone un curriculum per 3 diversi settori: 1) unità relative all'AM, in cui sono trattati tutti gli aspetti legati alla lavorazione AM, dalla progettazione alla post-lavorazione; 2) unità orientate ai processi di lavoro, in cui si acquisiscono abilità che vanno dalla contrattazione alla manutenzione; 3) unità relative all'imprenditorialità, in cui vengono trattati aspetti di marketing, leadership e altro. L'esame di idoneità si svolge attraverso un test online che per il superamento richiede l'80% di risposte corrette.

#### **3DP – Training in 3D Printing to Foster EU Innovation & Creativity**

Questa iniziativa europea ha fornito linee guida scritte su argomenti di corsi brevi, linee guida per formatori, materiale didattico e casi studio per migliorare le competenze degli studenti. Inoltre, ha portato allo sviluppo di una piattaforma di e-learning sulla stampa 3D, disponibile in 6 lingue.

<https://3d-p.eu/>

#### **CLLAIM – Creating Knowledge and Skills in AM – attualmente in corso**

CLLAIM si occupa dello sviluppo di un sistema di qualifiche AM attraverso l'istituzione di un ente di qualificazione, di qualifiche varie per vari ruoli, di pacchetti formativi innovativi, di modelli di Riconoscimento dell'Apprendimento Precedente (RPL) e di un kit pedagogico per formatori incentrato sulle metodologie di apprendimento basate sul lavoro.

<http://cllaimprojectam.eu/>

#### **PAM2 – Precision Additive Metal Manufacturing – attualmente in corso**

PAM 2 mira a migliorare drasticamente la precisione dei processi AM nell'ambito dei metalli affrontando i tre principi della robustezza, della prevedibilità e della metrologia e sviluppando metodi CAE che favoriscano (anziché limitare) la progettazione AM. Il progetto ha fornito un'elevata quantità di risorse sotto forma di documenti di ricerca, poiché prende in esame 15 progetti di ricerca interconnessi per giovani ricercatori. Inoltre, è stata sviluppata una serie su YouTube con l'intento di guidare le persone interessate attraverso il processo di modellazione dell'ottimizzazione della topologia in ambito AM.

<https://pam2.eu/>

#### **Progetti di produzione EIT:**

**EIT-AddManu:** EIT-AddManu porterà allo sviluppo di una "Fabbrica didattica in ambito AM" online in cui saranno elargite delle pillole di sapere attingendo dall'insegnamento AM offerto nell'istruzione accademica e industriale superiore. La piattaforma conterrà strumenti di progettazione, analisi di sistemi AM idonei e selezione del corretto materiale per un dato prodotto. <https://eitmanufacturing.eu/additive-manufacturing-teaching-factory/>

**LILIAM:** Lifelong Learning In Additive Manufacturing – attualmente in corso. L'obiettivo di LILIAM è quello di sviluppare una qualifica europea per diversi profili professionali, tra cui specialisti, ingegneri e manager, nel campo della produzione additiva. I moduli formativi, che combineranno approcci didattici tradizionali e innovativi, sono progettati da una rete internazionale di partner provenienti da 8 Paesi europei coordinati dal Dipartimento di Ingegneria Meccanica del Politecnico di Milano. <https://www.liliam-project.polimi.it/>

## **4 Linee guida operative SAM sul contesto e sugli strumenti di formazione**

### **4.1 Esempi di contesti e strumenti di apprendimento tratti dai partner SAM**

Per dare un'idea di come i contesti e gli strumenti di apprendimento siano integrati nella formazione, verranno forniti due esempi.

#### **4.1.1 LORTEK**

##### **4.1.1.1 Introduzione**

Dal 2018, Lortek e Goierri Eskola offrono un Master in ambito AM. Lortek è un centro tecnologico privato e membro della Basque Research & Technology Alliance (BRTA). Il centro è specializzato nelle tecnologie di giunzione dei materiali. Goierri Eskola è un centro di insegnamento pluralistico e partecipativo che si rivolge agli studenti che hanno terminato la scuola dell'obbligo in Spagna. Il master è rivolto a laureati in ingegneria meccanica e ingegneri tecnici. Si rivolge anche a laureati in fisica e ingegneria chimica provvisti di licenza. L'ammissione è aperta anche a tecnici che vantano un'esperienza lavorativa di almeno tre anni, previo accurato esame delle conoscenze (Riconoscimento dell'Apprendimento Precedente (RPL)). Il corso dura 1.165 ore, è suddiviso in dodici moduli e dura un intero semestre. Inoltre, viene offerto un corso breve in cui non è richiesta la stesura di una tesi. Sito web: <https://www.mondragon.edu/cursos/es/tematicas/ingenieria-mecanica-procesos-fabricacion/master-en-fabricacion-aditiva-industrial>.

##### **4.1.1.2 Lezioni**

L'insegnamento è erogato sotto forma di attività didattiche e formative in presenza. Ogni modulo sarà suddiviso in laboratori e attività didattiche per favorire anche le capacità di apprendimento pratico. Nei vari moduli verranno insegnati diversi aspetti dell'AM, con una forte attenzione alla pratica dell'AM nel contesto dei metalli. Tutti i

diversi moduli possono essere visti come unità di competenza erogabili anche singolarmente. La fase propedeutica dura 265 ore.

- M1 - Introduzione all'AM e agli aspetti economici (PDF)
- M2 - Diverse tecnologie in ambito AM (PDF e dimostrazione)
- M3 - Considerazioni, elementi e strumenti di progettazione (Software)
- M4 - Sviluppo di prodotti in metallo in ambito AM: tipi di materiali, lavorazione e ottimizzazione (PDF)
- M5 - Sviluppo di prodotti polimerici in ambito AM: tipi di materiali, lavorazione e ottimizzazione (PDF)
- M6 - Fabbricazione di prodotti in metallo in ambito AM - difetti e post-lavorazione (PDF e pratica)
- M7 - Fabbricazione di prodotti polimerici in ambito AM - difetti e post-lavorazione (PDF e pratica)
- M8 - Altri materiali (PDF)
- M9 - Industrializzazione della catena del processo AM (PDF)
- M10 - Attività pratiche (pratica Goierri e Lortek)
- M11 - Tesi di master

È possibile accedere anche a corsi brevi o unità didattiche che mirano a migliorare le conoscenze in una determinata area dell'AM. Sono disponibili i seguenti corsi brevi:

- AM per processi di fusione - 12 ore
- AM nel contesto di materie plastiche e compositi, per professionisti - 12 ore
- AM nel contesto dei metalli, per professionisti - 18 ore
- Progettazione AM, per professionisti - 30 ore

#### 4.1.1.3 Casi studio

Gli studenti hanno sei mesi di tempo, vale a dire l'intero semestre, per sviluppare un progetto nel rispetto di determinati requisiti di base, quali il prodotto e le caratteristiche descritte (apprendimento basato sui progetti). Il risultato è la riprogettazione di un prodotto che è stato esaminato lungo tutta la catena di processo nell'ottica dell'industrializzazione. Gli studenti valuteranno gli aspetti economici, di produzione e di progettazione e sceglieranno anche le tecnologie e i materiali. Il risultato è una relazione di 70/80 pagine in cui vengono spiegati i motivi e le fasi dello sviluppo del prodotto. Ogni anno viene scelto un nuovo pezzo. Il caso studio ha una durata di 400 ore.



Figura 7: Bracci originali dei droni da riprogettare



Figura 8: Drone riprogettato dagli studenti magistrali in AM

L'intero corso comprende la stesura di una tesi di laurea magistrale, per la quale sono previste 500 ore. La durata è di tre mesi. Idealmente, il progetto deve essere sviluppato dallo studente magistrale in collaborazione con l'azienda in cui lavora (con un focus su RTO o realtà industriali). In questo modo si garantisce la vicinanza a un ambiente di lavoro reale. La tesi deve essere svolta in

Per sviluppare i pezzi necessari per l'approccio di apprendimento basato sui progetti e la tesi magistrale, gli studenti sono incoraggiati a utilizzare software che siano all'avanguardia ma anche facilmente disponibili, in modo da poter acquisire familiarità. Tra le risorse software si annoverano le seguenti (2020):

- Software per la selezione di materiali GRANTA EduPack di GRANTA
- Piattaforma 3DExperience
- Software specifici per la progettazione (SOLIDWORKS, CATIA)

- Ottimizzazione della topologia (Altair INSPIRE)
- Simulazione FEM (Dassault Systemes ABAQUS)
- Edizione (Markforged EIGER, Materialise Magics)

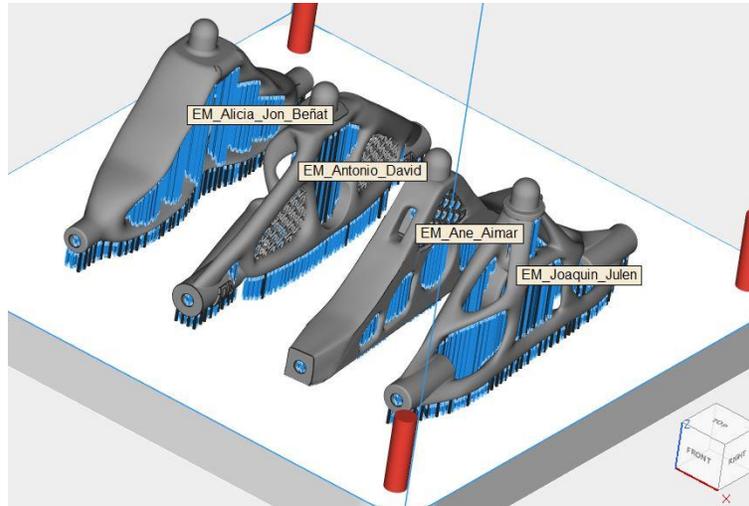


Figura 9: Diversi modelli di assi per skateboard

#### 4.1.1.4 Giochi seri

Essendo il corso rivolto a studenti dell'istruzione superiore, i giochi seri non fanno parte dell'ambiente didattico. Tuttavia, si incoraggia gli stessi a scaricare l'applicazione AM-Motion per testare le proprie conoscenze in ambito AM.

#### 4.1.1.5 Fabbrica didattica

Lortek o Goierri Eskola non sono considerate fabbriche didattiche. Tuttavia, la rete tra partner industriali, di ricerca (Lortek) e Goierri (Università) può essere considerata tale, anche a fronte dell'attenzione a progetti di natura industriale.

#### 4.1.1.6 Realtà aumentata

La Realtà Aumentata non trova attualmente applicazione nel corso di laurea magistrale in AM. Vi è l'ipotesi di introdurre dei simulatori di saldatura, ma ad oggi tutte le pratiche di saldatura vengono eseguite in tempo reale.

## 4.1.2 LZH Laser Akademie GmbH

### 4.1.2.1 Corso di formazione: Specialista dei processi di produzione additiva - Metalli

LZH Laser Akademie GmbH è uno dei principali centri di formazione per la tecnologia laser applicata in Germania.

Insieme all'SLV di Hannover, la LZH Laser Akademie è stata la prima istituzione tedesca, nel 2016, a offrire un nuovo corso di formazione avanzata certificato per ottenere la qualifica di "Specialista dei processi di produzione additiva - Metalli". Il corso dura una settimana e si conclude con un esame.

La formazione avanzata per divenire *Specialista dei processi di produzione additiva - Metalli* si rivolge a un livello di competenza a partire da ingegnere e operatore. È destinata ad operai qualificati, maestri artigiani e tecnici che sono o saranno responsabili del funzionamento di sistemi per la fusione laser selettiva ed è consigliato anche a ingegneri, progettisti e responsabili di produzione che desiderano ottenere una conoscenza di base e completa delle possibili applicazioni nella produzione.

Il corso consente di ottenere una conoscenza completa dei principi e dei parametri di processo e delle singole fasi di produzione dei componenti lungo la catena di processo.

Per ulteriori informazioni si rimanda al sito web tedesco della LZH Laser Akademie: <https://www.lzh-laser-akademie.de/de/seminare/lasermaterialbearbeitung/fachkraft-fuer-additive-fertigungsverfahren-metall/>

#### **Struttura del corso:**

Il corso ha una durata di 40 ore (valutazione compresa) distribuite su cinque giorni.

