



**Documento di progettazione del Corso di Dottorato di Ricerca in
Mechanical, Manufacturing, Management and Aerospace Innovation (M3AI) – XL Ciclo**

1. Progettazione del Corso di Dottorato di Ricerca

1.1 Progetto e obiettivi

Il Corso di Dottorato di Ricerca in M3AI è stato istituito a partire dal ciclo XXXVI, su proposta del Dipartimento di Ingegneria dell'Ateneo di Palermo. Il Dottorato mette a sistema e valorizza le competenze di più di 30 docenti del Dipartimento ed è in linea con le politiche di didattica di III livello e con il piano strategico di Ateneo (2024-2027) e, in particolare, con gli obiettivi "1.5: Favorire l'avvio delle carriere dei giovani studiosi e innalzare la qualità della loro produzione scientifica" e "4.3: Riorganizzare la mobilità e le iniziative di internazionalizzazione dell'Ateneo", che pongono l'attenzione allo sviluppo di corsi di dottorato di ricerca con collocazione anche in un contesto internazionale.

Il Collegio risulta essere composto da Docenti appartenenti a tredici SSD con competenze che includono tematiche proprie delle discipline di alcune aree della ingegneria industriale, della ricerca operativa e della psicologia del lavoro e delle organizzazioni.

La proposta di Dottorato di Ricerca in "Mechanical, Manufacturing, Management and Aerospace Innovation" colloca il Dipartimento di Ingegneria (DI) nel trend delle più prestigiose scuole politecniche internazionali (es. MIT, GeorgiaTech, Purdue, Berkeley) ed è coerente con il modello a T "Global Engineer" definito dalla "National Academy of Engineering Education" e dalla "National Science Foundation", che integra una molteplicità di competenze tecniche e scientifiche verticali con un insieme di capacità orizzontali di natura più tipicamente manageriale e imprenditoriale.

Il Dottore di ricerca che il Dipartimento di Ingegneria forma in quest'ambito è un "Entrepreneurial Technology Scientist", che ha competenze tecnico-scientifiche verticali nei seguenti campi: progettazione di processi e cicli di lavorazione e produzione innovativi, con particolare riferimento ai sistemi di produzione cibernetici nell'ambito della fabbrica intelligente; caratterizzazione dei materiali, con particolare riferimento ai settori aerospaziale, delle costruzioni meccaniche e dei dispositivi biomedici e organi artificiali.

Pertanto, le tematiche di ricerca riflettono, da una parte, le competenze tecnico-scientifiche verticali summenzionate e, dall'altra, quelle orizzontali di seguito descritte.

In tutti gli ambiti, le soluzioni individuate, oltre ad essere validate sotto l'aspetto tecnico, dovranno essere verificate dal punto di vista della sostenibilità economico-ambientale attraverso le competenze orizzontali acquisite. Queste ultime riguardano la gestione dell'innovazione tecnologica, l'imprenditorialità, i modelli quantitativi per il supporto alle decisioni, i modelli di business innovativi, la gestione e l'utilizzo dei big data, la gestione dei progetti, la sostenibilità, l'orientamento alla transizione digitale ed ecologica, la gestione e il finanziamento della catena logistica, la manutenzione e la sicurezza, nonché le metodologie statistiche avanzate e gli ambienti di calcolo non convenzionale necessari per affrontare problemi a elevata complessità.

La sinergia tra le competenze verticali, capitalizzata attraverso la visione trasversale assicurata dalle competenze orizzontali, consentirà al Dottore di ricerca M3AI di essere particolarmente attento alle esigenze di innovazione dei mercati e della società, di sapere sviluppare modelli di filiera innovativi, efficienti e sostenibili potendo così dare il suo contributo anche nella gestione delle emergenze sociali. Gli ambiti di ricerca verticali sono ampiamente sviluppati all'interno del DI e hanno valenza nel panorama di Industria 4.0. Inoltre, il DI ha competenze di ricerca internazionalmente riconosciute nel campo delle componenti orizzontali come nell'ambito dell'economia, dell'imprenditorialità, del business e del management. Le prestigiose collaborazioni internazionali, rappresentate nel collegio di Dottorato da una rappresentanza consistente, consentiranno al Dottorando di realizzare il suo progetto di ricerca in un contesto internazionale



fortemente stimolante che si concretizzerà in particolare con il periodo di studi all'estero previsto dal programma di dottorato.

