

DESCRIZIONE PROPOSTA PROGETTUALE

TITOLO DEL PROGETTO:

ANALISI DELL'IMPATTO ECONOMICO-FINANZIARIO E DI VALORE NELL'IMPLEMENTAZIONE DI TECNOLOGIE DI PRODUZIONE INNOVATIVE DI INDUSTRIA 4.0: IL CASO DI COMPONENTI REALIZZATI CON ADDITIVE MANUFACTURING

Nota: il presente documento contiene la descrizione della proposta progettuale. Nello specifico, esso consiste di due parti. La prima include la sola descrizione delle attività di competenza del DISA, oggetto della presente proposta di progetto sulla quale viene richiesto il co-finanziamento dell'assegno di ricerca.

La seconda include l'intera descrizione del progetto di ricerca sviluppato dal partenariato afferente al consorzio Bi-Rex, inclusiva degli aspetti tecnici e tecnologici inerenti lo sviluppo della soluzione di additive manufacturing (cui fa riferimento la relativa analisi economico-finanziaria in capo al DISA quale partner del progetto), che è di pertinenza dei partner tecnici di progetto.

A seguito dello sviluppo delle tecniche di additive manufacturing la letteratura, tanto accademica che di practitioner si è interessata alla messa a punto di modelli finalizzati alla determinazione del valore economico differenziale rispetto a modalità tradizionali di processo produttivo. Come da prassi diffusa nei processi di introduzione dell'innovazione, una volta determinata la possibilità tecnica rimane da valutarne la convenienza economica e finanziaria.

Esiste dunque già una serie di modelli economici connessi alle differenti tecnologie che rientrano nel novero dell'Additive Manufacturing (Stereolithography, Selective Laser Melting, Fused Deposition Modeling, Electron Beam Melting e Laser Cladding), che possono costituire una solida base di partenza per lo studio dei vantaggi economici generati nell'ambito del progetto.

Essi si fondano sostanzialmente sull'individuazione di una serie di categorie di costo influenzate dall'innovazione, che vanno quindi poste sotto osservazione per valutarne il mutamento in ottica statica o differenziale. A seconda dei modelli tali categorie variano, ma la maggioranza dei modelli si focalizza sul costo della tecnologia, del materiale, del personale ed eventuali e limitati "post process cost" che vengono sostenuti successivamente rispetto alla produzione del componente. Tali categorie di costi vengono spesso organizzate in una serie di attività e processi, in ottica di activity-based costing e le attività vengono costificate per poi valutarne la variazione. Oltre a quelle propriamente produttive, alcune attività frequentemente considerate sono ad esempio quelle di preparazione della macchina, di manutenzione, di gestione della qualità, ecc.

Tali modelli di determinazione del valore economico della nuova tecnologia possono fornire informazioni di interesse, ma si prestano a significative opportunità di perfezionamento in grado di accrescerne l'efficacia e l'utilità.

Il presente progetto persegue questo obiettivo, particolarmente nell'ottica di (a) estensione del modello di costificazione, (b) inclusione degli aspetti di analisi del valore in aggiunta alle sole valutazioni di costo. Gli strumenti analitici sviluppati verranno applicati anche per valutazioni comparative fra la tecnologia AM e le tecnologie di produzione tradizionali. Inoltre, il progetto include una specifica attività di approfondimento su aspetti economici dell'innovativa tecnologia AM-DED, inerenti la costruzione dello stato dell'arte sui temi di costificazione per tale tecnologia e un'analisi differenziale di costo fra le soluzioni tecnologiche alternative previste nel progetto per la realizzazione dell'utensile.

Nello specifico, il progetto si propone di ampliare lo spettro delle attività oggetto d'indagine nella costituzione del modello di costificazione, uscendo dal confine dei soli processi produttivi, e intercettando l'impatto che la nuova tecnologia determina a livello di catena logistica e processi amministrativi, intesi in senso lato, per arrivare ad una vera configurazione di "Total Cost of Ownership". Tale determinazione terrà conto anche delle conseguenze finanziarie del passaggio all'AM, considerando sia gli impatti sul capitale fisso aziendale (investimenti in macchinari), sia quelli sul capitale circolante netto (magazzini e debiti di fornitura in particolare), in modo da assicurare una valutazione complessiva dell'impatto economico-finanziario.

Altresì, il progetto si propone anche un'estensione temporale in ottica di Lyfe Cycle Costing, per verificare come la nuova modalità produttiva influenzi i costi non solo di produzione, ma anche quelli a monte (prototipazione, ingegnerizzazione, allestimento delle linee produttive) e a valle (logistica, utilizzo ed eventuale riciclo). In questa fase progettuale verrà valutata l'applicazione di tecniche di attualizzazione dei flussi finanziari per la determinazione del Valore Attuale Netto, Tasso Interno di Rendimento e Payback Period degli investimenti in ottica di lungo periodo..

In secondo luogo, il progetto risponde a una chiara criticità riscontrabile nella letteratura economica prevalente: essa, nella determinazione del valore economico dell'AM presenta esempi relativi alla realizzazione di singoli componenti isolati, senza considerare la possibilità e i vantaggi di produrre direttamente con AM un oggetto composto da vari componenti. Appare tuttavia evidente come ciò determinerebbe una misurazione del valore economico sensibilmente differente, in quanto sarebbe necessario valutare l'impatto in termini di costi differenziali connessi al contatto del fornitore, alla negoziazione, all'interazione logistica e amministrativa, all'assemblaggio che si moltiplicherebbero rispetto al caso in cui oggetto della produzione fosse un componente singolo.

Inoltre, i modelli fino ad ora sviluppati si focalizzano esclusivamente su una misura di costo differenziale rispetto alle tecnologie tradizionali, senza valutare il differenziale di valore per l'utente (laddove il prodotto sia realizzato

internamente) o per il cliente (se realizzato per la commercializzazione). In numerosi casi, il ricorso alla tecnologia di AM può garantire risultati di evidente impatto sulla percezione di valore da parte del cliente, legati ad esempio all'ottenimento di forme e geometrie uniche, al miglioramento di aspetti prestazionali del prodotto (es. alleggerimento), oppure semplicemente indotti dalla maggiore flessibilità e tempestività con le quali il prodotto viene reso disponibile. Una corretta valorizzazione economica della differenza di valore determinata dall'AM è necessaria per la comprensione del suo potenziale di utilizzo e più in generale del "business case" della nuova tecnologia. Il progetto approfondirà questi aspetti sia in termini generali nella formulazione di un modello di analisi del valore, sia nelle applicazioni relative ai casi di studio oggetto della proposta progettuale. Ulteriore obiettivo della ricerca è l'analisi (in ottica contingente) di quali fattori determinano il differenziale di valore. La letteratura ad oggi ha evidenziato principalmente la dimensione dei lotti, la specifica tecnologia utilizzata e la complessità tecnica di realizzazione del prodotto. Il progetto si propone di approfondire ulteriormente l'impatto di tali fattori e di individuarne eventualmente altri, tramite un approccio deduttivo-induttivo.

Infine, come in precedenza indicato, la ricerca prevede una specifica attività volta all'approfondimento di aspetti economici della tecnologia AM-DED. In aggiunta alla revisione della letteratura disponibile, finalizzata alla comprensione dell'attuale livello di evoluzione dei modelli di costificazione per questa innovativa applicazione di AM, il progetto include l'analisi differenziale di costo fra le due soluzioni alternative identificate per la realizzazione dell'utensile del (i.e., realizzazione tramite tecnologia AM-SLM vs. realizzazione tramite combinazione di tecnologia produttiva tradizionale e rivestimento superficiale con tecnologia AM-DED).

In sintesi, relativamente agli aspetto economico-manageriali, l'obiettivo è quello di estendere l'analisi e mettere a punto modelli pratici di supporto alle decisioni rispetto alle seguenti dimensioni: processi analizzati (dai soli costi di produzione al Total Cost of Ownership), estensione temporale (dal solo momento produttivo all'intero Lyfe Cycle), tipologie di produzioni oggetto di AM (da singoli componenti ad elementi assemblati), oggetto dell'analisi economica (dal solo costo alla relazione costo-valore).

2. Piano delle attività

1 Identificazione principali categorie di costo influenzate dalle tecnologie di AM

In tale fase, i principali costi dell'azienda verranno mappati e analizzati per comprendere le fondamentali categorie di costo influenzate dal passaggio alle differenti tecniche di AM, anche alla luce della letteratura. Si procederà anche alla definizione delle principali categorie di asset fissi e di capitale circolante che subiranno modificazioni.

Deliverable 1: a) lista delle categorie di costo su cui l'AM ha/può avere un impatto significativo; b) lista delle categorie di asset su cui l'AM ha/può avere un impatto significativo

2 Stima degli effetti in termini di Total Cost of Ownership di breve periodo

Per ciascuna delle categorie di costi e asset identificati nel task precedente, si procederà a valutare le modifiche determinate dall'introduzione di tecniche di AM. Si prevede l'utilizzo di tecniche differenziate in funzione delle specifiche categorie di costo (Activity-based costing, analisi dei centri di costo, process cost mapping).

Specifica attenzione verrà dedicata agli impatti dell'utilizzo della tecnica di Direct Energy Deposition (DED).

Deliverable 2: modello di determinazione dell'impatto dell'AM in termini di Total Cost of Ownership della produzione

3. Stima degli effetti in termini di Lyfe Cycle Costing di lungo periodo

In tale task verranno valutati tutti gli effetti economici di lungo periodo, connessi all'utilizzo, dismissione ed eventuale riciclo dei manufatti, se esistenti.

Deliverable: 3: Lista degli effetti economici dell'AM in termini di Lyfe Cycle Costing

4. Analisi di tipo make or buy rispetto alle tecnologie di additive manufacturing.

Deliverable 4: Analisi delle condizioni che determinano la convenienza di produzione interna o di ricorso a fornitori interni di tecnologie equivalenti.