Viene svolto in presenza, in *aula* e in *laboratorio*. Gli argomenti sono spiegati da esperti e sono suddivisi in unità teoriche e pratiche.

La metodologia utilizzata in *aula* è una combinazione di *lezioni frontali* supportate da presentazioni e *casi studio* per insegnare le basi teoriche e approfondire quanto appreso. La *formazione pratica* occupa circa la metà del corso (~17,6 ore) ed è una combinazione di *dimostrazioni in officina* e *unità pratiche*, che si basano sulle unità teoriche e le approfondiscono. Questa procedura consente ai partecipanti di sperimentare all'atto pratico quanto acquisito sul piano teorico, direttamente e in maniera guidata.

L'unione di lezioni, casi studio, formazione pratica e formazione teorica è ideale per il trasferimento delle conoscenze in materia di gestione del software per la preparazione dei pezzi e del lavoro, preparazione del macchinario, avvio e monitoraggio del lavoro di costruzione, rimozione e post-lavorazione dei pezzi ad avvenuta costruzione, garanzia di qualificazione/ispezione dei pezzi.

#### **Conoscenze e competenze mirate:**

- Conoscenza dei processi e dei materiali AM in generale (tutti i materiali)
- Conoscenza dettagliata dei processi AM nell'ambito dei metalli
- Conoscenza dettagliata dei processi PBF-LB e DED-LB (materiali, sistemi di macchine, software, post-lavorazione, esecuzione di lavori di costruzione con l'intera catena di processo da parte dei partecipanti)
- Il seminario rivolto agli operatori consente di acquisire una conoscenza approfondita dei processi AM nell'ambito dei metalli, mentre la formazione rivolta agli ingegneri e agli operatori avanzati mira a fornire una conoscenza di base dei processi AM e una conoscenza approfondita dei processi AM nell'ambito dei metalli, oltre all'esperienza nella conduzione di processi PBF-LB (cosa si deve fare, quali sono gli errori che si verificano)

e cosa si deve fare per correggerli); dal nostro punto di vista, la metodologia utilizzata riesce sufficientemente a raggiungere l'obiettivo dei seminari)

### **Verifica delle conoscenze**

Nel 5° giorno di formazione si procede alla verifica delle conoscenze, che copre tutti i contesti di apprendimento e avviene mediante esami scritti e orali. Al superamento degli esami si ottiene il certificato "Specialista dei processi di produzione additiva - Metalli".

### **Valutazione della formazione**

A conclusione del seminario si procede a valutare la formazione ricevuta mediante un questionario anonimo.

## **4.1.3 Irish Manufacturing Research (IMR)**

### **4.1.3.1 Realtà aumentata**

IMR ha sviluppato insieme ad altre 9 aziende uno strumento di realtà aumentata chiamato XR-Adopt e utilizzabile per la formazione del personale.



Sono stati fatti enormi progressi per quanto concerne i display digitali, l'elaborazione delle immagini, il rilevamento del movimento, la visione artificiale e il tracciamento degli oggetti. L'unione di tutti questi progressi tecnici ha condotto allo sviluppo di configurazioni XR multiple, ampiamente capaci e precise, a una frazione del costo storico.

Anche la comunità XR di creatori digitali e potenziali utenti è cresciuta a un ritmo esponenziale. Come risultato si ha avuto la creazione di più fornitori di software e hardware, un mercato molto più ampio, nuovi investimenti e pipeline di sviluppo software ampiamente semplificate.

Le aziende si trovano ad affrontare molteplici sfide nell'adozione della tecnologia XR. In un panorama in rapida evoluzione, caratterizzato dall'ingresso e dall'uscita di fornitori, da continue iterazioni di hardware e software e da soluzioni non collaudate a livello aziendale o di impresa, le aziende non hanno le risorse per valutare molte di queste opzioni né per acquisire l'esperienza necessaria a prendere decisioni informate.

Ciò nonostante, la tecnologia XR ha dimostrato di offrire un enorme valore in un'ampia gamma di casi d'uso. XR-Adopt nasce dalla collaborazione di 9 aziende, ognuna delle quali condivide casi d'uso impegnativi per i quali XR offre una soluzione economica. I risultati sono applicabili a una parte significativa dell'industria irlandese.

#### 4.1.4 IDONIAL

##### 4.1.4.1 Giochi seri

Idonial è lo sviluppatore dell'app AM-Motion, che offre un quiz che consente di testare le conoscenze degli utenti in materia di AM. La Figura 10 mostra alcune schermate dell'applicazione che illustrano le informazioni incluse e un esempio di quiz.

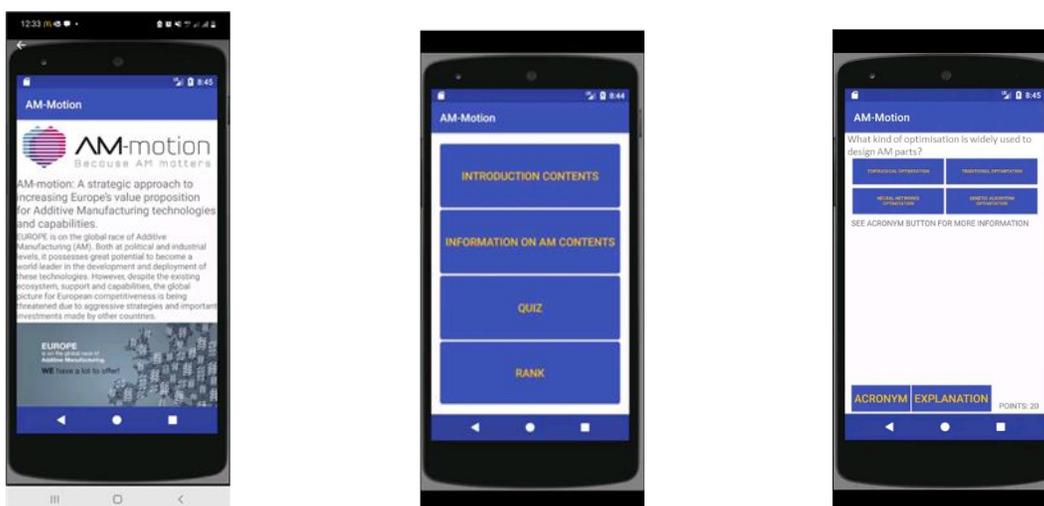


Figura 10: Schermate dell'applicazione AM-Motion sviluppata da Idonial.

##### 4.1.5 Software didattico - Granta EduPack

GRANTA EduPack è un insieme unico di risorse didattiche e software a supporto dei materiali formativi nei settori dell'ingegneria, del design, della scienza, dello sviluppo sostenibile e dell'AM. Fornisce un database completo di informazioni sui materiali e sui processi, compresa l'AM, l'elaborazione e l'analisi dei dati (diagrammi di Ashby), una serie di risorse di supporto quali p. es. lezioni, progetti ed esercitazioni. GRANTA EduPack è suddiviso in tre livelli, così che gli studenti possano accedere a un livello adeguato di informazioni sui materiali a mano a mano che procedono negli studi (vale a dire dalla pre-università fino ai corsi post-laurea). I materiali didattici offerti relativi all'AM sono utilizzati in svariate situazioni: talvolta in laboratori informatici ben attrezzati, talvolta in studi autogestiti utilizzando il portatile di uno studente. Può essere integrato di base nei programmi di studio, così da diventare uno strumento essenziale per gli studenti di ogni anno, oppure essere semplicemente utilizzato come risorsa di dati e come strumento per creare lezioni altamente significative, con grafici chiari e coinvolgenti attraverso cui illustrare i concetti.

Il software offre idee su come utilizzare il database degli elementi per illustrare le tendenze e le relazioni tra le proprietà della tavola periodica oppure come utilizzare semplici grafici a bolle del modulo di Young e della densità per aiutare gli studenti a comprendere le diverse famiglie di materiali e ciò che influisce sulle loro proprietà (p. es. il legame e la struttura cristallina). Attraverso un semplice clic sulle "Science Notes", gli studenti possono rafforzare la teoria anche grazie a riferimenti a testi standard. La nuova versione MS&E di GRANTA EduPack offre strumenti interattivi per trattare argomenti quali i diagrammi di fase e la cristallografia. Anche il trattamento termico e altri modi per manipolare le proprietà dei materiali sono facilmente illustrati. Gli studenti possono poi selezionare i materiali per un progetto basato su queste proprietà, sviluppando una prospettiva su come la scienza fondamentale si traduca in applicazioni ingegneristiche reali.

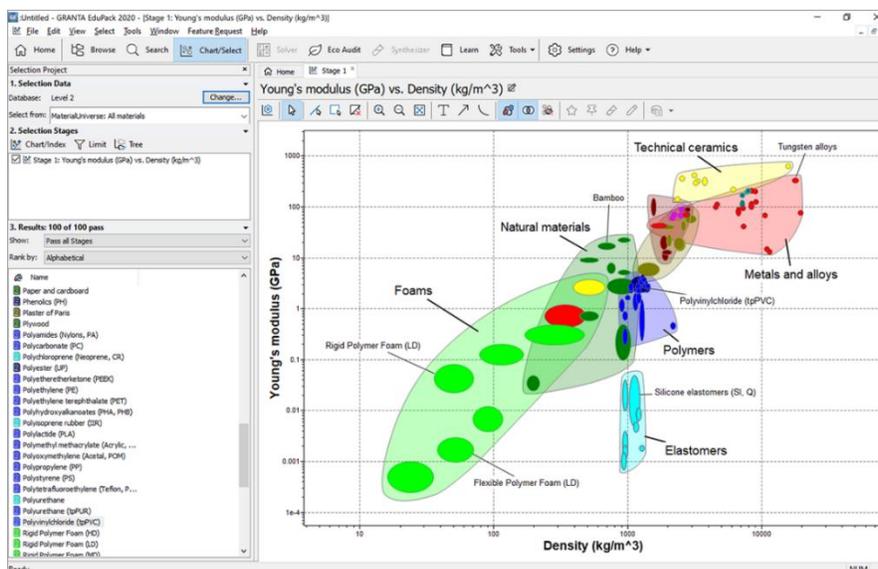


Figura 11: Schermata di Granta EduPack

Il software Granta EduPack consente di avvalersi di diversi approcci didattici per l'insegnamento e l'apprendimento nell'ambito dei materiali, con un numero crescente di risorse dedicate a materiali e processi specifici dell'AM:

**Approccio basato sul design:** Con questo approccio, lo studente inizia con una sfida progettuale. Il software permette loro di identificare le famiglie di materiali che meglio soddisfano i requisiti. Successivamente, possono analizzare il motivo per cui i diversi materiali funzionano in modo diverso, "approfondendo" le risorse informative di EduPack e scoprendo di più sulla scienza sottostante.

**Insegnamento in classe:** Sono disponibili unità didattiche in PowerPoint pronte per l'uso e i libretti di esercizi associati. È possibile creare grafici personalizzati delle proprietà dei materiali per illustrare un punto particolare e copiarli in PowerPoint oppure salvarli come file di progetto e aprirli all'interno del software, in modo da poter prendere appunti in tempo reale durante la lezione. Il software viene utilizzato anche come base per brevi esercitazioni pratiche degli studenti durante le sessioni in classe o come "compito a casa". Le risorse didattiche di EduPack forniscono esercizi di questo tipo. Gli studenti possono studiare i materiali e produrre relazioni o poster per dimostrare di aver appreso.

**Apprendimento basato sui progetti:** Supporto per i progetti degli studenti, sia come risorsa informativa completa sia utilizzandone la selezione dei materiali, Eco Audit e altri strumenti di modellazione per risolvere problemi legati ai materiali. Tali progetti possono essere estremamente variegati: si passa da brevi esercizi all'interno di un corso

introduttivo (le risorse didattiche del GRANTA EduPack forniscono alcuni esempi) ad ampi progetti di design dell'ultimo anno fino a lambire progetti di ricerca a livello di master (utilizzando i dati approfonditi del database EduPack di livello 3).