L'obiettivo del percorso dottorale è quello di creare un professionista di alta formazione, in grado di presidiare una specializzazione verticale negli ambiti dell'ingegneria meccanica, aerospaziale, dei processi manifatturieri, del management per le imprese manifatturiere e di servizi e le pubbliche amministrazioni, coniugata con la capacità di gestire l'innovazione e valutare le direttrici di innovazione sotto un profilo tecnico che includa obiettivi economici e di sostenibilità. La complessità dei sistemi che figure altamente specializzate sono chiamate a gestire, necessita di una spinta specializzazione che sia anche in grado di riconoscersi in un'ottica multidisciplinare. Il percorso formativo è, dunque, articolato in modo da potere formare specialisti capaci di intercettare la portata innovativa di nuove tecnologie nel loro ambito specifico, di drenare risorse finanziarie pubbliche e private per implementare sviluppo sostenibile. In particolare, il dottore di ricerca in M3AI viene formato per muoversi nelle direttrici tracciate dalle aree del PNRR e sarà, quindi, in grado di svolgere il suo ruolo in sistemi produttivi evoluti, digitali e sostenibili, nelle pubbliche amministrazioni, compresa la sanità, pubblica e privata.

1.2 Pianificazione e organizzazione delle attività formative e di ricerca

Gli obiettivi di formazione saranno raggiunti attraverso l'organizzazione di un percorso formativo composto che esplicita chiaramente la natura non solo multidisciplinare, ma soprattutto inter- e trans-disciplinare del Corso di Dottorato di Ricerca in M3AI.

In particolare, il percorso formativo del Corso di Dottorato di Ricerca in M3AI si compone di corsi specialistici di III livello, attività di ricerca, partecipazione a convegni e scuole, attività seminariali disciplinari e interdisciplinari, perfezionamento linguistico, periodi di formazione e di ricerca in Italia e all'estero, corsi e stage presso enti ed imprese qualificate, redazione della tesi di dottorato e presentazione dei risultati della ricerca (v. paragrafo 2.1 per dettagli).

Le potenzialità di sviluppo e aggiornamento del Corso di Dottorato sono molteplici e riguardano tematiche oggi centrali nelle strategie del piano nazionale della ricerca e del piano di ripresa e resilienza. Le potenzialità di sviluppo e aggiornamento saranno garantite attraverso la continua revisione delle attività formative, i periodi di mobilità dei Dottorandi e, soprattutto, attraverso i seminari disciplinari e interdisciplinari che saranno tenuti non solo da Docenti dell'Ateneo, ma anche da studiosi non afferenti all'Ateneo, appartenenti a istituzioni anche internazionali.

1.3 Obiettivi di mobilità e internazionalizzazione

Il Corso di Dottorato persegue obiettivi di mobilità internazionali attraverso molteplici attività. Vengono incentivate attività di *networking* anche attraverso il riconoscimento di CFU per la partecipazione a seminari, workshop e congressi. Il Corso si pone anche obiettivi di internazionalizzazione, invitando i Dottorandi ad effettuare una mobilità di almeno 6 mesi nell'arco del triennio in istituzioni straniere. Inoltre, sono state avviate interlocuzioni volte alla stipula di accordi per lo svolgimento di programmi di doppio titolo o co-tutela con le Università del Canada, Lisbona e Cina. Attualmente è operativo un accordo di doppio titolo con la Norwegian University of Science and Technology (NTNU). Alcune delle borse di studio disponibili (PON, PNRR) prevedono un periodo svolto in impresa o pubblica amministrazione e un periodo presso centri di ricerca stranieri.

1.4 Visibilità e promozione del corso (linkedin, sito, giornate di presentazione, interventi di Ph.D. students nei corsi)



La visibilità del Corso di Dottorato e delle sue attività viene garantita attraverso il sito *web*, (<https://www.unipa.it/dipartimenti/ingegneria/dottorati/mechanicalmanufacturingmanagementandaerospacinnovation/>) con sezioni dedicate, sia in lingua italiana che in inglese, alla presentazione e agli obiettivi del Corso, alla composizione del Collegio, agli elenchi dei Dottorandi, alle *partnership* e alle attività formative. Nelle *news* del sito vengono segnalate le occasioni di formazione (es. seminari, workshop, scuole, ecc.). Il corso partecipa a bandi di Ateneo (es. CORI, contributi per l'avvio e lo sviluppo di collaborazioni internazionali dell'Ateneo) per aumentare la visibilità e l'attrattività del Corso. Le risorse così intercettate consentono l'organizzazione di iniziative di carattere internazionale, quali *workshop* e seminari in lingua inglese che coinvolgono studiosi ed esperti di rilievo internazionale, e la promozione delle attività del Corso (*merchandising* Unipa, video promozionali, supporto ai corsi in inglese). Inoltre, il Corso di Dottorato beneficia, in termini di visibilità, della molteplicità dei rapporti dei Docenti del Collegio con *stakeholder* nazionali ed esteri afferenti ad enti di ricerca, enti pubblici, aziende, ecc.