Descrizione Tecnica della Proposta Progettuale

Bando BI-REX – Allegato 2

Nota: utilizzare un font non inferiore a 11pt e spaziatura non inferiore a quella standard (interlinea singola)

Cover page

Area tematica¹	Additive & Advanced Manufacturing
Titolo	L'Additive Manufacturing nella filiera produttiva dell'industria meccanica: dallo sviluppo del processo alla definizione del business model per la produzione di nuovi componenti
Acronimo	AM-MEC
Azienda capofila (coordinatore)	IMA s.p.a. (IMA)
Lista aziende partecipanti	1. SACMI COOPERATIVA MECCANICI IMOLA SOCIETÀ COOPERATIVA (SAC) 2. PHILIP MORRIS MANUFACTURING & TECHNOLOGY BOLOGNA s.p.a. (PMI) 3. IL SENTIERO INTERNATIONAL CAMPUS s.r.l. (SIC) 4. SAMP S.p.a. (SAMP) 5. SOCIETÀ ITALIANA ACETILENE E DERIVATI S.I.A.D. s.p.a. (SIAD) 6. ALTAIR ENGINEERING s.r.l. (ALT) 7. NEXTEMA s.r.l. (NEX)
Durata (max 18+6mesi)	18 mesi

Abstract (max 1500 caratteri spazi inclusi)

Il presente progetto si pone come obiettivo quello di integrare i processi di Additive Manufacturing (AM), in particolare a letto di polvere e per deposizione diretta, tra le tecnologie già utilizzate nell'industria meccanica, per aumentare la competitività delle aziende. Questa implementazione è possibile solo con la conoscenza della tecnologia e degli strumenti necessari per farne un utilizzo corretto. A questo scopo il progetto verrà sviluppato seguendo 3 obiettivi principali: 1) acquisizione della capacità di realizzare componenti con le caratteristiche desiderate, che possono essere definite sia in termini di proprietà meccaniche che in base ad altre funzioni, come ad esempio la velocità di stampa o la qualità del prodotto; 2) conoscenza approfondita delle potenzialità e dei limiti di entrambe le tecnologie e capacità di integrazione delle stesse; 3) introduzione del concetto di design/re-design di componenti AM tramite la messa a punto di un componente scelto come case-study. Questa fase verrà svolta sfruttando le competenze precedentemente acquisite ed introducendo l'utilizzo di software per la previsione delle deformazioni in stampa. Infine verrà valutato l'impatto economico e finanziario di queste nuove tecnologie, sia a livello di catena logistica e di processi amministrativi, sia in un'ottica di estensione temporale, per verificare come la tecnologia influenzi i costi, non solo di produzione, ma anche quelli a monte (es. prototipazione) e a valle (es. logistica).

¹ Tra quelle descritte nell'Appendice 1 del bando

Descrizione della Proposta Progettuale

Sezione 1 - Obiettivi e innovatività (max 5 pagine)

Ambito di azione

La proposta si propone di aumentare la competitività delle aziende grazie all'implementazione, al loro interno, della tecnologia dell'additive manufacturing, che si prefigura come una tecnologia potenzialmente in grado di rispondere alle sempre nuove esigenze di mercato, che vanno verso prodotti estremamente diversificati e con time-to-market ridotti.

Gli obiettivi della presente proposta progettuale sono lo sviluppo delle competenze e delle successive metodologie necessarie per il corretto e pieno utilizzo delle tecnologie di fabbricazione additiva di componenti metallici. Le esigenze evidenziate da tali obiettivi derivano dal riscontro oggettivo di una notevole maturità tecnologica in termini di macchine e software attualmente disponibili (TRL 9) e della difficoltà che le Aziende hanno ad internalizzare tali tecnologie per sfruttarle appieno. Al giorno d'oggi, infatti, i notevoli vantaggi che una progettazione e fabbricazione realmente "additive" portano con sé sono spesso confinati in aziende di grandi dimensioni (principalmente nel settore aeronautico ed aerospaziale o racing) o in centri di ricerca, in ragione proprio delle difficoltà a sviluppare un nuovo approccio di progettazione, nuove conoscenze di fabbricazione ed un solido modello di costificazione in grado di guidare i tecnici durante la fase di stesura dei nuovi cicli di fabbricazione e di approvvigionamento materiale.

Dal un punto di vista dell'innovazione, la presente proposta progettuale mira ad aumentare la competitività delle aziende attraverso il miglioramento dei processi produttivi e dei prodotti, mediante l'introduzione ed il pieno sfruttamento delle capacità uniche del processo di stampa 3D, basate sia sulla tecnologia a letto di polvere (SLM) che a deposizione diretta (DED):

- Capacità di realizzare componenti di adeguata resistenza meccanica e ridotto peso (riduzione del consumo di materiale ed aumento della resistenza specifica).
- Capacità di realizzare componenti multi-materiale, ovvero di componenti con proprietà fisico-chimiche differenti (conducibilità elettrica o termica, etc..) e differenti proprietà meccaniche (durezza, resistenza a trazione, etc...) in zone diverse del prodotto.
- Capacità di realizzare prodotti singoli ottenuti con la combinazione di processi di fabbricazione differenti.

Strumenti

Come per ogni processo tecnologico, il primo passo è la definizione di una procedura che porti ad indentificare i parametri di lavoro corretti. In particolare per l'AM questo consiste nell'individuazione dei parametri di processo legati all'utilizzo di una sorgente laser e la sua movimentazione, che devono essere selezionati per avere le caratteristiche specifiche richieste. In particolare, sono state individuate tre categorie di parametri ritenute di interesse per la produzione:

- Parametri di processo che consentono di ottenere la massima densità dei componenti finali con specifiche proprietà meccaniche: questi parametri sono fondamentali ogni qualvolta il componente è di tipo funzionale e soggetto a carico statico o dinamico.
- Parametri di processo che massimizzano la produttività diminuendo i tempi di stampa: questi parametri sono fortemente legati alla velocità di movimentazione del laser, ma dovranno essere valutati in un contesto dove l'obiettivo può essere anche quello di ottimizzare il volume di stampa esasperando il concetto di nesting.
- Parametri di processo che favoriscono la stampa di geometrie complesse, come ad esempio la presenza di sottosquadri, pareti sottili, canalizzazioni interne ad asse non verticale, ecc. In tutte queste situazioni è necessario conoscere parametri di processo specifici che vanno ad agire nelle zone di down skin ed up skin.

La corretta scelta dei parametri di processo è un aspetto molto critico poiché attualmente non esistono database da cui attingere i parametri di lavoro. Le aziende si rivolgono ai fornitori della macchina i quali, per ogni nuova polvere, forniscono, ad un costo relativamente alto, un set di parametri che spesso non è ottimizzato sulle specifiche necessità del cliente; eventuali nuove richieste ad hoc, invece, trovano spesso molta difficoltà ad essere soddisfatte. Questo aspetto dell'individuazione dei parametri ottimali, in funzione sia delle polveri

disponibili sia dell'applicazione prevista per il componente, è uno degli aspetti maggiormente critici per la diffusione dell'additive manufacturing, da cui la necessità di definire una procedura standard che possa essere recepita in ambiente industriale. Questa permetterà di identificare anche le caratteristiche fondamentali delle polveri da richiedere al fornitore, in funzione della tecnologia e delle macchine additive, anche differenti, a disposizione dell'azienda. In accordo con le Aziende del partenariato sarà oggetto di studio il seguente materiale per la produzione AM/SLM: Acciaio Maraging AMPO M789

La metodologia proposta in questo progetto si basa su 3 step tecnologici di sviluppo processo, la successiva applicazione di tali risultati a casi di studio reali ed infine la definizione di un modello di costo delle diverse soluzioni tecnologiche.

Sviluppo di processo

1. Mappe di densità e resistenza meccaniche ottimali su componenti di geometria semplice

- A. Densità. Identificazione delle metodologie in grado di definire il legame tra i parametri laser di input e le densità ottenibili nei campioni. L'obiettivo è quello di definire le geometrie semplificate su cui ottenere densità fino al 99.9%, utilizzando parametri di lavoro che possano essere, in un secondo momento, scelti per la stampa di componenti di forma complessa. Per tale ragione saranno eseguite inizialmente le analisi di densità su tutte le combinazioni di parametri di processo.
- B. Caratteristiche meccaniche. Una volta individuati i parametri produttivi in grado di garantire la massima densità dei materiali, verranno fabbricati provini per prove statiche (durezza, prove di trazione e resilienza) e prove dinamiche di fatica a flessione rotante.
- C. Studio e definizione dei trattamenti termici finalizzati alla riduzione delle tensioni residue e all'ottimizzazione delle caratteristiche meccaniche. Nel caso di componenti multimateriale l'ottimizzazione del trattamento termico dovrà tenere conto dell'effetto che questo avrà sulle proprietà dei vari metalli con cui il pezzo è prodotto, al fine di garantire il soddisfacimento complessivo delle specifiche di progetto.

2. Analisi dimensionale e definizione del ciclo di fabbricazione dei componenti semplificati

I parametri di processo ottimizzati, in particolare quelli che garantiscono la massima densità e quelli che favoriscono la stampabilità dei componenti, verranno utilizzati per definire la migliore qualità del componente in termini di rugosità e tolleranze dimensionali. L'ottimizzazione del processo verrà effettuata su particolari di geometria non complessa, in funzione di spessori e direzioni di accrescimento. Questa fase è molto importante per avere delle indicazioni di massima sull'utilizzo di diverse strategie di scansione per migliorare la qualità del manufatto, in funzione sia della direzione di accrescimento sia della messa in macchina. In questa fase si definiranno anche le tipologie di lavorazioni per asportazione di truciolo e non, che permettano di ottenere le qualità finali volute, partendo dalle massime ottenibili dal processo. Si cercheranno infine di sviluppare "best-practices" che massimizzino l'integrazione tra semi-lavorato AM e centro di lavoro CNC.