**Apprendimento basato sui problemi:** Quando gli studenti utilizzano il software per risolvere problemi di progettazione o relativi ai materiali, possono facilmente "approfondire" le informazioni che spiegano i principi ingegneristici e scientifici alla base delle proprietà e dei materiali che stanno studiando. Tale capacità ben si adatta agli approcci basati sui problemi, in cui gli studenti sono incoraggiati ad ampliare la propria conoscenza della materia analizzando questioni e concetti che emergono quando affrontano un problema specifico.

**Autoapprendimento:** GRANTA EduPack concede agli iscritti e ai campus di tutta Europa licenze che consentono a ogni studente del corso partecipante di installare il software sul proprio laptop o PC. In altre parole, GRANTA EduPack può essere un valido aiuto sia per l'apprendimento a distanza sia per altri corsi che richiedono agli studenti di svolgere buona parte del proprio apprendimento a distanza o nel tempo libero. Vengono fornite ampie risorse per gli studenti, tra cui opuscoli "Teach Yourself", glossari e casi studio.

## 4.2 Meta-analisi degli studi pilota e delle indagini condotte nell'ambito del progetto SAM

### 4.2.1 Studi pilota

Come accennato nell'introduzione, durante il progetto SAM sono stati rielaborati o introdotti diversi corsi pilota destinati a professionisti. La presente sezione esamina l'integrazione dei contesti e degli strumenti di apprendimento sopra citati e aiuta a comprendere quale sia stato utilizzato con maggior successo rispetto ad altri. Poiché la crisi generata dal Covid-19 si è abbattuta proprio all'inizio della fase pilota, la maggior parte dei corsi è stata erogata online. I membri hanno dichiarato che in circostanze "normali" i corsi sarebbero stati tenuti con una parte teorica e una pratica. Durante la prima e la seconda fase è stato tenuto un totale di 29 corsi pilota, più precisamente 17 nella prima fase e 12 nella seconda. Nella prima fase, 12 unità di competenza (UC) sono state destinate dai partner SAM al completamento del profilo professionale dell'ingegnere di processo. Le diverse UC sono state distribuite tra i vari partner in maniera equa. Successivamente, 3 UC sono state dedicate ai materiali e 2 UC al profilo professionale di progettista AM nell'ambito dei metalli. Le 17 attività pilota contenute nella prima fase sono state organizzate e realizzate dai seguenti partner: LORTEK, ANSYS GRANTA, AITIIP, FA, IMR, LMD, EC Nantes, MTC, POLIMI, ISQ, UBRUN, EPMA, IDONIAL. In totale sono stati 732 gli studenti che hanno partecipato a questa fase iniziale.

Da queste attività pilota sono state registrate informazioni dettagliate in termini di contesto formativo e strumenti utilizzati. Vale la pena ricordare che molte di queste attività pilota sono state svolte durante il primo semestre dell'anno 2020, corrispondente al momento di blocco generale nei Paesi europei.

L'analisi in termini di strumenti e contesti di apprendimento utilizzati è stata ripetuta per il secondo ciclo di studi pilota. In questo caso, sono state portate a termine 10 attività da parte di diversi partner, tra cui UBRUN, ISQ, MTC, LAK, LMS, FA, AITIIP, IDONIAL, ECNANTES, POLIMI, LORTEK e IMR. In totale sono stati 261 gli studenti coinvolti in questa seconda fase. In questo caso, si è proceduto alla selezione delle nuove UC create per il profilo professionale di "Progettista di polimeri", nonché di due nuove UC incentrate l'una su certificazione e standardizzazione e l'altra sul tema del business.

Competence Unit	Organizer
CU 00: Additive manufacturing Process Overview	Lortek (support Granta)
CU 01: DED-Arc Process	AITIP
CU 08: DED-LB Process	FA
CU 15: PBF-LB Process	IMR
CU 25: Post Processing	LMS
CU 34: Process selection	EC Nantes
CU 35: Metal AM integration	AITIP
CU 36: Coordination activities	MTC
CU 43: Production of PBF-LB parts	POLIMI
CU 44: Conformity of PBF-LB parts	POLIMI
CU 45: Conformity of facilities featuring PBF-LB	ISQ
CU 26: Introduction to materials (optional)	UBRUN/Granta
CU 27: AM with steels feedstock (excluding Stainless Steel)	EPMA
CU 30: AM with Nickel feedstock	EPMA
CU 33: AM with Titanium feedstock	Lortek
CU61 (should be done if possible): Simulation Analysis	Idoniq
CU62: Simulation Execution	Granta

Competence Unit	Organizer	Mode of training
CU 65 - Overview on polymer materials and properties	UBRUN (support Granta)	
CU 65 - Overview on polymer materials and properties	ISQ	
CU 66 - Designing Polymers AM Parts	MTC (support: AITIP)	
CU 67 - Post Processing for Polymers	LAK	
CU 68 - Design for Material Extrusion	LMS	
CU 68 - Design for Material Extrusion	FA	
CU 69 - Design for PBF Polymer	LMS (support: AITIP & IDONIAL)	
CU 64 - Business for Additive Manufacturing	EC Nantes (support: POLIMI)	
CU 63 - Certification, Qualification and Standardisation in	LORTEK	
CU 63 - Certification, Qualification and Standardisation in	IMR (support: MTC)	

### D3.3 Operational guide line on context and training tools

Competence Unit	Organizer	Mode of training	Participants (including number of attendees, age range, profession, etc)	Training tool kits			
				Training context (Description of the context used in training (e.g. classroom, Lab, etc))	Training tools (Description of the training tools (e.g. lecturing, project, case study, etc))	Restrictions & Difficulties (Description of any limitation preventing to use specific training tool)	
CU 00: Additive manufacturing Process Overview	Lortek (support Granta)	presential	16 Participants, 20-35 age range, 3 Women, 13	Classroom teaching over a few days.	The pilot was carried out by several experts in their area of expertise. The presentations were given in form of lecturing.	Practical exercises were only performed in terms of showing parts manufactured in the different (if applicable) technologies.	technologies, it is very difficult to provide practical tools as most companies have maybe only a few in-house.
CU 01: DED-Arc Process	AITIP	presential	18 Participants, 26-40 age range, 5 Women, 13	Classroom teaching over 5 days.	Presentations, peer instruction, KRAKEN example (AITIP development) and real cases discussion (LBP) were used	Videos and practical explanations were used to increase the involvement of the students in the training.	This CU is very long and was complicated to students to maintain focused all the training.
CU 08: DED-LB Process	FA	Online	11 Participants, five: < 26 age range, three: 26-35 age range, 2 Women, 6 Men, at Portugal all	3 days online course	Lecturing	No	the duration of the course per day and some changes that were performed due to COVID-19.
CU 15: PBF-LB Process	IMR	Online	60 Participants 95% of participants were male. 53% were between the ages of 26 and 35. 50% of all attendees were working in the Health Industry. 95% of attendees had a Bachelor's or Master's degree.	4 days online course	Lecturing	No	Due to COVID 19 The course was too theory heavy and this is not relevant to industry where expertise in practice is vital. Contact was also limited because of current restrictions preventing face-to-face. Online content should be reviewed multiple times to reinforce theory.
CU 25: Post Processing	LMS	on line	21 participants, 26-35 age range, students and professionals, 1 at Belgium, 4 at Greece, 3 at Portugal, 3 at India, 1 at Turkey, and 1 at Nigeria.	On line course separated in 2 days	Lecturing	No	No practical exercise was done due to on line mode of the course
CU 34: Process selection	EC Nantes	on line	13 Master students in industrial engineering: gender: 92% male & 8% female age range: all <35 years old Origin: France, Italy, China, Iran, India	On line classroom	Lecturing - Providing some case studies: Hands on experience	Perform cost estimation to compare a traditional manufacturing route (injection molding) with layer manufacturing processes (Stereolithography SL, Fused deposition modelling FDM and Laser sintering LS) in terms of the unit cost for parts made in various quantities. Students were given necessary information to solve a case study including: Assumptions (e.g. AM machines specifications, etc.), The cost model equations, and Requirement for the cost estimation for different AM process including SL, FDM and LS.	Restriction on the use of team working and group discussion activities prevented practicing decision-making skills, mostly for case study analysis. Inability to use some practical training tools required to demonstrate the AM technologies and processes
CU 35: Metal AM integration	AITIP	presential	18 Participants, 26-40 age range, 5 Women, 13	Classroom teaching over 3 days.	Presentations, peer instruction and real cases discussion (LBP) were used	Videos and practical explanations were used to increase the involvement of the students in the training.	The students suggested to use more practical cases and to do shorter sessions.
CU 36: Coordination activities			35 participants, 87% male, 13% female. 20%<25 yrs old, 43% 26-35, 33% 36-55, 3%>55	10 lecture sessions undertaken in one	Powerpoint presentations supported by		requested; less material to be used or more time as the course was too intensive. More case studies and practical/discussive elements preferred. Clarification to the assessment questions

Figura 12: Dati raccolti dagli studi pilota completati nella prima fase. In alto, l'elenco delle UC pilota svolte dai diversi partner

In generale, la teoria si è incentrata su una rassegna generale dei processi applicati e su informazioni dettagliate relative al processo AM e sui relativi vantaggi e svantaggi.

La pratica ha invece riguardato la creazione di un prodotto, ad opera dei partecipanti, utilizzando le tecniche AM. Nella UC 68 **Design for Material Extrusion** e nella UC 69 - **Design for PBF Polymers** è stato chiesto ai partecipanti di creare un supporto per telefoni cellulari ricorrendo ai processi AM.

Per aumentare l'interazione e il coinvolgimento dei discenti, durante la formazione sono stati somministrati sondaggi live utilizzando piattaforme quali Slido e Kahoot! e si è ricorso ad altre piattaforme per migliorare l'impegno degli studenti online, dando ai partecipanti l'opportunità di imparare di più e aumentare la comunicazione con i formatori, oltre che migliorare il processo decisionale sulla progettazione e rifinire i prodotti creati. I sondaggi possono essere utilizzati sia in presenza sia nei forum di apprendimento online.

## 4.2.2 Analisi sistematica

È stata condotta un'analisi sistematica basata sulla metodologia sviluppata nel WP3 per supportare l'implementazione dei corsi di formazione AM, al fine di monitorare la qualità delle attività pilota e di trarre conclusioni per individuare potenziali aree di miglioramento. A tutti i partner che si sono occupati delle singole attività è stato successivamente chiesto, a completamento dell'analisi sistematica, di compilare un modulo. L'analisi è stata condotta sulla base delle quattro categorie di competenze trattate nel progetto SAM (tecnologica, verde, digitale e imprenditoriale).

Le "competenze tecnologiche" sono definite come "capacità di applicare le conoscenze e di utilizzare il know-how per svolgere compiti e risolvere problemi [nell'ambito di attività specifiche]" (adattato dal CEDEFOP 2008)

<https://www.cedefop.europa.eu/en/projects/validation-non-formal-and-informal-learning/european-inventory/european-inventory-glossary#S>

Esempi di competenze relative alla produzione additiva: *processi AM; modellazione numerica; simulazione; CAPP (Computer Aided Process Planning) per AM; ottimizzazione della topologia; progettazione per AM; integrità strutturale; analisi e caratterizzazione dei materiali; pre-lavorazione e manipolazione dei materiali; post-lavorazione, ecc.*

\*Fonte: Per stilare un elenco delle competenze tecnologiche in ambito AM sono stati consultati degli esperti in materia. L'elenco non è esaustivo e richiede un'ulteriore analisi per individuare quelli specifici del settore e/o del profilo.