1.5 Sbocchi Occupazionali

La figura di Dottore di ricerca che il DI si appresta a formare è quella di un *“Entrepreneurial Technology Scientist”*. Il Dottore di ricerca avrà competenze tecnico-scientifiche verticali in quattro degli ambiti di ricerca del corso di dottorato: l'ingegneria meccanica, l'ingegneria della produzione, l'ingegneria gestionale e l'ingegneria aerospaziale.

Le componenti verticali corrispondono a figure professionali che trovano occupazione come figura di coordinamento sia in enti orientati alla ricerca che in ruoli aziendali orientati alla ricerca e sviluppo. In tali ruoli il Dottore di ricerca in M3AI dispiegherà le competenze orizzontali acquisite per gestire l'innovazione e creare le condizioni per uno sviluppo sostenibile.

Per la carriera futura, si individuano principalmente tre direttrici: 1. proseguimento dell'attività di ricerca a livello post-dottorale presso istituti di ricerca Italiani ed esteri; 2. impiego presso aziende private principalmente all'interno di centri di ricerca e sviluppo, ma anche in altre funzioni aziendali come per esempio, la produzione e la gestione della catena logistica, il marketing, il controllo aziendale; 3. impiego presso società di servizi di consulenza di processo e/o strategica.

Infine, i futuri Dottori di ricerca potranno essere candidati naturali alla gestione di progetti di ricerca industriale, costituendo un fattore fondamentale di collegamento e di collaborazione tra aziende ed università.

1.6 Coerenza con PNRR

La ricerca svolta nell'ambito del corso di Dottorato in M3AI ha un impatto chiaro sull'obiettivo generale di supportare la società verso una reale transizione ecologica e digitale.

Il corso di Dottorato è allineato nelle sue finalità con le indicazioni del PNRR, che indica, tra le principali direzioni di sviluppo: tecnologie, sistemi e modelli di business in grado di accelerare la transizione verso l'economia circolare mediante l'implementazione di processi di manufacturing, *remanufacturing* e riciclo a basso impatto ambientale, calcolato lungo tutto il ciclo di vita del componente; processi e sistemi di produzione di alta precisione caratterizzati da zero-difetti e zero-scarti; processi produttivi innovativi ad alta efficienza e per la sostenibilità industriale (come ad esempio l'integrazione tra tecnologie *additive* e *subtracting*); sistemi produttivi evolutivi e adattativi per la produzione personalizzata, in linea con le missioni 1 e 2 del PNRR.

Tramite l'integrazione di una parte prettamente tecnologica e tecniche di *Life Cycle Assessment (LCA)*, si punterà alla progettazione e allo sviluppo di processi e prodotti a basso impatto ambientale. La riduzione dell'impatto ambientale è perseguibile anche attraverso lo sviluppo di macchine e sistemi capaci di



convertire, in maniera sempre più efficiente, l'energia disponibile da fonti rinnovabili e attraverso l'uso di materiali bio-compositi a bassa densità ed elevate prestazioni meccaniche nonché attraverso lo studio di sistemi di propulsione ibridi avanzati che costituiscono passaggi fondamentali verso una mobilità realmente sostenibile. Più in generale, per quanto riguarda lo sviluppo di infrastrutture per la mobilità sostenibile, il corso di dottorato abbraccia anche temi relativi alla progettazione delle reti di distribuzione e di consegna nelle aree urbane (ultimo miglio) e il dimensionamento e la localizzazione degli impianti di distribuzione e delle infrastrutture di supporto.

In ambito aerospaziale, lo sviluppo di modelli analitici, numerici e computazionali sarà rivolto allo studio di: materiali, componenti e strutture per applicazioni aerospaziali con l'obiettivo di migliorarne la sicurezza e ridurre il peso; problemi fluidodinamici e di interazione fluido-struttura, al fine di migliorare l'efficienza aerodinamica dei velivoli e sviluppare dispositivi di *energy harvesting*, per esempio da micro-eolico; funzionamento di propulsori aerospaziali, al fine di migliorarne efficienza e ridurre i consumi.