3. Re-ingegnerizzazione e fabbricazione di 2 case-studies industriali

Poiché uno degli aspetti fondamentali di questo Progetto è favorire l'introduzione in ambiente industriale della tecnologia della stampa 3D, il passo successivo alla messa a punto dei parametri ottimizzati su oggetti di geometria semplificata, è l'utilizzo delle conoscenze acquisite per la completa riprogettazione e fabbricazione di componenti oggi ottenuti mediante tecnologie tradizionali. La fabbricazione del componente reale avverrà partendo dai parametri di processo ottenuti, per la polvere specifica, su campioni di forma semplice, aggiungendo le problematiche delle distorsioni dovute alle geometrie reali del componente. Le distorsioni e variazioni dimensionali dipendono in primo luogo dai cicli termici che il pezzo subisce e sono influenzate dalla direzione di stampa e dal numero e tipologia di supporti scelti. Uno degli obiettivi della presente proposta è la completa riprogettazione di 2 componenti scelti come casi di studio, con lo scopo di mettere a punto una metodologia produttiva basata sull'additive manufacturing. L'approccio proposto per questa fase è il seguente:

- Definizione di 2 soluzioni progettuali: in questa fase i ricercatori dedicati al progetto si interfaceranno con i ricercatori delle Università e con i tecnici delle Aziende per definire le proprietà fondamentali che il componente deve avere e realizzeranno il progetto di 2 soluzioni alternative per ciascun case-study.

- Simulazione delle soluzioni alternative: i ricercatori dedicati al progetto simuleranno le deformazioni indotte sulle geometrie ottimizzate, in funzione delle direzioni di stampa e del tipo di supporti adottati. Al termine di questa fase definiranno un nuovo CAD ottimizzato del componente che tenga conto delle deformazioni di stampa indotte dalla particolare combinazione dei parametri di processo.
- Misure dei risultati in termini di deformazioni: una volta realizzati, i componenti saranno misurati e le dimensioni reali confrontate con quelle dei modelli CAD.

Case study 1: Stelo formatura prodotto mediante tecnologia SLM

Si tratta di un punzone (semplificato) per formatura di tappi in plastica. Il componente è inserito all'interno di uno stampo per compressione di materiale termoplastico. Detto materiale viene fuso e inserito nella giusta grammatura all'interno di una cavità che cooperando con il punzone realizza la forma di tappo desiderata.

Il materiale fuso deve essere raffreddato prima di essere estratto; la conformazione dei canali di raffreddamento è quindi un aspetto rilevante e gli spazi ridotti dovuti dalle geometrie ridotte (e da una pluralità di movimenti nello stampo) ne complicano la disposizione e la realizzabilità.

Il processo di stampaggio avviene dinamicamente con forze rilevanti. Il componente deve lavorare 24h per anni, con normali operazioni di manutenzioni (pulizia).

È quindi importante fare passare una quantità di liquido di raffreddamento in passaggi piccoli e disposti in modo preciso all'interno di spessori molto ridotti senza pregiudicare la durata del componente.

AM potrebbe aiutare a trovare una soluzione più efficiente di quella tradizionale odierna a patto che ottemperi a queste esigenze:

- Canali piccoli e precisi come posizione
- Resistenza alle sollecitazioni
- Facile pulizia dei canali

Oggi il componente è realizzato in due parti, smontabili, con tenute per chiudere il circuito di refrigerazione. Il sistema funziona con soddisfazione, però è complesso affrontare con questo approccio casi più estremi dal punto di vista dimensionale.

Domani con AM si potrebbe inoltre pensare di utilizzare materiali differenti tra testa (dove sono necessari i canali di cui sopra) e stelo (che potrebbe essere realizzato in modo tradizionale) con vantaggi sullo scambio termico e costi. I materiali individuati sono, per la testa Bohler AMPO M789 (inox 50HRC), per lo stelo un inox HRC \geq 54.

Case study 2 ed attività di messa a punto processo inerenti la tecnologia DED

Attraverso la tecnologia laser a spruzzo di polvere si possono realizzare numerosi tipi di lavorazione che vanno dal semplice ricoprimento superficiale, alla riparazione di componenti ad alto valore aggiunto, alla vera e propria fabbricazione additiva "da zero".

Le attività verteranno principalmente sulla messa a punto di strategie per la realizzazione di componenti in acciaio 17-4 PH destinati al mondo delle macchine automatiche, definendo, nel contempo una metodologia per l'individuazione dei parametri di processo ottimali, con lo scopo di rendere questo particolare processo abbastanza robusto per essere impiegato nei contesti industriali.

Aspetti di interesse di questo filone di attività, nell'ottica di superare gli attuali limiti della tecnologia, sono anche:

- Testare le potenzialità messe a disposizione da PTC e SIEMENS all'interno di BI-REX per la generazione teorica (assenza di post-processor dedicati) di percorsi utensile, su centro di lavoro e robot antropomorfo, finalizzata alla minima e/o nulla presenza di supporti.
- Generare prodotti complessi e multifunzione ottenuti aggiungendo features/parti su componenti prodotti con processi convenzionali. Di particolare interesse sarà anche lo studio finalizzato alla riparazione di prodotti danneggiati di alto valore, partendo ad acquisizione 3D della geometria del pezzo danneggiato.

Business model

A seguito dello sviluppo delle tecniche di additive manufacturing la letteratura, tanto accademica che di practitioner, si è interessata alla messa a punto di modelli finalizzati alla determinazione del valore economico

differenziale rispetto a modalità tradizionali di processo produttivo. Come da prassi diffusa nei processi di introduzione dell'innovazione, una volta determinata la possibilità tecnica rimane da valutarne la convenienza economica e finanziaria.

Esiste dunque già una serie di modelli economici connessi alle differenti tecnologie che rientrano nel novero dell'Additive Manufacturing (Stereolithography, Selective Laser Melting, Fused Deposition Modeling, Electron Beam Melting e Laser Cladding), che possono costituire una solida base di partenza per lo studio dei vantaggi economici generati nell'ambito del progetto.

Essi si fondano sostanzialmente sull'individuazione di una serie di categorie di costo influenzate dall'innovazione, che vanno quindi poste sotto osservazione per valutarne il mutamento in ottica statica o differenziale. A seconda dei modelli tali categorie variano, ma la maggioranza dei modelli si focalizza sul costo della tecnologia, del materiale, del personale ed eventuali e limitati "post process cost" che vengono sostenuti successivamente rispetto alla produzione del componente. Tali categorie di costi vengono spesso organizzate in una serie di attività e processi, in ottica di activity-based costing e le attività vengono costificate per poi valutarne la variazione. Oltre a quelle propriamente produttive, alcune attività frequentemente considerate sono ad esempio quelle di preparazione della macchina, di manutenzione, di gestione della qualità, ecc.

Tali modelli di determinazione del valore economico della nuova tecnologia possono fornire informazioni di interesse, ma si prestano a significative opportunità di perfezionamento in grado di accrescerne l'efficacia e l'utilità.

Il presente progetto persegue questo obiettivo, particolarmente nell'ottica di (a) estensione del modello di costificazione, (b) inclusione degli aspetti di analisi del valore in aggiunta alle sole valutazioni di costo. Gli strumenti analitici sviluppati verranno applicati anche per valutazioni comparative fra la tecnologia AM e le tecnologie di produzione tradizionali. Inoltre, il progetto include una specifica attività di approfondimento su aspetti economici dell'innovativa tecnologia AM-DED, inerenti la costruzione dello stato dell'arte sui temi di costificazione per tale tecnologia e un'analisi differenziale di costo fra le soluzioni tecnologiche alternative previste nel progetto per la realizzazione dell'utensile.

Nello specifico, il progetto si propone di ampliare lo spettro delle attività oggetto d'indagine nella costituzione del modello di costificazione, uscendo dal confine dei soli processi produttivi, e intercettando l'impatto che la nuova tecnologia determina a livello di catena logistica e processi amministrativi, intesi in senso lato, per arrivare ad una vera configurazione di "Total Cost of Ownership". Tale determinazione terrà conto anche delle conseguenze finanziarie del passaggio all'AM, considerando sia gli impatti sul capitale fisso aziendale (investimenti in macchinari), sia quelli sul capitale circolante netto (magazzini e debiti di fornitura in particolare), in modo da assicurare una valutazione complessiva dell'impatto economico-finanziario.

Altresì, il progetto si propone anche un'estensione temporale in ottica di Lyfe Cycle Costing, per verificare come la nuova modalità produttiva influenzi i costi non solo di produzione, ma anche quelli a monte (prototipazione, ingegnerizzazione, allestimento delle linee produttive) e a valle (logistica, utilizzo ed eventuale riciclo). In questa fase progettuale verrà valutata l'applicazione di tecniche di attualizzazione dei flussi finanziari per la determinazione del Valore Attuale Netto, Tasso Interno di Rendimento e Payback Period degli investimenti in ottica di lungo periodo.

In secondo luogo, il progetto risponde a una chiara criticità riscontrabile nella letteratura economica prevalente: essa, nella determinazione del valore economico dell'AM presenta esempi relativi alla realizzazione di singoli componenti isolati, senza considerare la possibilità e i vantaggi di produrre direttamente con AM un oggetto composto da vari componenti. Appare tuttavia evidente come ciò determinerebbe una misurazione del valore economico sensibilmente differente, in quanto sarebbe necessario valutare l'impatto in termini di costi differenziali connessi al contatto del fornitore, alla negoziazione, all'interazione logistica e amministrativa, all'assemblaggio che si moltiplicherebbero rispetto al caso in cui oggetto della produzione fosse un componente singolo.

Inoltre, i modelli fino ad ora sviluppati si focalizzano esclusivamente su una misura di costo differenziale rispetto alle tecnologie tradizionali, senza valutare il differenziale di valore per l'utente (laddove il prodotto sia realizzato internamente) o per il cliente (se realizzato per la commercializzazione). In numerosi casi, il ricorso alla tecnologia di AM può garantire risultati di evidente impatto sulla percezione di valore da parte del cliente, legati ad esempio all'ottenimento di forme e geometrie uniche, al miglioramento di aspetti prestazionali del prodotto (es. alleggerimento), oppure semplicemente indotti dalla maggiore flessibilità e tempestività con le quali il

prodotto viene reso disponibile. Una corretta valorizzazione economica della differenza di valore determinata dall'AM è necessaria per la comprensione del suo potenziale di utilizzo e più in generale del "business case" della nuova tecnologia. Il progetto approfondirà questi aspetti sia in termini generali nella formulazione di un modello di analisi del valore, sia nelle applicazioni relative ai casi di studio oggetto della proposta progettuale, attraverso il ricorso a opportune tecniche di marketing (qualitative-quantitative) quali ad esempio la Conjoint Analysis o la Value Analysis.