Le "competenze digitali" sono definite come "una serie di abilità nell'uso di dispositivi digitali, applicazioni di comunicazione e reti per accedere alle informazioni e gestirle". Queste competenze consentono di creare e condividere contenuti digitali, comunicare, collaborare e risolvere problemi, in modo da realizzarsi in maniera efficace e creativa nella vita, nell'apprendimento, nel lavoro e nelle attività sociali in generale" (UNESCO, 2022)  
<https://www.unesco.org/en/articles/digital-skills-critical-jobs-and-social-inclusion>

Esempi di competenze relative alla produzione additiva: *analisi dei dati digitali (intelligenza artificiale, apprendimento automatico); gestione dei dati digitali (big data, statistica, ecc.); capacità di pensare in 3D; sicurezza digitale; coding/programmazione.*

\*Fonte: Per stilare un elenco delle competenze digitali in ambito AM sono stati consultati degli esperti in materia. Per sfruttare ulteriormente questa opportunità si è poi utilizzato il DiGComp, in linea con gli elementi specifici del settore AM.

Le "competenze verdi" sono definite come "conoscenze, abilità, valori e atteggiamenti necessari per vivere, sviluppare e supportare una società sostenibile ed efficiente sotto il profilo delle risorse (CEDEFOP, 2015)"  
<https://www.unido.org/stories/what-are-green-skills>,

Esempi di competenze relative alla produzione additiva: *efficienza delle risorse, consapevolezza verde, valutazione del ciclo di vita (LCA), eco-design, economia circolare, risorse verdi e prodotti verdi.*

\*Fonte: La categorizzazione delle competenze verdi in ambito AM si è basata sul documento "Green skills and innovation for inclusive growth" pubblicato dal CEDEFOP  
<https://www.cedefop.europa.eu/en/publications/3069>].

Le "competenze imprenditoriali" (o "imprenditorialità") sono definite come "competenza chiave trasversale applicabile da individui e gruppi, comprese le organizzazioni esistenti, in tutte le sfere della vita" o "quando si

agisce su opportunità e idee e le si trasforma in valore per gli altri. Il valore creato può essere finanziario, culturale o sociale". (ENTRECOMP, 2016)

[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/entrecomp-entrepreneurship-competence-framework\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/entrecomp-entrepreneurship-competence-framework_en)

Esempi di competenze relative alla produzione additiva: *comunicazione, lavoro di gruppo, gestione dei clienti, risoluzione dei problemi, apprendimento, pianificazione e organizzazione; individuazione delle opportunità, creatività, valorizzazione delle idee, consapevolezza e autoefficacia, ecc.*

\*Fonte: framework EntreCOMP, utilizzato come riferimento insieme al riferimento relativo alle competenze trasversali dello strumento Skills Intelligence.

Per completare l'analisi sistematica, è stato chiesto ai partner di identificare le competenze tecnologiche, imprenditoriali, digitali e verdi che sono state adottate nelle loro attività pilota durante la prima e la seconda fase dei progetti pilota, includendo UC e argomenti nella loro interezza e collegandoli agli strumenti di formazione e ai metodi di valutazione utilizzati. Essenzialmente, la meta-analisi è stata quindi condotta dal punto di vista delle competenze. Il primo passo è stato quello di compilare la seguente tabella.

Tabella 5 Analisi sistematica degli studi pilota condotti dalla Brunel University e da Ansys Granta.

Gruppo di competenze/Categorie di competenze	Unità	Argomenti	Contesto formativo	Strumento di formazione	Metodi/strumenti di valutazione	Restrizioni
Tecnologiche	UC 26 (Brunel / Ansys): Additive manufacturing Process Overview	Introduzione ai materiali (opzionale)	8 sessioni online via MS Teams	Presentazioni online, demo, sondaggi tipo Mentimeter, casi studio Granta EduPack	Quiz online (scelta multipla)	Nessuna sessione pratica o di laboratorio: il corso è stato tenuto a distanza
	UC 61 (Ansys): Simulation execution	Simulazione di AM nell'ambito dei metalli	4 sessioni formative online via MS Teams; corso on demand tramite Ansys Learning HUB. Messa a disposizione del software Ansys.	Casi studio, quiz, video, chat/Forum	Quiz online (scelta multipla)	L'accesso a software per le attività di formazione richiede una licenza. La conoscenza specifica in ambito AM richiede una conoscenza preliminare delle simulazioni con strumenti FEA/Ansys, di cui alcuni partecipanti non disponevano.
Imprenditoriali	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digitali	CU 61 (Ansys): Esecuzione della simulazione	Simulazione di build AM nell'ambito dei metalli	Competenze pratiche sul software	Suite Ansys AM	Verifica delle conoscenze online	L'accesso a software per le attività di formazione richiede una licenza (che è

						stata predisposta).
	-	-	-	-	-	-
<b>Verdi</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabella 6 Analisi sistematica degli studi pilota condotti da Lortek (supporto Granta in UC00 e CQSAM in UC63).

<b>Tecnologiche</b>	UC 00 (Lortek): Additive manufacturing Process Overview	Panoramica della tecnologia	Insegnamento in classe per alcuni giorni	Realizzato da diversi esperti nella propria area di competenza. Lezioni, demo/visita in laboratorio	Esame scritto (virtuale)	Poiché questa UC fornisce una panoramica di tutte le tecnologie, è molto difficile fornire strumenti pratici, dato che molto probabilmente la maggior parte delle aziende dispone solo di alcuni di essi.	
		Visita in laboratorio, attrezzature, componenti e pezzi					
		Standard di processo					
CU 31 (Lortek): AM with Titanium feedstock	Panoramica dell'AM nell'ambito dei metalli	Progettazione per l'AM e materiale	Insegnamento in classe per alcuni giorni	Video, visite in laboratorio, studi macrografici, analisi di documenti, casi studio	Domande a scelta multipla	Poiché l'azienda lavora con WAAM e lo possiede internamente, non vi sono state limitazioni o restrizioni.	
					Domande a scelta multipla		
					Esame pratico, mini progetti		
UC 63 (Lortek): Certification, Qualification and Standardisation in Additive Manufacturing	Certificazione e qualificazione in ambito AM	Standardizzazione in ambito AM	Corso online 2 x 3,5 ore	Lezioni, con casi studio e interazione via Slido per coinvolgere il pubblico	Orale, lettura, scritto (questionario)	Il corso è stato offerto sotto forma di webinar. Si è trattata di una situazione opposta a quella solitamente proposta agli studenti. È stato quindi molto difficile controllare il tipo di partecipanti al corso. Inoltre, al fine di adottare un approccio variegato all'insegnamento, sono stati selezionati diversi relatori ospiti (provenienti da aziende diverse) e l'approccio alla certificazione didattica è stato diverso.	
							Applicabilità nella catena di processo basata sull'AM
<b>Imprenditoriali</b>	UC 31 (Lortek): AM with Titanium feedstock	Economia e produttività	Insegnamento in classe per alcuni giorni	Caso studio, pratica diretta	Domande a scelta multipla Esame pratico, mini progetti	Poiché l'azienda lavora con WAAM e lo possiede internamente, non vi sono state limitazioni o restrizioni.	
<b>Digitali</b>	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	

<b>Verdi</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabella 7 Analisi sistematica degli studi pilota condotti da AITIIP.

Gruppo di competenze/Categorie di competenze	Unità	Argomenti	Contesto formativo	Strumento di formazione	Metodi/strumenti di valutazione	Restrizioni
Tecnologiche	UC 01 (AITIIP): DED-Arc Process	Hardware e funzionamento	Insegnamento in classe per 5 giorni.	Sono state utilizzate presentazioni, istruzione tra pari, esempi KRAKEN (sviluppo AITIIP) e discussione di casi reali (LBP)	Esame scritto (questionario)	Sono stati utilizzati video e spiegazioni pratiche per favorire il coinvolgimento degli studenti nella formazione
		Materie prime e materiali di consumo				
	CU 35 (AITIIP): Metal AM integration	Gestione della produzione	Insegnamento in classe per 3 giorni.	Sono state utilizzate presentazioni, istruzione tra pari e discussione di casi reali (LBP)	Esame scritto (questionario)	Gli studenti hanno suggerito di utilizzare più casi pratici e di fare sessioni più brevi.
Imprenditoriali	CU 01 (AITIIP): DED-Arc Process	Strategia di produzione DED-Arc	Insegnamento in classe per 5 giorni.	Presentazione, video, spiegazioni pratiche	Esame scritto (questionario)	Questa UC è molto lunga ed è stato complicato per gli studenti mantenere la concentrazione per tutta la formazione
	UC 35 (AITIIP): Metal AM integration	Integrazione commerciale in ambito AM	Insegnamento in classe per 3 giorni.	Sono state utilizzate presentazioni, istruzione tra pari e discussione di casi reali (LBP)	Esame scritto (questionario)	Gli studenti hanno suggerito di utilizzare più casi pratici e di fare sessioni più brevi.
Casi studio		Esame orale				
Digitali	UC 01 (AITIIP): DED-Arc Process	Software, programmazione con CURA, CAM	Insegnamento in classe per 5 giorni.	Presentazione, video, spiegazioni pratiche	Esame scritto (questionario)	Questa UC è molto lunga ed è stato complicato per gli studenti mantenere la concentrazione per tutta la formazione
	-	-	-	-	-	-
Verdi	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabella 8 Analisi sistematica degli studi pilota condotti da LMS (supporto: AITIIP e IDONIAL nella UC69).

Gruppo di competenze/Categorie di competenze	Unità	Argomenti	Contesto formativo	Strumento di formazione	Metodi/strumenti di valutazione	Restrizioni
<b>Tecnologiche</b>	UC 25 (LMS): Post-lavorazione	Trattamento termico	Corso online spalmato su 2 giorni	Lezioni online	Domande a scelta multipla online	Nessuna esercitazione pratica, essendo il corso erogato online
		Deformazione plastica e produzione sottrattiva				
		Operazioni di finitura				
	UC 68 (LMS): Design for Material Extrusion	Nozioni di base su AM e MEX	Corso online spalmato su 2 giorni	Lezioni, sondaggi, casi studio online	Esame online	Naturalmente è preferibile un caso studio pratico, ma non è stato possibile a causa della modalità online.  Aumento del numero di partecipanti.
		Materiali per MEX				
		Considerazioni sul design				
UC 69 (LMS): Design for PBF Polymer	Nozioni di base su AM e PBF	Corso online spalmato su 2 giorni	Lezioni online	Esame online	Naturalmente è preferibile un caso studio pratico, ma non è stato possibile a causa della modalità online.  Aumento del numero di partecipanti.	
	Materiali per PBF					
	Considerazioni sul design					
<b>Imprenditoriali</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
<b>Digitali</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
<b>Verdi</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabella 9 Analisi sistematica degli studi pilota condotti da POLIMI.

Gruppo di competenze/Categorie di competenze	Unità	Argomenti	Contesto formativo	Strumento di formazione	Metodi/strumenti di valutazione	Restrizioni
Tecnologiche	UC 43 (POLIMI): Production of PBF-LB parts	Progettazione per AM	Lezioni a distanza online + laboratori	Lezioni, laboratorio con progetti e apprendimento pratico, classe virtuale congiunta con altre due università (TUM e MIT)	Esame online	Restrizione delle visite in laboratorio a causa della pandemia di Covid-19
	UC 44 (POLIMI): Conformity of PBF-LB parts	Garanzia di qualità	Lezioni online	Lezioni, classe virtuale congiunta con altre due università (TUM e MIT)	Esame online	Restrizione delle visite in laboratorio a causa del COVID
		Standard del processo AM				
	Materiali e test					
Imprenditoriali	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digitali	UC 43 (POLIMI): Production of PBF-LB parts	Software per AM, ottimizzazione della topologia, codice CAD-STL-g	Lezioni a distanza online + laboratori	Lezioni, laboratorio con progetti e apprendimento pratico, classe virtuale congiunta con altre due università (TUM e MIT)	Esame online	
	-	-	-	-	-	-
Verdi	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabella 10 Analisi sistematica degli studi pilota condotti da EPMA.