Il Dottorato affronta i temi di sostenibilità e transizione ecologica anche con approccio di filiera, sviluppando modelli orientati al riutilizzo degli scarti, alla riduzione degli sprechi e dei consumi di risorse naturali, alla riduzione dell'impatto sociale delle filiere produttive, anche attraverso lo sviluppo di filiere inclusive in grado di garantire la coesione sociale e territoriale nonché la salute e la sicurezza dei lavoratori. Questo ultimo tema interseca anche l'area tematica della Salute, ossia quella finalizzata ad allineare le filiere per l'erogazione dei servizi sanitari ai bisogni di cura dei cittadini e dei lavoratori. L'esigenza di nuovi e più efficienti modelli di filiere in ambito sanitario è emersa in occasione della recente emergenza pandemica e ha messo in luce l'importanza di un approccio integrato alla gestione dei processi e dei flussi informativi, ciò al fine di garantire servizi personalizzati e mirati sulle reali esigenze dei pazienti. In tale ambito ricadono anche gli aspetti legati alla riduzione e alla prevenzione delle malattie professionali, inquadrati in una visione *human-centric* che colloca l'operatore umano al centro del sistema produttivo intelligente promosso da Industria 4.0. Il corso di Dottorato affronta i temi che ricadono nell'ambito dell'obiettivo Salute anche attraverso la ricerca condotta nell'ambito biomedico e con le competenze orizzontali spendibili nell'ambito della Sanità.

Come descritto negli obiettivi generali del corso di dottorato, le competenze orizzontali sviluppate durante il percorso dottorale sono permeate dagli obiettivi del PNRR. Esse riguardano principalmente l'economia e la gestione dell'innovazione tecnologica, la gestione strategica e quella operativa, la finanza e il marketing, le metodologie di *decision making* che trovano ampia applicazione nei processi decisionali complessi sia delle imprese che delle pubbliche amministrazioni (incluso il comparto sanità).

In particolare, alcuni ambiti di ricerca estremamente significativi riguardano l'impatto economico-gestionale delle tecnologie digitali e la transizione verso modelli di economia sostenibile, sia dal punto di vista ambientale che socio-economico. L'incremento del livello di innovazione tecnologica è "*research-driven*", volto al miglioramento della competitività del tessuto imprenditoriale Italiano, a una gestione più efficiente e efficace della PA e, infine, a un maggiore sviluppo socio-economico della società nel suo complesso.

2. Pianificazione delle attività di didattica e ricerca

2.1 Attività formative e calendarizzazione

Al fine del raggiungimento degli obiettivi del Corso, il percorso formativo include attività diversificate che tengono conto della necessità dei Dottorandi di acquisire conoscenze e competenze specialistiche di livello avanzato, ma al contempo garantiscono un contesto di formazione e di ricerca inter- e trans-disciplinari. Pertanto, sono state individuate diverse tipologie di attività (Tabella 1) descritte nel progetto di accreditamento e dettagliate in uno specifico Regolamento relativo ad ogni ciclo del corso approvato dal Collegio dei Docenti. Le attività sono differenziate da quelle che caratterizzano i percorsi formativi di I e II livello. Nello specifico, le attività previste sono: insegnamenti attivati nell'ambito di Corso di Dottorato; corsi di perfezionamento linguistico; seminari specialistici e di orientamento su metodologia e strumenti della



ricerca e conoscenza dei sistemi di finanziamento; *summer/winter school*, convegni e *workshop*, periodi di formazione e di ricerca in Italia e all'estero presso università, enti di ricerca (pubblici o privati) e imprese qualificate; attività di ricerca e redazione della tesi; corsi e *stage* presso enti ed imprese qualificate.

L'attività formativa si svolge in modo da garantire al Dottorando i seguenti obiettivi minimi nei tre anni: alla fine del primo anno, una matura consapevolezza della letteratura riguardante il proprio argomento di ricerca; alla fine del secondo anno, lo sviluppo del contributo innovativo che si intende apportare alla letteratura, possibilmente anche attraverso una fattiva e attiva collaborazione con gruppi di ricerca di istituzioni estere, che si completerà al terzo anno con la stesura della tesi di Dottorato.