Ulteriore obiettivo della ricerca è l'analisi (in ottica contingente) di quali fattori determinano il differenziale di valore. La letteratura ad oggi ha evidenziato principalmente la dimensione dei lotti, la specifica tecnologia utilizzata e la complessità tecnica di realizzazione del prodotto. Il progetto si propone di approfondire ulteriormente l'impatto di tali fattori e di individuarne eventualmente altri, tramite un approccio deduttivo-induttivo.

Infine, come in precedenza indicato, la ricerca prevede una specifica attività volta all'approfondimento di aspetti economici della tecnologia AM-DED.

In sintesi, relativamente agli aspetti economico-manageriali, l'obiettivo è quello di estendere l'analisi e mettere a punto modelli pratici di supporto alle decisioni rispetto alle seguenti dimensioni: processi analizzati (dai soli costi di produzione al Total Cost of Ownership), estensione temporale (dal solo momento produttivo all'intero Lyfe Cycle), tipologie di produzioni oggetto di AM (da singoli componenti ad elementi assemblati), oggetto dell'analisi economica (dal solo costo alla relazione costo-valore).

Risultati ed innovatività attesi dal Progetto

I risultati principali sono rivolti ad aumentare le competenze interne ai vari partner per ottimizzare:

- la scelta delle caratteristiche delle polveri utilizzate come materia prima;
- i parametri di processo da utilizzare in funzione della tipologia di polveri e componente da realizzare;
- la progettazione di componenti, con geometrie specifiche per l'additive manufacturing;
- la scelta delle direzioni di stampa e del tipo di supporti al fine di garantire la massima corrispondenza tra dimensioni reali e dei modelli CAD dei componenti.

Altri obiettivi della presente proposta sono:

- definire i trattamenti termici ottimali, post stampa, in grado di ridurre il livello di tensioni residue e garantire le prestazioni meccaniche richieste.
- definire le operazioni di finitura superficiale e geometriche in funzione della qualità di partenza del pezzo e delle caratteristiche richieste in esercizio
- identificare possibili soluzioni alternative, e di alto valore tecnico, basate sull'utilizzo di più materiali sullo stesso componente e componenti integrati, ovvero ottenuti mettendo assieme più tecnologie, tra le quali l'additive manufacturing.

Parallelamente alle attività tecnologiche si intende sviluppare un modello in grado di definire i costi del processo e delle soluzioni tecnologiche alternative. Questo permetterà a progettisti e manager la scelta più opportuna sia dal punto di vista tecnico che economico.

I risultati elencati sono da considerarsi fortemente innovativi poiché per la prima volta:

- si svilupperà una metodologia finalizzata all'introduzione consapevole a livello aziendale della tecnologia AM al fine di sfruttarne tutti i vantaggi;
- verranno definite le conoscenze fondamentali per la corretta scelta del trattamento termico post-stampa
- verranno prodotti componenti, anche multi-materiale e multi-processo, in grado di rispondere al meglio alle esigenze di mercato, che vanno verso prodotti estremamente diversificati e con time-to-market ridotti. Fine ultimo del progetto consiste nella possibilità di aumentare la competitività delle imprese, migliorandone e innovandone prodotti e processi produttivi.

Per le conoscenze già disponibili relativamente alla realizzazione dei case-studies precedentemente descritti, il TRL di partenza è 6 per l'SLM e 5 per la parte DED. L'obiettivo è raggiungere un TRL finale di 8 e 7 rispettivamente per le tecnologie SLM e DED.

2. Sezione 2 - Implementazione (max 6 pagine, tabelle escluse)

Funzionalità ed efficacia del piano di attività e della struttura organizzativa

Il progetto è stato suddiviso in 5 Work Package (WP), ciascuno dei quali suddiviso in attività ben distinte (Task), che hanno come obiettivo finale quello di definire un ciclo produttivo ottimale per la realizzazione di componenti in AM sia con tecnologia SLM che DED. Per ogni WP è stato definito un coordinatore di riferimento (WPC); il coordinatore ha il compito di pianificare le attività, supervisionare il lavoro svolto e facilitare le interazioni tra i diversi attori coinvolti. Il WPC si affiderà alle competenze di ciascun gruppo coinvolto, ma sarà responsabile della qualità del lavoro, della consegna dei Deliverables (D) e del raggiungimento delle Milestone (M). L'implementazione del progetto viene coordinata da un referente scientifico aziendale ed un referente scientifico universitario e conta sull'assunzione di 3 ricercatori. I coordinatori comunicheranno lo stato di avanzamento e le potenziali deviazioni dal piano di lavoro concordato a tutti i partner del progetto.

WP0: Coordinamento e Comunicazione

WPC: **IMA** (UNIBO, BI-REX)

Task 0.1 Monitoraggio e coordinamento delle attività

Il monitoraggio delle attività e l'avanzamento dei lavori saranno svolti tramite riunioni mensili che coinvolgeranno tutte le unità e che si coordineranno per rispettare il programma e le tempistiche indicate nella proposta. La stesura di relazioni tecniche di avanzamento, la consegna dei deliverables ed il raggiungimento delle milestone nei tempi previsti dal piano di lavoro sarà utilizzata come parametro indicativo per monitorare l'andamento del progetto. Le attività di coordinamento potranno essere coadiuvate tramite il servizio di project management di BI-REX.

Task 0.2 Gestione finanziaria e amministrativa

La gestione finanziarie ed amministrativa sarà condotta da IMA

WP1: Ottimizzazione dei parametri di processo

WPC: **UNIBO** (SIC, IMA, NEXTEMA, SIAD)

Il WP ha come obiettivo quello di individuare ed ottimizzare i parametri di processo della tecnologia AM e di post-processo sul materiale oggetto di studio.

Task 1.1 Stampa di campioni tramite processo AM

Per ciascuna tecnologia (DED ed SLM) verranno inizialmente realizzati campioni a geometria semplice allo scopo di individuare i parametri di processo per:

- Ottenere le proprietà meccaniche ottimali riducendo al minimo difettologie e porosità.
- Velocizzare la stampa, anche a scapito delle proprietà meccaniche dei componenti.
- Aumentare la flessibilità geometrica del processo utilizzando parametri che garantiscono la fattibilità di stampa anche per superfici con posizionamento complesso rispetto alla direzione di accrescimento.

I parametri di processo saranno inizialmente scelti sulla base delle conoscenze pregresse possedute dai partner coinvolti e dei dati forniti dai produttori di polveri, mentre nuovi set di parametri saranno definiti sulla base dei risultati ottenuti con le analisi successive (Task 1.2, Task 1.3, Task 2.2). In questa fase, saranno stampati campioni di geometria elementare (parallelepipedi) per l'analisi di densità; figure benchmark di geometrie "complesse" per valutarne la stampabilità e campioni di geometria normata (UNI/ISO) per i test meccanici.

Task 1.2 Caratterizzazione densimetrica, microstrutturale e meccanica dei campioni

Tutti i campioni di geometria elementare stampati in Task 1.1 verranno sottoposti a prove di densità ed analisi microstrutturali con le tecniche ritenute più adeguate. I set di parametri che avranno portato alla stampa di componenti a massima densità saranno scelti per stampare ulteriori campioni da sottoporre alla caratterizzazione meccanica più idonea. Tali prove permetteranno di definire le proprietà meccaniche fondamentali (es. durezza, tensione di snervamento e rottura, allungamento % e resistenza a fatica) dei materiali ottenuti con AM. Tutte queste informazioni saranno inserite nel database di parametri di processo e trattamento (Task 1.5).

Task 1.3 Valutazioni geometriche e dimensionali

Per definire il set di parametri che consente la maggior flessibilità geometrica di stampa, saranno stampati dei benchmark e verrà fatta una valutazione semi-quantitativa del risultato (misure dimensionali e fattibilità o meno del processo). Il set che consentirà di ottenere le features più complesse, eliminando la presenza di supporti esterni, sarà inserito nel database di Task 1.5.

Task 1.4 Ottimizzazione del trattamento termico

I trattamenti termici verranno ottimizzati sui campioni stampati con i parametri di massima densità definiti nei Task 1.1 e 1.2. L'obiettivo è quello d'individuare una o più condizioni ottimali al fine di ridurre le tensioni residue e modificare le proprietà meccaniche dei componenti as-built qualora ce ne fosse l'esigenza. Durante questa fase sarà fondamentale valutare l'effetto del trattamento termico su eventuali componenti multimateriale. I dati della sperimentazione svolta verranno inseriti all'interno del database di Task 1.5.

Task 1.5 Creazione del database di parametri di processo e trattamento

I risultati ottenuti dalle analisi dei Task precedenti saranno inseriti in un database accessibile a tutti i partner e al personale BI-REX; oltre al dato sullo specifico materiale sarà delineata la metodologia necessaria per popolare il database.

Deliverables

D1: Mappe di densità e proprietà meccaniche per il materiale di interesse

D2: Relazione tecnica contenente i parametri di processo ottimale per le 3 categorie di lavoro descritte

D2: Relazione tecnica contenente i parametri ottimali di trattamento termico ed i dati relativi alla caratterizzazione microstrutturale

Milestone

M1: Database contenente i parametri ottimali di processo e trattamento termico relativi a tutte le combinazioni operative previste

M2: Metodologia utile allo sviluppo dei dati necessari per il database

WP2. Valutazione dei post-processi e del ciclo di fabbricazione dei componenti semplificati

WPC: **UNIBO** (SIC, NEXTEMA)

Task 2.1 Analisi della qualità superficiale

Alcuni campioni di geometria semplice stampati in Task 1.1, scelti tra quelli ottenuti con i parametri di processo ottimali inseriti nel database, verranno utilizzati per la misura delle rugosità as-built. Sulla base dei risultati ottenuti si potrà aprire una seconda finestra di stampa di campioni semplici con lo scopo di individuare un set di parametri aggiuntivo del tipo "Skin and Core" con l'obiettivo di diminuire la rugosità superficiale.