Gruppo di competenze/Categorie di competenze	Unità	Argomenti	Contesto formativo	Strumento di formazione	Metodi/strumenti di valutazione	Restrizioni
Tecnologiche	UC 27 (EPMA): AM with steels feedstock (excluding Stainless Steel)	Scienza dei materiali - Acciaio	10 sessioni online via MS Teams	Diapositive delle lezioni, pubblicazioni EPMA	Esame online	Nessuna sessione pratica
	UC 30 (EPMA): AM with Nickel feedstock	Scienza dei materiali - Leghe a base di nichel	3 sessioni online via MS Teams	Diapositive delle lezioni, pubblicazioni EPMA	Esame online	Nessuna sessione pratica
Imprenditoriali	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Digitali	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Verdi	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabella 11 Analisi sistematica degli studi pilota condotti da MTC.

Gruppo di competenze/Categorie di competenze	Unità	Argomenti	Contesto formativo	Strumento di formazione	Metodi/strumenti di valutazione	Restrizioni
Tecnologiche	UC36 (MTC): Coordination activities	Gestione dell'AM e considerazioni operative	10 sessioni di lezioni svolte in un unico giorno (il corso è stato svolto due volte per coorti diverse - 12/01/21 e 15/01/21)	Presentazioni in Powerpoint col supporto di video, discussioni e sessioni di Mentimeter	Esame online (scelta multipla)	Nessun problema a livello di erogazione, ma gli studenti hanno chiesto di utilizzare meno materiale o di avere più tempo, perché il corso era troppo intensivo. Sono preferibili più casi studio ed elementi pratici/discorsivi. È stato necessario chiarire le domande poste in sede di verifica delle conoscenze; ciò è contenuto in una relazione separata.
	-	-	-	-	-	-
Imprenditoriali	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

<b>Digitali</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
<b>Verdi</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabella 12 Analisi sistematica degli studi pilota condotti da Idonial.

Gruppo di competenze/Categorie di competenze	Unità	Argomenti	Contesto formativo	Strumento di formazione	Metodi/strumenti di valutazione	Restrizioni
<b>Tecnologiche</b>	UC61 (Idonial): Simulation Analysis	Simulazione e analisi degli elementi finiti	4 sessioni di formazione, svolte a distanza tramite MS Teams	Lezioni  Casi studio	Esame online	Il corso si è svolto interamente a distanza a causa delle restrizioni imposte dalla pandemia di Covid-19. Ciò ha rappresentato una difficoltà al momento di proporre ai partecipanti scenari da risolvere (esercizi pratici), che va ad aggiungersi alla complessità dell'UC stessa in termini di rapporto tra contenuti e tempo disponibile.
	-	-	-	-	-	-
<b>Imprenditoriali</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
<b>Digitali</b>	UC61 (Idonial): Simulation Analysis	Ottimizzazione della topologia, software Ansys	4 sessioni di formazione, svolte a distanza tramite MS Teams	Lezioni  Casi studio	Esame online	Il corso si è svolto interamente a distanza a causa delle restrizioni imposte dalla pandemia di COVID-19. Ciò ha rappresentato una difficoltà al momento di proporre ai partecipanti scenari da risolvere (esercizi pratici), che va ad aggiungersi alla complessità dell'UC stessa in termini di rapporto tra contenuti e tempo disponibile.
	-	-	-	-	-	-
<b>Verdi</b>	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabella 13 Analisi sistematica degli studi pilota condotti da ECNantes.

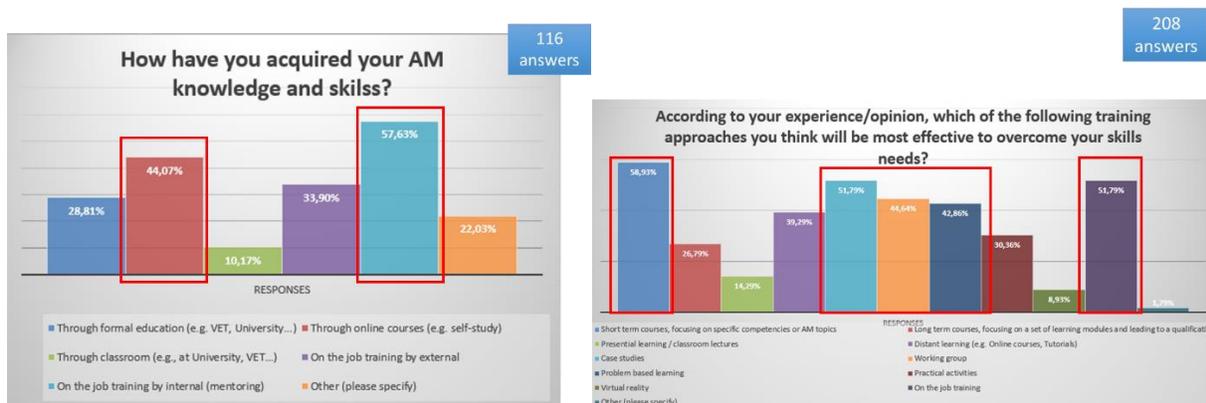
Gruppo di competenze/Categorie di competenze	Unità	Argomenti	Contesto formativo	Strumento di formazione	Metodi/strumenti di valutazione	Restrizioni
Tecnologiche	UC 34 (ECNantes): Process selection	Analisi del lavoro AM (panoramica del processo AM)	Lezioni online	Lezioni, video	Esame scritto (MCQ)	Impossibile utilizzare alcuni strumenti di formazione basati su laboratori fisici (p. es. fabbrica didattica) che supportano l'apprendimento attraverso la pratica; minore possibilità di lavorare in gruppo e di discutere in gruppo; difficoltà a capire i livelli di coinvolgimento degli studenti
		Analisi del lavoro AM (progettazione, materiali, specifiche tecniche)		Lezioni, video, caso studio		
		Analisi del lavoro AM (post-lavorazione, requisiti del settore industriale)		Lezioni, video		
Imprenditoriali	UC 64 (ECNantes): Business for Additive Manufacturing	Strategie e modelli aziendali	Lezioni online	Lezioni, caso studio	Esame scritto (MCQ)	Minore possibilità di mettere in pratica il caso aziendale reale/fittizio nel contesto del lavoro di gruppo e della discussione di gruppo; impossibilità di dimostrare in loco esempi di processi AM
		Politica e governance		Lezioni		
		Gestione, pianificazione e controllo della qualità		Lezioni, video		
		Gestione del flusso di lavoro AM		Lezioni		
	UC 34 (ECNantes): Process selection	Economia e produttività	Lezioni online	Lezioni, esercizi pratici	Esame scritto (MCQ), esame pratico	
-	-	-	-	-	-	-
Digitali	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Verdi	UC 64 (ECNantes): Business for Additive Manufacturing	HSE e sostenibilità	Lezioni online	Lezioni, video	Esame scritto (MCQ)	
	-	-	-	-	-	-

A partire da questo modulo è stata condotta una meta-analisi che ha fornito buone indicazioni sul numero di competenze coperte da ogni UC e argomento, sul numero di strumenti di formazione utilizzati per il loro sviluppo e sugli strumenti di formazione più utilizzati per categoria di competenze.

### 4.2.3 Sondaggi

I risultati della meta-analisi condotta con i dati registrati da ogni singola attività pilota sono stati confrontati con i risultati della seconda Indagine di settore condotta tra gennaio e febbraio 2022. Durante l'indagine sono stati presi in considerazione gli attuali lavoratori e datori di lavoro in ambito AM. Sebbene l'obiettivo principale dell'indagine fosse quello di chiedere informazioni sulle carenze di competenze, sull'allineamento tra industria e offerta AM e sui profili che saranno maggiormente richiesti dall'industria nel breve e medio termine, i partner SAM hanno deciso di includere anche alcune domande aggiuntive sulla futura implementazione dell'AM nell'industria. Tali domande sondavano le preferenze, in termini di formazione, per poter soddisfare abbondantemente i fabbisogni di competenze.

Vale la pena sottolineare che molti degli attuali professionisti hanno acquisito le proprie conoscenze e competenze tramite corsi, autoformazione e formazione sul lavoro o tutoraggio. È quindi evidente che manca ancora un quadro educativo formale che garantisca gli standard e la qualità dei programmi di insegnamento. Inoltre, è importante notare che i lavoratori ambiscono a frequentare corsi brevi, incentrati su competenze specifiche o su argomenti relativi all'AM, e a trattare casi studio operando all'interno di gruppi di lavoro, utilizzando metodi di apprendimento basati su problemi e avvalendosi della formazione sul lavoro. I corsi a lungo termine basati sull'apprendimento in presenza e sulle lezioni in aula non sono infatti i contesti e gli strumenti di apprendimento più interessanti per i lavoratori. Da questa analisi si evince che i corsi di formazione dovrebbero sforzarsi di concentrare le lezioni teoriche e in aula e adottare altri strumenti di apprendimento più attivi fuori dall'aula.



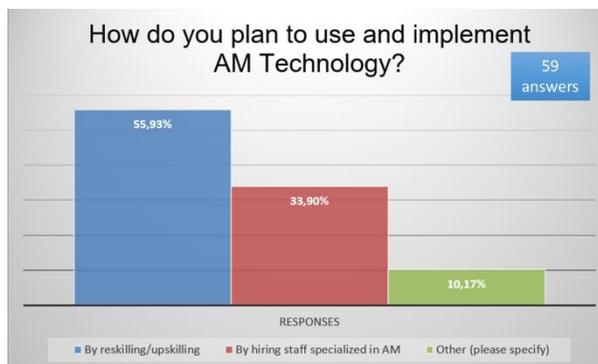


Figura 13: Risultati del secondo sondaggio rivolto all'industria che mostra le principali preferenze in termini di formazione.

#### 4.2.4 Conclusioni della meta-analisi

I seguenti grafici illustrano i principali risultati della meta-analisi condotta. Tra le principali conclusioni si annoverano le seguenti:

- 1) Ciascuna UC e i relativi argomenti si sono incentrati principalmente sulle competenze tecnologiche. Le competenze imprenditoriali sono state affrontate anche in molte attività pilota, tra cui 5 UC e 10 argomenti. Le competenze digitali e soprattutto quelle verdi sono state quasi ignorate durante le attività di formazione.
- 2) Quasi due terzi delle attività pilota sono stati svolti online. Ciò è dovuto principalmente alle restrizioni legate all'epidemia di Covid-19.
- 3) Lezioni, casi studio, video e attività pratiche sono stati gli strumenti di formazione più utilizzati per sviluppare le competenze tecnologiche. Lezioni e attività pratiche sono stati gli strumenti di formazione preferiti anche per quanto riguarda le competenze imprenditoriali e digitali. A questo punto, è utile sottolineare ancora una volta che l'impiego di alcuni strumenti quali progetti, attività pratiche o gruppi di lavoro è stata compromessa dalla situazione pandemica.
- 4) Per verificare l'impatto della pandemia di Covid-19 sugli strumenti di formazione selezionati è stata condotta un'analisi basata sui singoli anni. Grazie a ciò è stato possibile analizzare le attività pilota completate nel 2020 in maniera del tutto indipendente da quelle svolte nel 2021. La conclusione è che durante le attività pilota dell'anno 2021 sono state utilizzate meno lezioni frontali, mentre sono stati promossi gli altri strumenti di formazione (attività pratiche, gruppi di lavoro o casi studio). Ciò ha permesso un approccio didattico più pratico e coinvolgente, che è stato apprezzato dagli studenti.

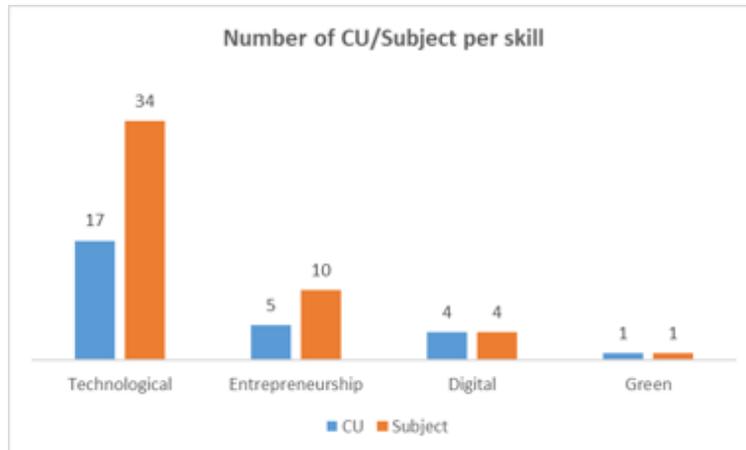


Figura 14: Panoramica dei risultati della meta-analisi: numero di competenze di ogni categoria coperte nelle UC/negli argomenti trattati.