Ogni anno il Dottorando, di concerto con il proprio Tutor, elabora una proposta di massima (almeno 45 CFU) di attività formative da svolgere (o eventualmente già svolte) entro 3 mesi dall'immatricolazione per il primo anno ed entro 10 giorni dall'inizio del nuovo anno di studi per gli anni successivi, e lo trasmette alla Coordinatrice. Il piano delle attività formative potrà essere modificato o integrato nel corso dell'anno, motivando le modifiche, previo parere positivo del Tutor e della Coordinatrice.

L'attività formativa del Dottorando è suddivisa in Attività Didattica (AD) e Attività di Ricerca e Formazione Accademica (ARFA). Nel triennio, il Dottorando è tenuto ad acquisire complessivamente 180 CFU, in ragione di 51-69 CFU per ogni anno. In particolare, 41-49 CFU relativi ad AD e 131-139 CFU relativi ad ARFA. È previsto il conseguimento di almeno 18 CFU di AD nel primo anno del corso di Dottorato e di almeno 9 CFU nel secondo anno. L'allegato 1 specifica le tipologie di AD e ARFA, riportando una breve descrizione delle stesse, la relativa corrispondenza in CFU e il range di CFU da acquisire nei tre anni (se non diversamente specificato).

I Dottorandi vengono coinvolti in attività di formazione inerenti alle capacità di comunicazione e disseminazione con la partecipazione a *workshop* e congressi.

L'approfondimento linguistico è garantito dalle attività erogate dal Centro Linguistico di Ateneo (CLA) o attraverso la fruizione di corsi *online* disponibili gratuitamente per gli studenti dell'Ateneo di Palermo (*Rosetta stone*) (Tabella 3).

Il Dottorato in M3AI fa parte della Scuola di Dottorato di Ricerca recentemente istituita presso l'Ateneo di Palermo che tra l'altro coordinerà alcune attività formative dei corsi di dottorato, soprattutto attraverso l'organizzazione di attività trasversali (es. attività interdisciplinari, attività imprenditoriale, *open science*, obiettivi dello sviluppo sostenibile, formazione all'imprenditoria, accesso a finanziamenti competitivi, formazione alla didattica, *citizen science*) (Tabella 4), coinvolgendo anche il Centro per l'Innovazione e il Miglioramento della Didattica Universitaria (CIMDU) e il Centro di Studi Avanzati di Ateneo e anche attori interni ed esterni all'Ateneo.

2.2 Attività di supervisione del Dottorando

Il Collegio all'inizio del corso, considerato il progetto di ricerca del Dottorando, gli obiettivi di ricerca del DI e l'eventuale fonte di finanziamento della borsa di Dottorato, assegna ad ogni Dottorando un Tutor ed eventualmente un Co-Tutor, come previsto dal comma 5 dell'art 13 del Regolamento di Ateneo.

Su proposta del Tutor, sentito l'eventuale Co-Tutor, il Collegio individua un docente del Collegio, denominato Referee.Tutor (R.Tutor), il quale viene informato con cadenza semestrale del percorso formativo del Dottorando dall'interessato stesso e a cui fornirà un feedback. Qualora le competenze specifiche richieste dal progetto di ricerca del Dottorando non dovessero essere rintracciate tra i membri del Collegio, il R.Tutor potrà essere un esperto esterno al Collegio e operante in istituzioni universitarie o centri di ricerca.

In occasione della verifica annuale delle attività (dettagliate nell'art. 4 del regolamento interno del Dottorato), dopo la presentazione che il Tutor farà al Collegio sull'attività svolta dal Dottorando assegnato, il R.Tutor esprimerà un parere critico sul lavoro svolto. A tal fine, il R.Tutor riceverà dal Dottorando la relazione



sulle attività svolte, almeno 15 giorni prima della data di convocazione del Collegio dei Docenti per la verifica annuale. In caso di criticità riscontrate in merito alla maturità scientifica del Dottorando o alle attività svolte in relazione al raggiungimento dei requisiti minimi per l'ammissione agli anni successivi o alla prova finale (Art.4 del Regolamento del corso), il R.Tutor informa il Tutor e il coordinatore che insieme individueranno almeno 2 componenti del Collegio a cui sottoporre la relazione del Dottorando al fine di una più approfondita e istruita discussione durante la presentazione del Dottorando. In ogni caso, il R.Tutor fornirà al Dottorando un riscontro entro sette giorni, esprimendo eventuali dubbi e proponendo eventuali azioni correttive.