Task 2.2 Valutazione dei post-processi

In questa fase si definiranno, tramite indagine di letteratura e sulla base degli utensili commercialmente reperibili, le tipologie di lavorazioni utilizzabili per ridurre la rugosità superficiale dei componenti, partendo dalle minime ottenibili con il processo SLM. Particolare attenzione sarà data ai processi di asportazione di truciolo idonei alla finitura di geometrie complesse e alla valutazione della lavorabilità dei materiali stampati additive. Quest'ultima considererà il livello della finitura superficiale del pezzo ed il rispetto delle tolleranze, avvalendosi di sistemi di controllo dimensionale, rugosimetri e profilometri.

Task 2.3 Definizione del ciclo di fabbricazione

Sulla base dei risultati precedenti la Task 2.3 fornirà una linea guida da utilizzare qualora il componente di interesse abbia particolari esigenze relative alla finitura superficiale. Saranno forniti i valori di rugosità minimi e massimi misurati dopo la stampa e quelli ottenibili a valle dei post-processi analizzati a seconda delle geometrie di interesse, con particolare riguardo alla distinzione tra features interne (es. canali) ed esterne.

Deliverables

D4: Rugosità min e max ottenibili sui campioni as-build

D5: Mappe di rugosità minime ottenibili post finitura al variare del post-processo scelto

Milestone

M2: Relazione tecnica in cui si definiranno, per i processi SLM e DED, uno o più cicli di fabbricazione completi dipendenti dall'obiettivo finale che si vuole raggiungere

WP3. Re-ingegnerizzazione e fabbricazione di 2 case-studies industriali

WPC: **IMA** (SAC, SIC, UNIBO, ALT, SIAD, NEXTEMA, PMI, SAMP)

Il WP3 ha come obiettivo quello di valutare l'effettiva applicabilità del processo AM su componenti reali. Nello specifico, sulla base delle conoscenze acquisite dalle WP precedenti, verranno: (i) riprogettati i due componenti scelti come case studies; (ii) implementati i processi AM, al fine di sfruttare pienamente tutte le potenzialità di questa tecnologia

Task 3.1 Ri-progettazione dei case-studies

Il personale di ricerca dedicato al progetto, in collaborazione con le Università e le Aziende coinvolte, studierà i componenti scelti come case studies per definirne le proprietà richieste e i vincoli progettuali. Sulla base di queste ipotesi verranno presentate almeno 2 soluzioni alternative di design per ciascun case-study.

Task 3.2 Simulazione del processo

I componenti progettati e disegnati al CAD nella Task 3.1 verranno simulati con un software di processo adatto a prevedere gli stati tensionali e le deformazioni dei componenti durante e dopo la stampa. I risultati permetteranno di individuare un design ottimale sul quale verranno portate avanti ulteriori simulazioni per definire orientamento del pezzo e disposizione e geometria dei supporti, con l'obiettivo di eliminare l'approccio trial-and-error tipicamente utilizzato con questi processi.

Task 3.3 Stampa dei case-studies

Individuate una o più soluzioni ottimali per entrambi i case-studies si effettueranno le stampe utilizzando i parametri di processo definiti in WP1. A valle della stampa e prima della rimozione dei supporti, i componenti potranno essere trattati termicamente. Tale scelta verrà fatta sulla base dei risultati di Task 1.4 abbinati all'applicazione specifica del componente. Le aziende coinvolte valuteranno se provare più di una soluzione allo scopo di valutarne l'effetto durante i post-processi (Task 3.5)

Task 3.4 Analisi geometrica e dimensionale post-stampa, caratterizzazione microstrutturale e meccanica

La geometria finale dei componenti stampati sarà valutata sulla base della qualità delle features ottenute (fori, sottosquadri, zone di piccolo spessore, ecc..) e sulla base delle tolleranze dimensionali raggiunte. I test verranno fatti tramite acquisizione della geometria con scanner 3D e software di gestione della nuvola di punti in grado di confrontare la geometria nominale da CAD con quella reale.

Una volta validata la geometria, dai componenti saranno ricavati provini per valutare il raggiungimento degli obiettivi in termini di microstruttura e proprietà meccaniche.

Risultati ritenuti non accettabili porteranno ad una nuova fase di riprogettazione (di design e di stampa) per correggere gli errori, ripetendo le operazioni delle Task 3.1, 3.2, 3.3.

Task 3.5 Finitura e test finali

I componenti ottimizzati verranno sottoposti ai processi di finitura definiti tramite le linee guida sviluppate nella Task 2.3. I test finali sui pezzi verranno eseguiti riproducendo, nella maniera più fedele possibile, le loro reali condizioni di funzionamento.

Deliverables

D6: Linee guide per la corretta progettazione/ri-progettazione di componenti AM

D7: Procedura di ottimizzazione della stampa AM tramite software

Milestone

M3: Prototipi finali dei case-studies

WP4 Definizione di un business model

WPC: **UNIBO** (IMA, SAC, SIC, PMI, SAMP)

Task 4.1 Identificazione principali categorie di costo influenzate dalle tecnologie di AM

In tale fase, i principali costi delle aziende verranno mappati e analizzati per comprendere le fondamentali categorie di costo influenzate dal passaggio alle differenti tecniche di AM, anche alla luce della letteratura. Si procederà anche alla definizione delle principali categorie di asset fissi e di capitale circolante che subiranno modificazioni.

Task 4.2 Stima degli effetti in termini di Total Cost of Ownership di breve periodo

Per ciascuna delle categorie di costi e asset identificati nella task precedente, si procederà a valutare le modifiche determinate dall'introduzione di tecniche di AM. Si prevede l'utilizzo di tecniche differenziate in funzione delle specifiche categorie di costo (Activity-based costing, analisi dei centri di costo, process cost mapping).

Task 4.3. Stima degli effetti in termini di Lyfe Cycle Costing di lungo periodo

In tale task verranno valutati tutti gli effetti economici di lungo periodo, connessi all'utilizzo, dismissione ed eventuale riciclo dei manufatti, se esistenti.

Task 4.4. Identificazione degli elementi di valore della tecnologia

Si provvederà, tramite interviste, a determinare i principali elementi di valore per il cliente/utilizzatore finale connessi all'utilizzo della nuova tecnologia.

Task 4.5 Analisi quantitativa del valore generato dall'utilizzo delle tecniche di AM

In tale task, tramite metodi di tipo quali-quantitativo da determinare in funzione dei casi specifici e della disponibilità di dati (Conjoint Analysis, Value Analysis, Data Envelopment Analysis), si provvederà alla quantificazione del valore addizionale determinato per l'utilizzatore finale

Task 4.6 Visione riassuntiva dell'impatto economico

In tale step finale gli elementi differenzianti di valore e costo verranno riassunti in una visione sintetica.

Deliverables

D8: lista delle categorie di costo su cui l'AM ha/può avere un impatto significativo

D9: lista delle categorie di asset su cui l'AM ha/può avere un impatto significativo

D10: modello di determinazione dell'impatto dell'AM in termini di Total Cost of Ownership della produzione

D11: lista degli effetti economici dell'AM in termini di Lyfe Cycle Costing

D12: lista dei potenziali impatti della tecnologia sul valore percepito dagli utilizzatori

D13: valutazione quali-quantitativa dell'impatto dell'AM sul valore percepito dagli utilizzatori

D14: modello complessivo di rappresentazione del rapporto valore/costo generato dall'utilizzo dell'AM