Figura 15: Panoramica dei risultati della meta-analisi: modalità di formazione per l'erogazione di attività pilota.

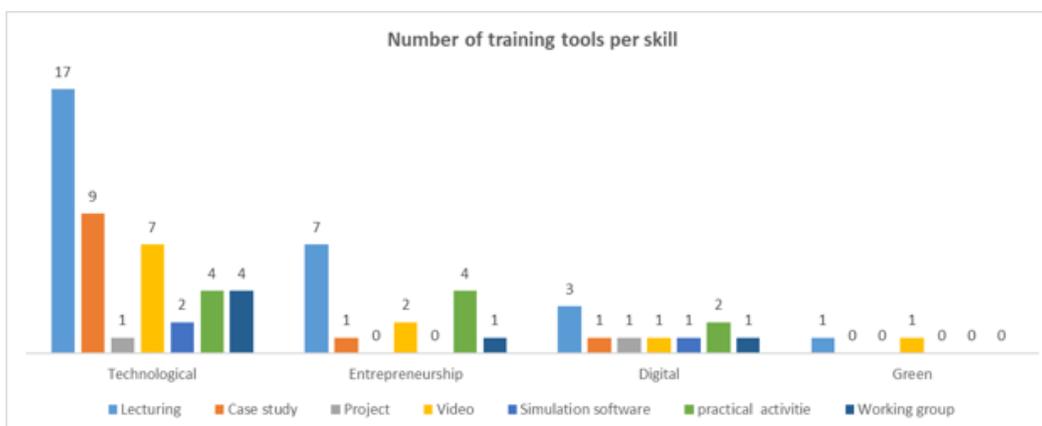


Figura 16: Panoramica dei risultati della meta-analisi: numero di strumenti di formazione utilizzati per sviluppare diversi tipi di competenze.

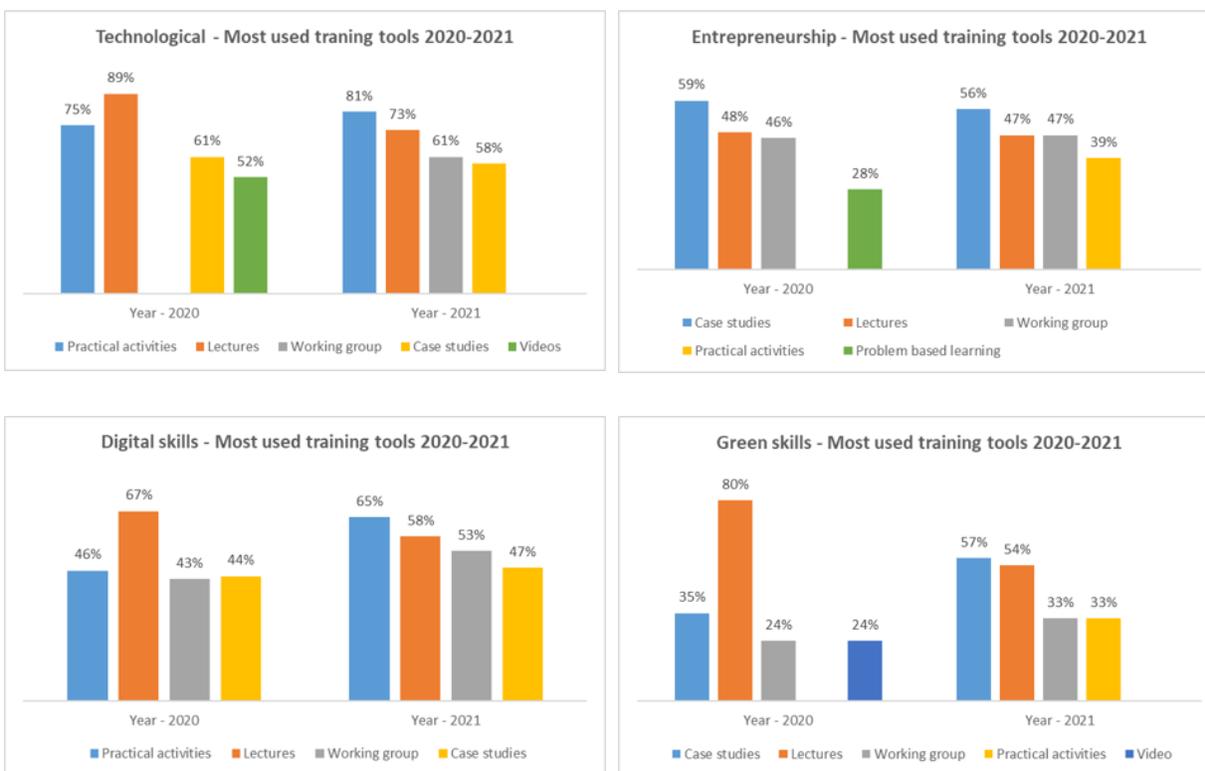


Figura 17: Strumenti di formazione più utilizzati per lo sviluppo di diverse categorie di competenze (tecnologiche, imprenditoriali, digitali, verdi) negli anni 2020 e 2021.

Una volta ultimate le attività pilota, è stata stilata una sintesi delle competenze più necessarie e degli strumenti di formazione e dei metodi di verifica delle conoscenze più utilizzati.

Competenze tecnologiche					
Competenze più necessarie 2021	Competenze più necessarie 2020	Strumenti di formazione più utilizzati 2021	Strumenti di formazione più utilizzati 2020	Metodi di verifica più utilizzati 2021	Metodi di verifica più utilizzati 2020
Processi AM (91%) Applicazioni AM (79%) Progettazione (modellazione CAD) (77%)	Processi AM (91%) Applicazioni AM (85%) Progettazione (modellazione CAD) (67%)	Attività pratiche di laboratorio (81%) Lezioni (73%) Gruppi di lavoro (61%)	Lezioni (89%) Attività pratiche di laboratorio (75%) Casi studio (61%)	Attività pratiche di laboratorio (61%) Esami scritti (55%) Gruppi di lavoro (42%)	Esami scritti (59%) Esame pratico di laboratorio (47%) Gruppo di lavoro (46%)
Competenze imprenditoriali					
Competenze più necessarie 2021	Competenze più necessarie 2020	Strumenti di formazione più utilizzati 2021	Strumenti di formazione più utilizzati 2020	Metodi di verifica più utilizzati 2021	Metodi di verifica più utilizzati 2020
Collaborazione (62%)	Creatività (46%)	Casi studio (56%)	Casi studio (59%)	Gruppi di lavoro	Gruppi di lavoro

Creatività (59%) Apprendimento attraverso l'esperienza (59%)	Collaborazione (42%) Apprendimento attraverso l'esperienza (38%)	Gruppi di lavoro (47%) Lezioni (47%)	Lezioni (48%) Gruppi di lavoro (46%)	(42%) Esami scritti (39%) Apprendimento basato sui problemi (35%)	(57%) Esami scritti (32%) Relazione (30%)
<b>Competenze digitali</b>					
Competenze più necessarie 2021	Competenze più necessarie 2020	Strumenti di formazione più utilizzati 2021	Strumenti di formazione più utilizzati 2020	Metodi di verifica più utilizzati 2021	Metodi di verifica più utilizzati 2020
Capacità di pensare in 3D (83%) Coding/programmazione (24%) Analisi dei dati digitali (23%)	Capacità di pensare in 3D (69%) Coding/programmazione (17%) Analisi dei dati digitali (16%)	Attività pratiche di laboratorio (65%) Lezioni (58%) Gruppi di lavoro (53%)	Lezioni (67%) Tutorial (50%) Attività pratiche di laboratorio (46%)	Attività pratiche di laboratorio (56%) Apprendimento basato sui problemi (42%) Esami scritti (41%)	Attività pratiche di laboratorio (40%) Gruppi di lavoro (40%) Esami scritti (38%)
<b>Competenze verdi</b>					
Competenze più necessarie 2021	Competenze più necessarie 2020	Strumenti di formazione più utilizzati 2021	Strumenti di formazione più utilizzati 2020	Metodi di verifica più utilizzati 2021	Metodi di verifica più utilizzati 2020
Eco-design (47%) Economia circolare (47%) Gestione efficiente delle risorse (38%)	Eco-design (37%) Economia circolare (35%) Analisi del ciclo di vita (LCA) (32%)	Casi studio (57%) Lezioni (54%) Gruppi di lavoro (33%)	Lezioni (80%) Casi studio (35%) Gruppi di lavoro (24%)	Gruppi di lavoro (39%) Attività pratiche di laboratorio (35%) Esami scritti (31%)	Gruppi di lavoro (38%) Esami scritti (33%) Relazione (31%)

Figura 18: Panoramica dei risultati della meta-analisi: tabella riassuntiva.

## 5 Approvazione di una serie di raccomandazioni per il contesto e gli strumenti di formazione in ambito AM

Il 21 aprile 2022 il progetto SAM ha organizzato una sessione online del gruppo di esperti. Alla sessione di lavoro hanno partecipato diverse aziende professionali e industriali che sostengono il progetto, con l'obiettivo di discutere la metodologia per la progettazione e la revisione dei profili professionali e lo sviluppo delle competenze che consentiranno di implementare i profili professionali/le qualifiche o le unità di competenza/i moduli durante la fase pilota e in fasi successive.

Durante la sessione sono stati quindi spiegati i passaggi seguiti per redigere la linea guida operativa applicabile al contesto e agli strumenti di formazione. È stata inoltre introdotta la metodologia utilizzata per registrare i dati rilevanti delle attività formative pilota e sono state condivise le conclusioni della meta-analisi condotta con le attività pilota del primo e del secondo ciclo. Al termine della sessione, i partecipanti hanno discusso le loro raccomandazioni sul contesto e sugli strumenti di formazione.

Di seguito si riporta un elenco delle raccomandazioni proposte:

- 1) Contesto formativo: l'apprendimento online e gli approcci tradizionali (in aula/lezioni) utilizzati a causa delle restrizioni dovute alla pandemia di Covid-19 hanno risentito di lacune in termini di **apprendimento pratico** che sarebbero da colmare, ivi compreso con prove in laboratorio e formazione in azienda. L'**apprendimento misto** sembra essere l'approccio migliore e andrebbe quindi promosso. L'accesso ai macchinari AM è fondamentale per una formazione completa.

- 2) Strumenti di formazione: Oltre alle lezioni, i **casi studio** sono un potente strumento di formazione per i professionisti in ambito AM e sono molto apprezzati dai dipendenti. Tale strumento è stato ampiamente utilizzato nelle attività pilota e andrebbe preso in considerazione **per l'implementazione e la definizione di nuove UC per i PP.**
- 3) Strumenti di formazione: Alcuni strumenti di formazione quali i giochi seri, la realtà aumentata, l'apprendimento basato sui progetti o i laboratori virtuali non sono stati sfruttati e andrebbero inclusi e testati nelle future attività formative, in modo da poterne valutare i benefici.
- 4) Sarebbe utile includere nei **risultati dell'apprendimento dell'UC una descrizione delle competenze** (tecnologiche, imprenditoriali, digitali, verdi), che dovrebbe essere mirata in ogni attività formativa (valutazione precedente e linea guida per i formatori). Attualmente solo le competenze tecnologiche risultano identificate in termini di risultati dell'apprendimento.
- 5) La definizione dei programmi di formazione dovrebbe essere allineata alle **preferenze dei dipendenti e dell'industria**: aggiornamento e riqualificazione professionale, corsi di breve durata incentrati su competenze specifiche e lavoro pratico (casi studio, gruppi di lavoro, PBL, formazione in azienda).

Tali raccomandazioni sono state analizzate in un secondo momento, in una sessione speciale durante l'ottavo SAM Technical Meeting tenutosi a Gijon, in Spagna, dal 23 al 25 maggio 2022. I partner hanno deciso di adottare le cinque raccomandazioni proposte dal gruppo di esperti e di formularne tre nuove.