Tabella 1. Tipologia di attività formative ed equivalenza in CFU-Attività Didattica AD (41-49 CFU)

Tipologia	Descrizione sintetica	N di ore/giornate per CFU	N. di CFU nei tre anni
Conoscenze linguistiche	<p>Corsi di lingua Inglese/Italiano/o altra lingua organizzati dal CLA anche attraverso la piattaforma Rosetta Stone.</p> <p>https://www.unipa.it/amministrazione/direzione generale/servizi speciale internazionalizzazione/u.o. controllo linguisticodatenoe/</p> <p>(L'obiettivo è di far conseguire allo studente madrelingua italiano un livello C1 in inglese, qualora già in possesso di un C2 o se il raggiungimento di tale livello non dovesse saturare i CFU previsti per questa attività, il Dottorando può dedicare il numero di CFU residui allo studio di un'altra lingua).</p> <p>Lo studente straniero non italiano, raggiunto un livello minimo B2 in inglese, dovrà destinare l'eventuale numero di CFU residui allo studio della lingua italiana e dovrà comunque raggiungere almeno un livello A2.</p>	10 ore	3-6
Conoscenze informatiche	<p>Corsi interdisciplinari organizzati dal Dipartimento di Ingegneria</p> <p>(In fase di definizione)</p>	8 ore	Min 3



	PYTHON, MATLAB M3AI/ICT: Big-data Analytics – Machine learning - IOT – Block chain – Industry 4.0		
Gestione della ricerca, della conoscenza dei sistemi di ricerca e dei sistemi di finanziamento	Corsi organizzati dall'Ateneo https://www.unipa.it/amministrazioni/direzionegenerale/serviziospecialericercadiateneo/carta-europea-dei-ricercatori/	8 ore	Min 3
Valorizzazione dei risultati della ricerca e della proprietà intellettuale	Corsi organizzati dall'Ateneo https://www.unipa.it/amministrazioni/direzionegenerale/serviziospecialericercadiateneo/carta-europea-dei-ricercatori/	8 ore	Min 3
Insegnamenti mutuati da corsi di laurea magistrale	https://offweb.unipa.it/offweb/pubblic/corso/ricercaSemplice.seam	Come definito nella scheda di trasparenza del corso	9-18 (almeno due corsi)
Insegnamenti ad hoc per dottorandi di ingegneria	Corsi interdisciplinari organizzati dal Dipartimento di Ingegneria - Metodologie di ricerca - Analisi statistica di dati - Metodi numerici per l'ingegneria TBC (in fase di definizione)	Come definito nella scheda del Corso	5-20
Insegnamenti ad hoc per dottorandi M3AI	Corsi specialistici organizzati dal Collegio di Dottorato o da altre Istituzioni accademiche e di ricerca	Come definito nella scheda del Corso	3-10
Seminari	Seminari su temi caratterizzanti il Dottorato e un ciclo di seminari al terzo anno rivolto ad agevolare il placement del dottore di ricerca	8 ore	0-6
Summer School	Ph.D. Summer School organizzate dalle associazioni dei settori scientifico disciplinari del corso	1 giornata	0-18



Tabella 2 Attività di Ricerca e Formazione Accademica ARFA (131-139 CFU)

Tipologia	Descrizione sintetica	Equivalenza ore/giornate/articolo scientifico/poster/relazioni per CFU	N. di CFU nei tre anni
Attività di ricerca individuale (teorica, analitica, computazionale)	Non strettamente supervisionata e non ricompresa nell'impegno per le attività sotto elencate	25 ore = 1CFU	Max 40
Attività sperimentali o di laboratorio	Attività sperimentali o di laboratorio pertinenti il progetto di ricerca del Dottorando	15 ore = 1 CFU	Max 40
Stage	Attività di tirocinio in azienda o ente di ricerca (compreso Tutor didattico)	25 ore = 1 CFU	0-6
Supervised research activity	Attività di ricerca affiancata dal Tutor o da esperti del settore	6 ore = 1 CFU	20-40
Partecipazione a convegni e workshop	Attività pertinenti al progetto di ricerca e da concordare col Tutor	1 giornata = 1 CFU	3-15
Preparazione relazione per convegno	Attività pertinenti al progetto di ricerca e da concordare col Tutor	1 relazione = 2 CFU	2-10
Preparazione poster per congresso	Attività pertinenti al progetto di ricerca e da concordare col Tutor	1 poster = 2 CFU	0-4
Preparazione articolo di ricerca per congresso	Attività pertinenti al progetto di ricerca e da concordare col Tutor	1 articolo = 5 CFU	10
Preparazione articolo di ricerca su rivista	Attività pertinenti al progetto di ricerca e da concordare col Tutor	1 articolo scientifico = 10 CFU	10
Attività di sostegno alla didattica	Max 40 ore l'anno di didattica erogata Altre attività di supporto alla didattica (co-tutoraggio tesi, ricevimento studenti, assistenza attività didattica – correzione elaborati, etc.)	3 ore di didattica erogata = 1 CFU 15 ore di supporto (tesi, ricevimento, etc.) = 1 CFU	1-15 (per anno)