Milestone

M4: Modello di valutazione complessiva degli impatti dell'AM sui costi aziendali

M5: Modello di valutazione della generazione di valore da parte dell'AM

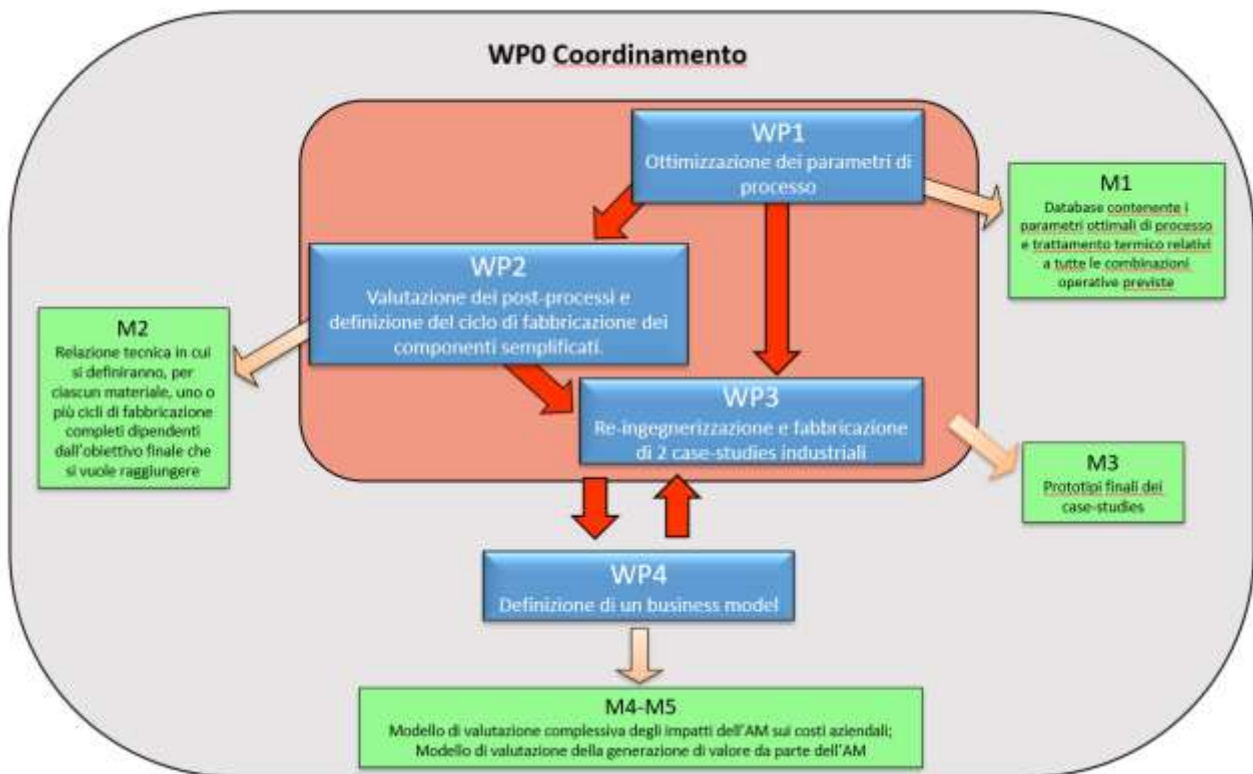


Figura 1: Diagramma di PERT

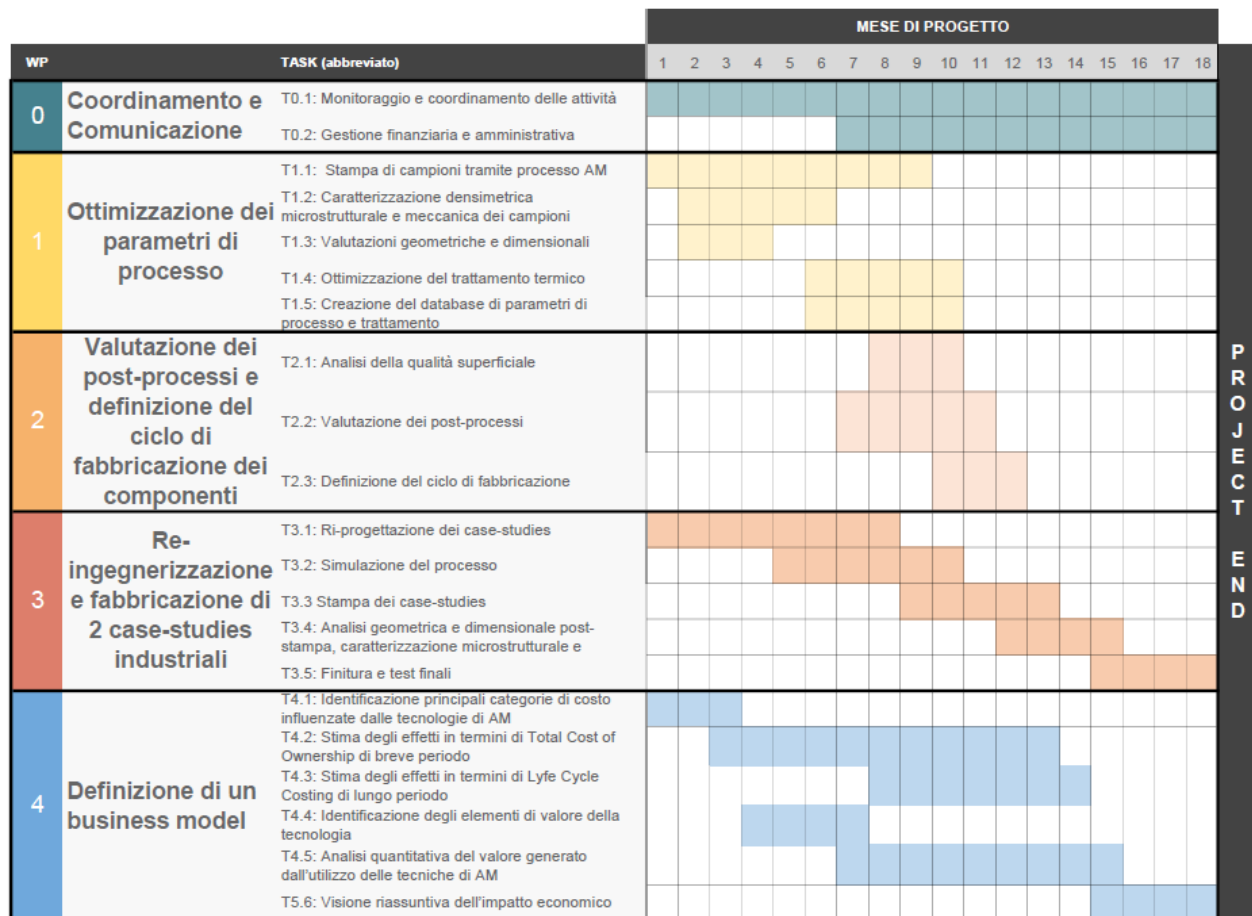


Figura 2: Diagramma di GANTT della progettale proposta

Adeguatezza del budget e dei proponenti

Le attività del progetto prevedono l'utilizzo di sub-contractor universitari: il Dipartimento CIRI-MAM il Dipartimento DISA dell'Università di Bologna. Si ritiene adeguato un totale di 5 annualità di Assegni di Ricerca, di cui 4 impegnate su CIRI-MAM e 1 su DISA. I partner End User saranno impegnati con ruolo di supervisione e supporto per un totale di 86,1 k€; IMA e SIC forniranno anche proprie attrezzature in-kind (a cui si aggiunge il costo del personale per il relativo funzionamento) per un totale di 75,5 k€. I partner Technical Service Provider contribuiranno in termini di materiale (e.g. gas SIAD, per un totale di 10 k€) e mediante l'impegno di personale per attività di supervisione, formazione e supporto (per un totale di 24 k€). Le attività di coordinamento saranno svolte attraverso il servizio BI-REX di project management, con il coinvolgimento del capofila IMA.

Nel consorzio è presente anche SAMP, il cui contributo economico non è stato preso in considerazione nella definizione della sostenibilità del progetto: questo contributo permetterà un potenziamento delle attività nella seconda parte di progetto.

I partner e sub-contractor coinvolti sono altamente qualificati per le attività del progetto. Per quanto riguarda i partner End User:

- Fondata nel 1961, **IMA** è leader mondiale nella progettazione e produzione di macchine automatiche per il processo e il confezionamento di prodotti farmaceutici, cosmetici, alimentari, tè e caffè. La sua posizione di leadership è il risultato di investimenti significativi in Ricerca e Sviluppo (55,31 M€ nel 2018). IMA con la propria esperienza nell'ambito delle macchine automatiche e nella realizzazione di componenti meccanici tramite tecnologia DED, sarà in grado di valutare e indirizzare le metodologie proposte, le soluzioni adottate e i risultati del progetto. Inoltre IMA metterà a disposizione la propria attrezzatura per la deposizione diretta di polveri metalliche e il relativo know-how aziendale (per un totale di 50 k€).
- Nel 1919 la "**Società Anonima Cooperativa Meccanici Imola**" ha intrapreso il cammino che, attraverso una forte spinta verso l'internazionalizzazione dei mercati e un costante processo di innovazione e differenziazione produttiva, l'avrebbe portata tra i leader mondiali dell'impiantistica industriale. Il Gruppo SACMI opera nei business della Ceramica, Closures, Containers & PET, Beverage, Packaging & Chocolate, Quality & Process Control, Metals, Advanced Materials, con proposte impiantistiche complete e tecnologie proprietarie riconosciute ed affermate a livello mondiale. SACMI celebra nel 2019, il primo centenario dalla fondazione. Lo fa archiviando, negli ultimi 5 anni, alcuni tra i migliori risultati di esercizio della propria storia, con i ricavi che si confermano, anche nel 2018, superiori a 1,4 miliardi di euro (1,44 MLD), un patrimonio netto in ulteriore crescita, a 668 milioni, e un utile di bilancio pari a 50 milioni di euro.
- **Philip Morris Manufacturing & Technology Bologna SpA** (PM M&TB), precedentemente nota come Intertaba SpA, è il centro di eccellenza di Philip Morris International (PMI) a livello mondiale per la prototipazione, la produzione su larga scala e la formazione del personale per tutto ciò che concerne i prodotti a potenziale rischio ridotto (RRPs) e per i filtri ad alto contenuto tecnologico. I recenti progressi tecnologici nell'ambito dell'Additive Manufacturing (AM) trovano proprio in PM M&TB, come "lead site", le fondamenta per favorire una rapida ed efficace adozione delle opportunità introdotte dall'AM in ambito industriale, sia sul fronte della prototipazione e definizione di nuovi processi industriali, sia nella produzione su larga scala
- Ecor International ha fondato a fine 2017 la società controllata "**Il Sentiero International Campus**". Il Sentiero è un Centro di Ricerca Industriale con competenze tecnico/scientifiche nel campo dell'ingegneria delle superfici, dell'affidabilità, delle tecnologie di giunzione e dell'additive manufacturing. Il Sentiero International Campus, con la propria esperienza nella caratterizzazione microstrutturale e meccanica dei materiali, sarà in grado di contribuire attivamente al progetto, mettendo a disposizione non solo la propria strumentazione per le attività di caratterizzazione, ma anche le proprie conoscenze, fornendo linee guida nella selezione dei parametri di stampa e nella valutazione delle proprietà fondamentali dei manufatti realizzati mediante Additive. Il laboratorio potrà inoltre fornire un contributo fondamentale nella valutazione dei test funzionali adatti a ciascun case study considerato nel progetto.
- **SAMP**, fondata nel 1936, nasce per la costruzione di macchine per la produzione del filo di ferro necessario alla fabbricazione dei gabbioni prodotti dalle Officine Maccaferri. La creazione nel 2010 del Competence Center di Bentivoglio (BO), consente un continuo e costante scambio di informazioni e conoscenza tecnica e tecnologica fra le diverse aree tecniche e di sviluppo prodotto delle quattro Aziende. Con l'obiettivo di

creare un Gruppo leader in grado di fornire alla clientela soluzioni sempre più complete ed all'avanguardia per i relativi business, SAMP ha, nel corso degli ultimi anni, acquisito diverse Aziende operanti nel settore del filo e cavo e delle macchine utensili. Samputensili Machine Tool, attraverso l'acquisizione di due aziende italiane, Sicmat nel 2015 e CLC nel 2018, ha allargato la propria offerta di macchinari e linee di produzione nel settore del taglio e della finitura delle ruote dentate, degli utensili per la lavorazione delle ruote dentate.