L'elenco finale delle raccomandazioni approvate è riportato di seguito:

- 1) Contesto formativo: l'apprendimento online e gli approcci tradizionali (in aula/lezioni) utilizzati a causa delle restrizioni dovute alla pandemia di COVID-19 hanno risentito di lacune in termini di **apprendimento pratico** che sarebbero da colmare, ivi compreso con prove in laboratorio e formazione in azienda. L'**apprendimento misto** sembra essere l'approccio migliore e andrebbe quindi promosso. Le lezioni tradizionali andrebbero integrate con attività di **apprendimento attivo**. In alcune UC, l'accesso ai macchinari AM è fondamentale per una formazione completa.
- 2) Strumenti di formazione: Oltre alle lezioni, i **casi studio** sono un potente strumento di formazione per i professionisti in ambito AM e sono molto apprezzati dai dipendenti. Tale strumento è stato ampiamente utilizzato nelle attività pilota e andrebbe preso in considerazione **per l'implementazione e la definizione di nuove UC per i PP.**
- 3) Strumenti di formazione: **Alcuni strumenti di formazione** quali i giochi seri, la realtà aumentata, l'apprendimento basato sui progetti o i laboratori virtuali non sono stati sfruttati e **andrebbero inclusi e testati** nelle future attività formative, in modo da poterne valutare i benefici. Alcuni partner disponevano di propri giochi e di proprie applicazioni VR che avrebbero potuto essere utilizzati dai centri di formazione.
- 4) Nella **descrizione dell'UC** sarebbe utile includere una sezione sulle "raccomandazioni per lo sviluppo di competenze non tecnologiche" con l'obiettivo di creare consapevolezza **sulle restanti categorie di competenze oggetto del progetto SAM (vale a dire quelle digitali, imprenditoriali e verdi).**
- 5) La definizione dei programmi di formazione dovrebbe essere allineata alle **preferenze dei dipendenti e dell'industria (mantenere i corsi di formazione quanto più brevi)**: aggiornamento e riqualificazione professionale, corsi di breve durata incentrati su competenze specifiche e lavoro pratico (casi studio, gruppi di lavoro, PBL, formazione in azienda). È essenziale il feedback delle aziende operanti nell'industria (i clienti più importanti).

- 6) Nella definizione dell'UC deve essere inclusa la definizione/revisione delle ore di contatto, **ivi compreso il numero di ore per le attività pratiche.**
- 7) Per migliorare l'analisi sistematica del processo di implementazione delle UC, viene proposta [una nuova tabella per la raccolta dei dati](#). La tabella andrebbe integrata da un nuovo glossario e una migliore descrizione delle UC, includendo tutte le categorie di competenze (tecnologiche, imprenditoriali, digitali, verdi) nella descrizione dei risultati dell'apprendimento.
- 8) L'allineamento di IAMQS con DigiComp e EntreComp è piuttosto soggettivo e richiede un adattamento iniziale di questi due quadri di competenze all'AM. Nelle linee guida devono essere inclusi esempi chiari su come trasferire le competenze digitali, imprenditoriali e verdi alla formazione (p. es. apprendimento basato sui progetti regolarmente monitorato e a copertura di diverse aree di sviluppo: modello di business, LCA, ecc.)

D3.3 Operational guide line on context and training tools

Competence Unit	Subjects	Learning context						Learning tools								
		On-line learning / distance learning	Classroom / presential learning	Laboratory	Internship / In company training	Blended learning	Teaching factory	Serious games	Augmented reality	Project based learning	Case study	Lecturing	Virtual workshops	Practical activities	Group work	Educational videos and animations
CU 00 (Lortek): Additive manufacturing Process Overview	Technology overview															
	Lab visit, equipment, components and parts															
	Process standards															
CU 31 (Lortek): AM with Titanium feedstock	Metal AM overview															
	AM Design and material															
	Post processing and industrial sector requirements															

Figura 19 Nuova tabella per la raccolta dei dati da utilizzare per monitorare l'implementazione dell'UC.

## 6 Conclusioni

Il documento fornisce una panoramica e una definizione (glossario) dei vari contesti di apprendimento e degli strumenti di apprendimento disponibili per la formazione e l'istruzione in ambito AM. La gamma di contesti di apprendimento è estesa e spazia dall'insegnamento tradizionale in classe all'insegnamento in laboratorio. A seguito delle problematiche legate al Covid-19, si prevede che l'apprendimento online acquisterà un notevole slancio nei prossimi anni. Come già enunciato, gli strumenti di apprendimento hanno ampliato le capacità tecnologiche e tra gli esempi sono ora inclusi i giochi seri e i paradigmi TF.

Nel complesso, si può evidenziare che nell'ambito dell'AM l'apprendimento si limita al secondo e terzo livello EQF, ma sono già disponibili molti contesti e strumenti di formazione per l'insegnamento, l'apprendimento e la pratica di diversi argomenti di stampa 3D a livello di master/dottorato e per lo sviluppo/aggiornamento professionale.

Si ravvisa la necessità di tradurre i corsi post-laurea specifici e avanzati in corsi da tenere a livello universitario. Inoltre, l'inclusione di argomenti relativi all'AM nell'istruzione secondaria (come nei programmi di sensibilizzazione sviluppati dall'IMR - Irish Manufacturing Research) sarebbe molto utile per iniziare ad affrontare lo sviluppo delle competenze AM in una fase precoce e per aumentare l'attrattiva delle carriere ingegneristiche tra i giovani.

Essendo la stampa 3D una tecnologia tutto sommato nuova, il processo di digitalizzazione è già stato incluso in molti metodi didattici, p. es. la realtà aumentata o i giochi seri. È possibile scegliere tra un'ampia gamma di metodi didattici.

Tuttavia, come evidenziato nel presente documento, l'attuale offerta del mercato educativo europeo pone l'AM come materia opzionale o secondaria dei corsi di ingegneria piuttosto che al centro di un'offerta formativa specifica. La modalità di svolgimento dell'insegnamento dipende fortemente dai diversi focus, dalle scuole, dal pubblico previsto, dall'argomento o dall'istituzione. Attualmente le istituzioni educative non applicano un metodo omogeneo in termini di insegnamento o apprendimento. In generale, dalla mappatura dei diversi contesti e strumenti di apprendimento si evince che il massimo effetto di apprendimento per il pubblico è ottenibile attraverso un mix di due diversi metodi di formazione (teorico e pratico). Sarebbe interessante sviluppare delle linee guida sul contesto di apprendimento da adottare con un determinato strumento di formazione in relazione al pubblico target.

Per quanto concerne i contesti di apprendimento, è stato dimostrato che nell'ambito dell'AM sono diversi i metodi didattici utilizzati e gli argomenti trattati. È comunque palese la carenza di attività per lo sviluppo della sostenibilità e delle competenze verdi lungo l'intera catena del processo che va dal materiale al pezzo e ciò comprende anche gli aspetti ecologici, il consumo di materie prime, ecc.

La digitalizzazione della formazione è un aspetto che è stato trattato piuttosto bene. Ciò è probabilmente dovuto alla combinazione di stampa 3D e industria 4.0, dal momento che i due argomenti funzionano molto bene insieme e che l'industria 4.0 può essere esemplificata attraverso la stampa 3D. Di fatto, la natura digitale intrinseca della parte iniziale del processo AM si presta molto bene a questo approccio e le sfide nascono quando si ha a che fare con l'aspetto "pratico".

Per quanto riguarda gli strumenti di formazione, sono diversi quelli a disposizione (anche digitali). Naturalmente, vi è sempre un margine di miglioramento. Per quanto riguarda la raccomandazione "metodo giusto per il pubblico giusto", molto dipende dal pubblico cui verrà insegnato il processo o reso noto il contesto. In generale, l'AM offre un grande potenziale per combinare risorse didattiche teoriche e pratiche, dato che sul mercato sono già disponibili piccoli macchinari didattici. L'apprendimento online per esempio, che sta già acquisendo molta rilevanza in seguito alla pandemia di Covid-19, è un modo efficace per raggiungere un vasto pubblico e trattare

molti argomenti diversi. Si tratta tuttavia di uno strumento di apprendimento basato sulla teoria e, per sfruttare appieno il potenziale dell'apprendimento in ambito AM, l'apprendimento online dovrebbe essere integrato da una parte pratica fondata su progetti da realizzare nell'arco di una o due settimane all'interno di una fabbrica didattica o di un laboratorio. Utilizzare la realtà aumentata per analizzare un processo di produzione consente agli studenti di accedere a tutto ciò in modo meno teorico, ma l'esperienza pratica continua a mancare; sarebbe consigliabile far sperimentare agli studenti la stampa 3D mettendo realmente mano su un macchinario.

Le sfide formative affrontate durante il Covid-19 e la necessità di una formazione pratica hanno costretto le organizzazioni ad adattare, ripensare e superare i metodi e le pratiche di formazione. Per risolvere questo problema, i formatori hanno iniziato a sperimentare l'apprendimento virtuale e a integrare nuove tecnologie come la realtà aumentata e la realtà virtuale quali strumenti di formazione.

I sistemi di gestione dell'apprendimento (LMS), il microapprendimento e le credenziali, le attività interattive online come i sondaggi dal vivo e l'IoT, insieme al potenziamento della realtà virtuale, sono alcuni dei metodi e degli strumenti di formazione di recente introduzione utilizzati durante il periodo della pandemia che fungono da esempi rappresentativi dei nuovi metodi e strumenti. Ciò è visibile anche nell'erogazione dei corsi di formazione pilota nell'ambito del progetto SAM. Le conclusioni, le raccomandazioni e le aree di miglioramento per favorire lo sviluppo delle competenze tecnologiche, imprenditoriali, digitali e verdi necessarie per i futuri professionisti dell'AM sono incluse dopo l'analisi iniziale delle attività di implementazione pilota svolte dai partner SAM e basate sul dialogo con l'industria e il gruppo di esperti.

## 7 Riferimenti

1. **Smarteanalysis.** *Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities.* s.l. : <https://www.smartechanalysis.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>, 2019.
2. **Deloitte.** *3D opportunity for the talent gap additive manufacturing and the workforce of the future.* s.l. : <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/3d-opportunity/3d-printing-talent-gap-workforce-development.html>, 2016.
3. **SME.** *Experts in Demand: Growth in Metal AM Creates Need for Professionals.* s.l. : <https://www.smeef.org/globalassets/sme.org/media/white-papers-and-reports/2018-metal-am-report.pdf>, 2018.
4. **Politecnico di Milano.** [https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda\\_pubblica/SchedaPublic.do?&evn\\_default=evento&c\\_classe=712407&polij\\_device\\_category=DESKTOP&\\_\\_pj0=0&\\_\\_pj1=970af81f61136d26e36e7b9cab36ec13](https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda_pubblica/SchedaPublic.do?&evn_default=evento&c_classe=712407&polij_device_category=DESKTOP&__pj0=0&__pj1=970af81f61136d26e36e7b9cab36ec13). Milan : s.n.
5. **Politecnico di Milano.** [https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda\\_pubblica/SchedaPublic.do?&evn\\_default=evento&c\\_classe=712938&polij\\_device\\_category=DESKTOP&\\_\\_pj0=0&\\_\\_pj1=c3669a9cf7c244db392372c11e3c7b06](https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda_pubblica/SchedaPublic.do?&evn_default=evento&c_classe=712938&polij_device_category=DESKTOP&__pj0=0&__pj1=c3669a9cf7c244db392372c11e3c7b06). Milan : s.n.
6. *A view on Future Challenges & Goals.* **Chryssolouris, George & Mavrikios, Dimitris & Papakostas, Nikolaos & Mourtzis, Dimitris.** 2006, Education in Manufacturing Technology & Science.
7. *The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm.* **Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Rentzos, L.** doi:10.1016/j.procir.2016.11.009, 2016, Procedia CIRP, Vol. 57, p. 44-48.
8. *Serious Games – An Overview.* **T. Susi, M. Johannesson and P. Backlund.** 2005, Tech. Rep.
9. *Serious games...and less!* **Blackman, Sue.** DOI:<https://doi.org/10.1145/1057792.1057802>, 2005, SIGGRAPH Comput. Graph., Vol. 39, p. 12-16.
10. *A Virtual Reality Application for Additive Manufacturing Process Training.* **Renner, Alex, Holub, Joseph, Sridhar, Shubang, Evans, Gabe, and Winer, Eliot.** 2017, Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers.
11. **Projects, diva - Good Practice for Dissemination and Valorization of Educational.** *Handbook for Dissemination, Exploitation and Sustainability of Educational Projects.* 2009.
12. <https://www.smartechanalysis.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>. *Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities.* 2019.
13. *A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation.* **Go, Jamison, Hart A. John.** 2016, Additive Manufacturing, Vol. 10, p. 76-87.
14. *Preparing industry for additive manufacturing and its applications: Summary & recommendations from a National Science Foundation workshop.* **Simpson, Timothy; Williams, Christopher and Hripko, Michael.** 2017, Additive Manufacturing, Vol. 13, p. 166-178.