	Tutoraggio (bando Unipa)	20 ore = 1 CFU	
Attività di Tutorato e di sostegno all'orientamento, alla divulgazione scientifica e contaminazione dei saperi	All'interno di queste attività sono comprese tutte quelle iniziative che coinvolgono attivamente il Dottorando nel comunicare il proprio progetto di ricerca ai colleghi, ai docenti del Collegio e agli studenti delle lauree magistrali di maggiore riferimento. Sarà promossa la contaminazione dei saperi con l'obiettivo di creare sinergie e importazione di metodologie tra i vari ambiti.	8 ore = 1 CFU	1-5
Periodo di ricerca all'estero	Il Dottorando dovrà svolgere un periodo di ricerca non inferiore a 6 mesi e non superiore a 12 mesi (18 nel caso di dottorato in co-tutela o doppio titolo)	20 giorni = 1 CFU	Minimo 18 (9 dal xxxviii ciclo)
Preparazione tesi	La preparazione della tesi consiste nella redazione di una collezione critica del lavoro di ricerca svolto nei tre anni	15 ore = 1 CFU	20

Tabella 3. Insegnamenti erogati dal Corso di Dottorato e loro calendarizzazione

Course title	Number of CFU	Number of hours of frontal lectures	Course coordinator/lecturer(s)	Brief synopsis	Tentative period	Language
Computational Modelling of Composite and Heterogeneous Materials	1	8	Prof. Ivano Benedetti, Prof. Alberto Milazzo	The course will introduce some recent developments on computational modelling of composite and polycrystalline materials, with a focus on the analysis of damage and fracture problems. Some specific concepts and techniques, such as the Generalized Unified Formulation for multilayered composites modelling and Cohesive Zone Modelling for the analysis of damage and fracture initiation in heterogeneous materials, will be introduced and recent and prospective applications will be discussed. Applications to low- and high-cycle fatigue, hydrogen embrittlement, multifunctional materials will be discussed.	May	IT/EN
Introduction to causal analysis	1	8	Dott. Salvatore Marcantonio	The Course aims at introducing causal analysis through graphical models according to Judea Pearl's methodology. It will cover: preliminaries, statistical and causal models, graphical models and their applications, the Effects of interventions, counterfactuals and their Applications. Theoretical arguments will be shown along with exercises and software presentation.	May-June	IT

Fundamentals of Life Cycle Engineering techniques	1	8	Prof. Giuseppe Ingarao	The course aims at providing skills concerning products environmental impact analysis. The whole product life cycle as well as the inventory techniques for each phase life will be analyzed. The concept of material embodied energy, as well as the idea of dominant phase of a product/component life cycle will be analyzed. Life Cycle engineering (LCE) techniques will be presented as means to identify environmentally friendly solution while designing products/components. Comparatives industrial case studies will be thoroughly analyzed. Also, the Circular Economy paradigm will be analyzed; specifically, several Circular Economy strategies concerning the case of aluminum alloys Reuse/Recycle will be presented.	May	EN
Non-Destructive Evaluation for Industry 4.0	1	8	Prof. Carmelo Mineo	This course will discuss the evolution of Non-Destructive Evaluation (NDE) for the assessment of industrial production in the landscape of Industry 4.0. As it has happened in the history of industrial development, NDE will be critical for the success of the fourth industrial revolution, by providing the database needed for feedback in a networked production environment. This course will present a review of the recent scientific literature and of several current-day challenges (informatization, digitalization, standardization, networking, etc.) that are being tackled to adapt NDE to the requirements of the rising industrial revolution.	March	EN
Research Methods	1	8	Prof. Giovanni Battista Dagnino	The PhD course in research methods is aimed to buttress students in achieving an insightful appreciation of the essence and unfolding mechanisms underlying the research process and engender the fundamental preconditions to develop the skills required to conduct inquiry and write scholarly research publishable in top-	June	EN