Per quanto riguarda i partner di tipo Technical Service Provider:

- Il Gruppo **SIAD** è attivo da oltre 90 anni e rappresenta uno dei principali gruppi chimici italiani, è presente con sedi in Europa e nel mondo ed è operativo nei settori Technical gases, Engineering, Healthcare, LPG e Natural Gas. Fornirà i gas e il proprio know-how a riguardo per l'esecuzione del progetto.
- **Altair Engineering Inc.** è una società leader mondiale, con più di 2200 scientist, ingegneri e sviluppatori in 25 paesi, nella fornitura di soluzioni software enterprise per l'intero ciclo di sviluppo prodotto, dal concept design al processo di manufacturing alla data analytics. La nostra "mission" è quella di liberare il potenziale delle menti creative e interessate al nuovo modificando il tradizionale modo di prendere le decisioni mediante la simulazione, la data analytics e l'ottimizzazione. Altair mette a disposizione le tecnologie più avanzate per progettare ed ottimizzare prodotti alto prestazionali, leggeri, ed innovativi.
- **NEXTEMA SRL** è una start-up innovativa fondata nel 2015 come spin-off dell'Università di Bologna che ha posto al centro del proprio core business la ricerca e lo sviluppo di tecnologie di impiego di sorgenti laser per operazioni non convenzionali su materiali metallici. L'azienda è in grado di progettare e realizzare celle robotizzate per lavorazioni di trattamento termico superficiale e/o deposizione diretta di polveri metalliche su componenti meccanici destinati a diversi settori industriali. I processi di lavorazione messi a punto permettono di sostituire processi tradizionali di trattamento termico e lavorazioni alle macchine utensili.

Il progetto si avvarrà del Dipartimento CIRI-MAM e del Dipartimento DiSA di UniBo come sub-contractor

- Il CIRI-MAM è il Centro Interdipartimentale per la Ricerca Industriale dell'Università di Bologna che opera nei settori della Meccanica Avanzata e dei Materiali. Le sue competenze sono relative ai settori dell'Automazione, Robotica e Meccatronica; dei Materiali avanzati; dei Materiali strutturati e/o compositi per le applicazioni avanzate; della Prototipazione virtuale e modellazione sperimentale di sistemi meccanici. All'interno della presente proposta progettuale il compito del CIRI sarà
 - Selezionare e formare i ricercatori assunti per il progetto, facendo in modo di fornire loro le competenze necessarie a portare avanti le attività richieste per la realizzazione degli obiettivi nell'ambito.
 - Coordinare 4 WPs nel rispetto delle attività programmate e dei tempi di attuazione.
- Il DiSA (Dipartimento di Scienze Aziendali) è il punto di riferimento nazionale e internazionale per gli studi e gli insegnamenti di area economico-aziendale dell'Università di Bologna, che operano sia in area 13 sia in area 09. Il Dipartimento ha raggiunto sotto diversi profili una oggettiva posizione di eccellenza nel panorama nazionale e internazionale. Il Dipartimento è stato incluso fra i migliori Dipartimenti Universitari Italiani nel progetto "Dipartimenti di Eccellenza" del Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca.

La presente proposta progettuale intende inoltre utilizzare l'impianto pilota messo a disposizione da **BI-REX**, in particolare per le seguenti attrezzature:

- Macchina SLM MYSYNT300
- Macchina per taglio ad elettroerosione
- Forno per il trattamento termico
- Macchina utensile a 5 assi per finitura componenti meccanici realizzati mediante AM
- Postazione di scansione tridimensionale

A valle della conclusione del presente progetto, **BI-REX** potrà usufruire, per i propri scopi formativi e di servizi presso le imprese, delle seguenti conoscenze:

- Database di parametri per i processi SLM e DED, relative ai materiali utilizzati nel progetto
- Metodologia di messa a punto dei suddetti parametri, applicabile su altri materiali o macchine
- Modelli economici per valutare il costo dei componenti AM

Attraverso le precedenti conoscenze **BI-REX** può proporsi come partner per Aziende interessate ad esaminare le opportunità che l'AM offre nella riprogettazione di nuovi prodotti e/o lo sviluppo di nuovi processi.

3. Sezione 3 - Impatto (max 4 pagine)

Le aziende partecipanti al consorzio prevedono di implementare i risultati sviluppati durante il progetto e di generare un beneficio economico secondo le modalità descritte di seguito:

IMA

Qualità del piano di adozione industriale dei risultati

IMA, avendo installato all'interno della propria officina una macchina ibrida a deposizione diretta di polveri metalliche, potrà trasferire immediatamente le soluzioni e i progressi tecnologici sviluppati all'interno del progetto (alcune delle attività verranno eseguite sulla macchina stessa).

I progressi nel campo dell'SLM saranno utili a IMA per dimostrare l'applicabilità della tecnologia nella produzione della propria componentistica, attualmente limitati dalla mancanza di know-how, dall'impossibilità di rispettare gli stretti vincoli delle applicazioni farmaceutiche e alimentari e da costi elevati. Questa tecnologia è già conosciuta ed utilizzata a livello di R&D, la sua diffusione all'interno delle altre business unit aziendali sarà facilitata grazie al maggior know-how e ai dimostratori realizzati durante il progetto; non è previsto per il momento che IMA si doti di macchine SLM internamente.

Possibili gap di adozione risiedono nella difficoltà di trasferire le competenze sviluppate all'interno di una struttura produttiva ben organizzata come quella di IMA.

Rilevanza dei benefici economici per l'impresa

Stimare quale sarà l'impatto economico per un'azienda come IMA è molto difficile, in quanto legato ai futuri andamenti del mercato e alla mancanza di strumenti per valutare gli effettivi impatti economici delle tecnologie additive (per questo il progetto si propone di sviluppare degli appositi modelli). IMA produce ogni anno componentistica meccanica per un controvalore di centinaia M€, ipotizzando di poter realizzare tramite AM l'1% di tali componenti, ottenendo un vantaggio economico del 10% su ognuno, il risparmio per IMA sarebbe nell'ordine di alcuni M€ (senza considerare la possibilità di realizzare componenti con prestazioni superiori agli attuali, la possibile riduzione del time-to-market e la possibile riduzione dei flussi logistici).

L'utilizzo del DED per riparare componenti ad alto valore (alcuni k€ ciascuno), consentirà ad IMA un ulteriore risparmio, che si tradurrà anche in un minore impatto ambientale.

SACMI

Qualità del piano di adozione industriale dei risultati

Le ricadute attese sono principalmente di due tipi: competenza sulla messa a punto del processo e abbattimento di alcune barriere tecnologiche. SACMI oggi acquista componenti in additive ed è consapevole che la messa a punto del processo ha grandi influenze sulle proprietà locali del manufatto e il costo totale della soluzione. Il progetto così configurato permetterà di acquisire sensibilità e competenza su queste interrelazioni, fondamentali in un'ottica di portare in casa la tecnologia additiva. SACMI ha inoltre proposto un case study che sintetizza alcune sfide nell'adozione della tecnologia additiva per un componente importante ad oggi prodotto con tecnologia tradizionale. L'abbattimento di alcune barriere potrà permettere di spingere più avanti l'adozione dell'additive in componenti ad alto valore aggiunto. Più in generale, dal contesto di ricerca collaborativa ci si attende ricadute positive in termini di relazioni, contaminazione, multidisciplinarietà che potranno essere spese sia in ambito produttivo che di ricerca industriale.

Rilevanza dei benefici economici per l'impresa

Ad oggi, la mancanza di competenza sul processo e la presenza di alcune barriere tecnologiche limita l'adozione dell'additive in SACMI a pochi componenti acquistati esternamente. Il superamento di questi limiti permetterà di integrare progettazione e processo per un'ottimizzazione del valore e l'eventuale internalizzazione del processo additivo. L'attività, prevista nel progetto, di corretta valorizzazione economica della soluzione additive permetterà di completare il quadro e fare scelte consapevoli e mirate.

PMI

Qualità del piano di adozione industriale dei risultati

Aumentare il know-how in ambito AM sulle tecnologie e sui processi disponibili. Fare leva sui risultati di progetto sviluppati presso BI-REX e costruire le capability organizzative, per supportare il trasferimento di

tecniche di additive manufacturing all'interno di alcuni processi in PMI. Uno degli obiettivi, è quello di dimostrare l'applicabilità concreta di questa tecnologia per la realizzazione di piccole componenti meccaniche, utilizzate sia in processi a supporto dei dipartimenti di R&D che in ambito prettamente produttivo (ove applicabile nel rispetto del QMS e di altre linee guida aziendali).

Rilevanza dei benefici economici per l'impresa

Ad oggi tecniche di AM sono state sperimentate solo in ambito R&D grazie al supporto di partner esterni, in misura molto ridotta. L'opportunità di questo progetto verte proprio sul creare una maggior consapevolezza delle tecniche, degli strumenti e dei processi additive, così come una maggior conoscenza dei reali benefici e relativi impatti. Risulta difficile, senza solide fondamenta in questa tematica, effettuare una stima dell'impatto economico di AM sul business di PMI, ma in via preliminare si potrebbe assumere di realizzare in AM alcuni piccoli componenti meccanici o altre spare parts (ove applicabile in base al tipo di applicazione); ipotizzando un beneficio economico dal 10 al 20% sul prezzo di tali componenti, si potrebbe arrivare ad un impatto annuo dell'ordine di decine/centinaia di k€ (in base al volume), il tutto senza considerare l'enorme impatto che questo tipo di iniziativa avrebbe su tutta la catena di acquisto, logistica, ecc...