## 8 Glossario

### APPENDICE 1: GLOSSARIO DEI TERMINI RELATIVI AL CONTESTO DI APPRENDIMENTO E AGLI STRUMENTI DI APPRENDIMENTO

**Contesto di apprendimento:** luogo in cui avviene l'apprendimento<sup>1</sup>.

Il **contesto** è l'insieme delle circostanze che sono rilevanti per il discente al fine di accumulare conoscenze in termini di contenuto<sup>2</sup>.

**Contenuto dell'apprendimento:** risorse utilizzate nell'insegnamento e nell'apprendimento per raggiungere gli obiettivi di apprendimento desiderati<sup>3</sup>.

**Apprendimento a distanza:** gli studenti utilizzano materiale didattico (sia cartaceo sia elettronico) e ricevono istruzioni dal docente in tempi diversi. Potrebbe svolgersi in tempo reale, utilizzando Microsoft Teams, Blackboard Collaborate, Zoom o alternative simili, oppure secondo tempistiche flessibili. Ci si aspetta quindi che gli studenti siano talvolta disponibili per l'istruzione in modalità sincrona. I lavori realizzati dagli studenti sono verificati dall'insegnante in modo digitale<sup>4, 5, 6</sup>. Spesso includono anche workshop in presenza, summer school o "corsi residenziali" come parte del programma di laurea<sup>7</sup>.

**Apprendimento online:** insegnamento non dal vivo. Non ci si aspetta che gli studenti siano disponibili in una data ora o in un dato giorno per l'insegnamento in classe ad opera del docente<sup>8</sup>. Gli studenti hanno accesso a un ambiente di apprendimento virtuale (VLE) come Moodle o Dokeos. Il VLE funge da mezzo di comunicazione e da strumento di apprendimento interattivo. Alcuni enti forniscono un supporto di tutoraggio agli studenti che intraprendono il programma; tali tutor sono raggiungibili via e-mail o Skype quando necessario<sup>3,4,5</sup>.

**Apprendimento in classe:** apprendimento in presenza. L'ambiente di apprendimento si crea all'interno delle mura fisiche di un'aula dove si trovano fisicamente sia gli studenti sia il docente.

- Lezioni tipo di lezione in presenza in cui il docente parla di un dato argomento per un periodo di tempo prolungato. Scarsa interazione tra insegnante e studenti. Metodo unidirezionale<sup>8</sup>.
- **Seminario:** tipo di lezione in presenza in cui gli studenti si alternano per fornire alla classe il proprio contributo su un argomento. Gli studenti discutono di ciò che hanno appreso dalla lezione<sup>9</sup>.
- **Workshop:** tipo di lezione in presenza simile al seminario in cui gli studenti intervengono su un argomento specifico e l'insegnante modera la discussione. I workshop prevedono esercizi più interattivi per incoraggiare la comunicazione tra i partecipanti e possono durare un'intera giornata o anche più giorni<sup>8</sup>.

**Laboratorio:** attività pratiche su un argomento studiato in classe. Gli studenti imparano attraverso l'esperienza diretta e la pratica di quanto hanno appreso in classe sul piano teorico lavorando in modo collaborativo o individuale.

**Stage in azienda:** esperienza di lavoro a breve termine offerta dalle aziende agli studenti per ottenere un'esposizione entry-level a un particolare settore o campo. Gli studenti sviluppano hard e soft skill<sup>10</sup>.

**Formazione in azienda/formazione sul lavoro:** approccio pratico o un corso di formazione volto ad acquisire nuove competenze e abilità necessarie per un lavoro ed erogato dall'azienda a uno specifico lavoratore<sup>11</sup>.

**Apprendimento misto:** apprendimento che combina apprendimento in presenza e online. Il contenuto online varia dal 30% all'80%.

**Strumento di apprendimento:** strumento pensato per essere utilizzato dai discenti e per fornire una struttura per acquisire competenze e comportamenti di apprendimento e/o per raccogliere e riflettere sistematicamente sulle informazioni chiave<sup>12</sup>.

**Fabbrica didattica:** concetto che unisce ambiente di apprendimento e ambiente di lavoro, da cui scaturiscono esperienze di apprendimento realistiche e rilevanti. Segue un canale di trasferimento delle conoscenze bidirezionale in cui i temi della produzione costituiscono la base per nuovi modelli di sinergia tra università e industria. Tra il mondo accademico e l'industria vengono scambiare idee e soluzioni innovative per bilanciare i tempi e i costi richiesti per l'apprendimento e la sperimentazione di soluzioni ai problemi di produzione, nonché per approfondire le conoscenze di entrambe le realtà attraverso l'innovazione della produzione o i problemi della vita reale. Esistono due schemi operativi: "dalla fabbrica all'aula" e "dall'università all'industria". Il concetto "dalla fabbrica all'aula" mira a trasferire l'ambiente di produzione reale all'aula, mentre il concetto "dall'università all'industria" mira a trasferire le conoscenze dall'università all'industria<sup>13</sup>.

**Giochi seri:** unione di strategie di apprendimento, conoscenze e strutture ed elementi di gioco per trasmettere competenze, conoscenze e atteggiamenti specifici. Sono progettati per risolvere problemi in diverse aree e comportano sfide e ricompense, utilizzando le componenti di intrattenimento e coinvolgimento fornite quando l'utente gioca<sup>14</sup>. Nel campo dell'istruzione i giochi vengono utilizzati per insegnare materie specifiche attraverso esercizi e simulazioni ludicizzate. In questo caso sono noti anche come "giochi didattici".

**Realtà aumentata:** La realtà aumentata (AR) è una tecnologia che permette di sovrapporre elementi virtuali alla nostra visione della realtà. Ciò avviene attraverso l'uso di elementi visivi digitali, suoni o altri stimoli sensoriali forniti tramite la tecnologia<sup>15</sup>. Tale tecnologia consente ai docenti di mostrare esempi virtuali di concetti e di aggiungere elementi di gioco in modo da fornire supporti ulteriori al libro di testo. In questo modo gli studenti possono apprendere più velocemente e memorizzare le informazioni<sup>16</sup>.

**Apprendimento basato sui progetti:** metodo di insegnamento in cui gli studenti acquisiscono conoscenze e competenze lavorando, per un periodo di tempo prolungato, per analizzare e rispondere a un quesito, un problema o una sfida che per loro natura sono autentici, coinvolgenti e complessi<sup>17</sup>.

**Caso studio:** resoconto di un'attività, di un evento o di un problema che contiene una situazione reale o ipotetica e include le complessità che si incontrano sul posto di lavoro. I casi studio vengono utilizzati per aiutare gli studenti a capire come le complessità della vita reale influenzino le decisioni. L'analisi di un caso studio richiede che gli studenti si esercitino ad applicare le proprie conoscenze e le proprie capacità di ragionamento a una situazione reale<sup>18</sup>. Per imparare dall'analisi di un caso studio gli studenti "analizzano, applicano le conoscenze, ragionano e traggono conclusioni" (Kardos & Smith 1979).

**Lezione:** tipo di lezione in presenza in cui il docente parla di un dato argomento per un periodo di tempo prolungato. Scarsa interazione tra insegnante e studenti. Metodo unidirezionale<sup>8</sup>.

**Software di simulazione:** software basato sul processo di modellazione di un fenomeno reale con un insieme di formule matematiche. Si tratta, in sostanza, di un programma che consente all'utente di osservare un'operazione attraverso la simulazione senza eseguirla. I software di simulazione sono ampiamente utilizzati per progettare le apparecchiature in modo che il prodotto finale sia il più vicino possibile alle specifiche di progetto senza costose modifiche di processo<sup>19</sup>. Tali software generano modelli a supporto delle decisioni di manager e ingegneri e per scopi formativi. Le tecniche di simulazione aiutano la comprensione e la sperimentazione, poiché i modelli sono tanto visivi quanto interattivi<sup>20</sup>.

**Attività pratiche:** qualsiasi attività che permetta agli studenti di avere un collegamento diretto, spesso pratico, con i fenomeni che stanno studiando<sup>21</sup>.

**Lavoro di gruppo:** metodo di insegnamento che porta gli studenti a lavorare in gruppo. Richiede agli studenti di impegnarsi in attività di apprendimento all'interno dello stesso gruppo per un certo periodo di tempo, mentre lavorano su un compito sostanziale con un risultato condiviso (p. es. una relazione o un progetto)<sup>22</sup>.

**Video didattici e animazioni:** video e animazioni utilizzati come ausilio visivo per facilitare l'apprendimento. Vengono utilizzati dagli educatori per rendere i contenuti coinvolgenti, facili da capire ed emotivamente accessibili a tutti i tipi di studenti. Sono risorse che permettono di spiegare idee complesse in modo semplice, che mantengono alta l'attenzione dei discenti sul contenuto e creano un'esperienza distinta che i discenti hanno maggiori probabilità di ricordare<sup>23, 24</sup>.

1 <https://www.igi-global.com/dictionary/ubiquitous-learning-supporting-systems/16847>

2 Figueiredo, Antonio Dias de. (2005). Learning Contexts: A Blueprint For Research. Interactive Educational Multimedia, ISSN 1576-4990, N°. 11, 2005, pagg. 127- 139.

3 <https://www.igi-global.com/dictionary/enhancing-student-agency-as-a-driver-of-inclusion-in-online-curriculum-pedagogy-and-learning-content/67168>

4 <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

5 Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, Internet and Higher Education (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

6 <https://www.aeseducation.com/blog/online-learning-vs-distance-learning>

7 <https://www.staffordglobal.org/articles-and-blogs/whats-the-difference-between-online-and-distance-learning/>

8 <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

9 <https://www.studentassembly.org/seminar-vs-lecture-course-vs-class-terms-youll-need-to-survive-college/>

10 <https://www.themuse.com/advice/what-is-an-internship-definition-advice>

11 <https://www.valamis.com/hub/on-the-job-training>

12 "Faculty Guidebook- A comprehensive tool for improving faculty performance". Capitolo: 3.4.1 Overview of Effective Learning Tools di Carol Nancarrow (Dipartimento di Inglese, Sinclair Community College). 4<sup>th</sup> Edition Project Directors. Steven W. Beyerlein, Carol Holmes, Daniel K. Apple.

13 G. Chryssolouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Volume 57, 2016, Pagg. 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>.

14 <https://grendelgames.com/what-are-serious-games/>

15 <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>

16 <https://elearningindustry.com/augmented-reality-in-education-staggering-insight-into-future>

17 <https://www.pblworks.org/what-is-pbl>

18 <https://www.student.unsw.edu.au/writing-case-study-report-engineering>

19 <https://www.youtube.com/watch?v=EF9v-P0dDg4>

20 <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-simulation#WhatDoesitMean>

21 The National Strategies, 2008.

22 <https://www.teaching.unsw.edu.au/group-work>

23 <https://elearningindustry.com/video-learning-animation-styles-and-best-practices-to-follow>

24 <https://elearningindustry.com/how-animation-based-learning-can-benefit-online-courses>