IL SENTIERO INTERNATIONAL CAMPUS

Qualità del piano di adozione industriale dei risultati

Uno dei principali obiettivi è l'accrescimento di know how. Le ulteriori conoscenze, riguardanti la tecnologia SLM, acquisite durante l'attività progettuale potranno essere trasferite e sfruttate all'interno del centro di ricerca, data la disponibilità di due diversi impianti tra le proprie capabilities. La acquisizione di informazioni fondamentali riguardanti la tecnologia DED costituirà una base importante per lo sviluppo di nuove competenze in questo ambito. I progressi e le soluzioni tecnologiche sviluppate durante il progetto potranno costituire il punto di partenza per l'ulteriore sviluppo di queste tecnologie e per la loro introduzione in realtà industriali con cui SIC collabora. Il progetto consentirà di comprendere i limiti e le possibilità dei materiali/processi che si prenderanno in considerazione, consentendo così di avere una migliore visione della loro applicazione.

Rilevanza dei benefici economici per l'impresa

Valutare i limiti e i benefici dell'additive metallico, al fine di selezionare componenti meccanici per i quali la stampa 3D metallica possa essere competitiva e, dunque, di interesse per le aziende/clienti con cui SIC collabora su queste tematiche. L'incremento di conoscenza del processo consentirà di valutare, anche insieme agli stessi partner del progetto, potenziali future applicazioni differenti dai case studies presi in esame. Comprendere a fondo i vantaggi e i limiti delle diverse tecnologie consentirà di comprendere l'applicabilità delle stesse nei diversi settori.

SAMP

Qualità del piano di adozione industriale dei risultati

I risultati del progetto saranno sostanzialmente utilizzati per lo sviluppo di nuovi prodotti/processi utilizzando tecnologia da polvere. Nell'ambito dei processi tali risultati ci permetteranno di individuare e valutare nuovi sistemi e linee di produzione degli utensili per il taglio degli ingranaggi. Al momento tutto il processo produttivo si basa sull'utilizzo di acciaio da barra su cui vengono eseguite varie lavorazioni di sgrossatura per asportazione di truciolo; la tecnologia additive ci permetterebbe di ridurre il numero di operazioni in fase di sgrossatura. Nell'ambito dei prodotti, tali risultati ci permetterebbero di intervenire sulle geometrie degli utensili nell'ottica di studiare soluzioni innovative come la realizzazione di cavità di alleggerimento e canali interni di lubrorefrigerazione, per favorire le condizioni di impegno dell'utensile. Lo scambio di conoscenza in merito a tecnologie, prodotti e processi fra i diversi End User, TSP ed Enti di ricerca consentirà alla nostra azienda di incrementare ulteriormente la propria conoscenza nei confronti dei limiti/possibilità dell'AM.

Rilevanza dei benefici economici per l'impresa

I risultati del progetto permetteranno di avere dei benefici sia dal punto di vista del processo che del prodotto. Dal punto di vista del processo potremmo avere dei benefici in termini di riduzione dei tempi di consegna dovuto ad una riduzione del numero di fasi di produzione; inoltre essendo la richiesta di utensili da prototipazione sempre in aumento riusciremmo a ridurre notevolmente i tempi di consegna. Dal punto di vista del prodotto, i risultati del progetto ci permetteranno di valutare l'introduzione nel mercato di nuove tipologie di utensili grazie all'introduzione di soluzioni geometriche innovative.

SIAD

Qualità del piano di adozione industriale dei risultati

SIAD approccia il progetto con l'obiettivo di individuare miscele gas e/o soluzioni tecnologiche legate all'utilizzo del gas nei processi di stampa, che possano portare ad un progresso dei componenti realizzati con tecnologie additive. Il desiderio di intraprendere come partner tecnologico il progetto, deriva dal fatto che SIAD ha diversi clienti utilizzatori di processi di stampa 3D e vuole proporsi come partner in grado di offrire soluzioni all'avanguardia e miscele "innovative" attualmente non presenti nel mercato. SIAD desidera accrescere le proprie competenze specifiche nell'ambito della manifattura additiva. Inoltre si impegna a condividere il proprio know-how in campo metallurgico, frutto dell'esperienza nelle applicazioni dei gas nei processi di saldatura e trattamento termico.

Rilevanza dei benefici economici per l'impresa

I benefici economici di SIAD sono strettamente legati ai risultati che potrebbero essere ottenuti grazie ad un'ottimale applicazione dei gas e miscele all'interno del processo e saranno poi tradotti in:

- Maggiore fidelizzazione dei clienti esistenti grazie alla maggiore capacità di consulenza e la proposta di soluzioni innovative
- Maggiore capacità di penetrazione nel mercato grazie alla possibilità di fornire le sopra descritte soluzioni
- Maggiore know-how interno dovuto all'esperienza maturata durante il progetto.

ALTAIR

Qualità del piano di adozione industriale dei risultati

I risultati ottenuti dal progetto costituiranno una ulteriore validazione sperimentale delle soluzioni che sono alla base dei tools di calcolo. Sulla base dei risultati che via via saranno ottenuti nel corso dell'attività progettuale, si potranno definire e sviluppare nuove funzionalità negli attuali tools di progetto e simulazione. Si avrà allo stesso tempo sia la possibilità di incorporare le esperienze e conoscenze acquisite nel corso del progetto che la possibilità di validare i nuovi tools su nuovi e significativi use-cases. I vantaggi che possono essere individuati per Altair derivano dalla possibilità di mettere a disposizione dei clienti e del mercato dei tools per la simulazione dei processi additive che contengano ulteriori funzionalità, rendendo più ricca l'offerta di strumenti nell'area manufacturing.

Rilevanza dei benefici economici per l'impresa

Determinare quale potrebbe essere l'impatto economico in questa fase risulta non semplice: certamente avere disponibile un tool o più tools arricchiti di nuove funzionalità, risultate dall'attività progettuale, permetterà ad Altair di essere più competitiva sul mercato della simulazione. Da considerare anche che le tecnologie additive stanno acquisendo significative aree di presenza e poter fornire ai progettisti e a coloro che operano in quest'area uno strumento più completo potrebbe produrre significativi incrementi di vendita, che possono essere stimati in qualche M€.

NEXTEMA

Qualità del piano di adozione industriale dei risultati

Attraverso la partecipazione al progetto, NEXTEMA intende incrementare lo sviluppo delle proprie installazioni inerenti applicazioni di laser a medio/alta potenza per processi avanzati, con particolare riferimento ai processi di fabbricazione additiva mediante deposizione diretta di polveri metalliche. In particolare, NEXTEMA punta a diversificare i campi di applicazione della tecnologia DED su differenti settori di mercato e, tramite un coinvolgimento diretto ai business case, punta ad accrescere il livello delle proprie competenze interne e all'efficientamento delle soluzioni tecniche offerte oggi sul mercato, in particolare per tutti quegli aspetti che riguardano l'interconnessione I4.0 e il controllo e monitoraggio di processo.

Rilevanza dei benefici economici per l'impresa

Si prevede che l'opportunità offerta dalla partecipazione al progetto possa consentire a NEXTEMA di sviluppare almeno due possibili soluzioni applicative della tecnologia DED, che possano sfociare nel breve termine ad una fase di industrializzazione con il supporto di importanti end-users e stakeholders del territorio. Data la fase di avvio dell'azienda, la cui mission aziendale è lo sviluppo di applicazioni innovative di utilizzo di sorgenti laser nel

mondo della meccanica, si prevede che la partecipazione al progetto potrà essere un'opportunità di forte accelerazione del proprio business con ricadute economiche rilevanti sul proprio fatturato.

Impatto sulla società in termini di ricadute nell'ambito del Sustainable Development Goals 2030

Obiettivo 8. Incentivare una crescita economica duratura, inclusiva e sostenibile, un'occupazione piena e produttiva ed un lavoro dignitoso per tutti

L'avvento dell'additive manufacturing sta rivoluzionando i sistemi produttivi ed aprendo un nuovo ventaglio di possibilità: dominare questa nuova tecnologia sarà quindi fondamentale per tutti i partner del consorzio nell'ottica di conservare la propria competitività a livello mondiale, sia per quanto riguarda le aziende sia i centri di ricerca.

Obiettivo 9. Costruire un'infrastruttura resiliente e promuovere l'innovazione ed una industrializzazione equa, responsabile e sostenibile

L'industrializzazione di processi non consolidati potrà aprire nuove potenzialità di sviluppo sostenibili nell'ottica del miglioramento continuo e aprirà la strada a nuovi prodotti innovativi

Obiettivo 12. Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo

L'avvento della produzione additiva permette di immaginare, per il prossimo futuro, un modello di produzione che minimizzi lo spreco di materie prime e il consumo energetico necessario per la produzione della componentistica meccanica. La tecnologia DED consentirà inoltre di riparare componenti danneggiati e usurati, permettendo quindi un'ulteriore riduzione del waste. In un futuro più remoto potrebbe essere possibile gestire una produzione localizzata in prossimità dell'utilizzatore, con un ulteriore beneficio in termini di flussi logistici e relativo impatto ambientale.

PIANO DI FORMAZIONE DELL'ASSEGNISTA DI RICERCA

Per garantire un adeguato sviluppo del progetto di ricerca, al contempo favorendo l'ampliamento di conoscenze scientifiche, contenutistiche e metodologiche del titolare dell'assegno di ricerca, è previsto un piano di formazione che include:

- Supporto nella conduzione della review di letteratura sulle tematiche di modelli di costificazione dei processi di produzione e su analisi del valore, e supporto nello sviluppo del modello empirico applicato al caso specifico oggetto del progetto (additive manufacturing);
- Frequenza di almeno 1 corso di formazione dottorale su strumenti di controllo di gestione/strategic cost management (es. Seminari EDEN dell'EIASM – European Institute for Advanced Studies in Management);
- Disseminazione dei risultati alla comunità scientifica con presentazione degli stessi ad almeno 2 conferenze internazionali di Management Accounting e/o Management della Produzione.