				level academic journals. The targeted knowledge to achieve is concerned with the ability to execute separate parts of 'normal science' projects within professional standards including the basic guidelines for understanding theory construction and development, literature review and qualitative design.		
Multi-sided platform business models	1	8	Prof. Paolo Roma	The PhD course will provide an overview of the logic of multi-sided platforms and their business models. In a world where more and more businesses have been re-organized as multi-sided (platform) markets, the main purpose of the course is to offer PhD students a broad understanding of how multi-sided platforms can generate a competitive advantage and enhance marketability of new products and technologies. By exploring several important types of economy/business models enabled by Internet and organized as multi-sided platforms, such as sharing economy, app market, crowdfunding, the course will offer a set of guidelines on how to take advantage of multi-sided platforms in different fields of application to support innovation.	June	ENG
Sustainability Management	1	8	Prof. Erica Mazzola	The PhD course aims to provide PhD students with the knowledge and skills necessary to critically analyze sustainability initiatives within companies and contribute to the development of robust sustainability management practices. Through theoretical discussions and practical case studies, students will delve into the reasons why companies today are increasingly aware of sustainability issues. This awareness is driven, in part, by the prevalence of greenwashing scandals and the increasingly evident impacts of climate change. Furthermore, students will explore the motivations behind companies' desires to	February	ENG



				disclose their sustainability efforts to stakeholders. Additionally, the PhD course aims to examine the various tools and strategies available to companies for sustainability disclosure, and will learn how to analyze a sustainability report.		
Sailing Tomorrow	1	8	Prof. Antonio Mancuso	The PhD course will provide an overview of the design methodology in the field of sailing yacht particularly concerning high speed boats. The new opportunities provided by the use of lifting surfaces (the so-called foils) changes the design paradigm dramatically. An intensive use of advanced software aimed to improve both aero/hydro dynamics and structural performances become mandatory. During the course will be faced problems as far as shape, structures and rigging of a regatta sailing yacht are concerned. Will be show how the integration of CAD, FEM and CFD software allows designer to reach the final result in a faster way.	February	ENG

<p>Computer Modeling of Cardiovascular Problems</p>	<p>1</p>	<p>8</p>	<p>Prof. Salvatore Pasta</p>	<p>Computational modeling can revolution the way we diagnose and treat cardiovascular diseases. While medical drugs can reduce the risk of heart diseases, biomedical devices play a key role in managing cardiovascular problems. Just as in other industries, the efficacy of biomedical device and treatments can be greatly improved by using computer aided engineering (CAE). However, when compared with other industries, the biomedical engineering has been lagging in its adoption of CAE, in part due to the challenges in modeling the complexity human system and in the absence of published standards. In this course, the numerical challenges in the development of computer models for simulating the heart mechanics under normal and pathological conditions will be addressed. The role of patient-specific segmentation from medical images, the adaptation of constitutive models for simulating the electro-fluid-mechanical interaction of the myocardium and the selection of boundary conditions will be presented. Simulations of structural heart valve diseases and aneurysm physiopathology will be shown. The need for verification and validation of computer models according to the recent ASME VV40 will be presented.</p>	<p>July</p>	<p>IT or EN upon request</p>
--	-----------------	-----------------	-------------------------------------	---	-------------	------------------------------



<p>Concept of measurement and related qualification in terms of uncertainty in engineering processes</p>	<p>1</p>	<p>8</p>	<p>Prof. Francesco Scardulla</p>	<p>No measurement provides an exact number and thus, several measurements performed in identical conditions provide different results. Hence the importance of the correct quantification of uncertainty in the technological, scientific and commercial fields, which calculation is regulated by international agreements and procedures. In this course, you will learn what information you need to calculate uncertainty, how to identify contributors to uncertainty, and how to evaluate your calculations to prevent overestimating or underestimating uncertainty. This course is highly recommended for all students who have never faced the concept of measurement uncertainty.</p>	<p>March-June</p>	<p>IT or EN upon request</p>
<p>Innovation in measurements: from the concept of the device to the design of a business model</p>	<p>1</p>	<p>8</p>	<p>Prof. Francesco Scardulla</p>	<p>During a PhD course or after its conclusion, it is possible to come up with an idea/technology that is believed to be innovative or revolutionary. Unfortunately, the only idea is not enough to bring it to the market through the launch of a startup. People don't know the steps and they are often intimidated by the whole process, letting the ideas die without any chance. In this course you will learn how to evaluate your business idea and protect it from potential competitors and what are all the first steps to take to found a start-up and let investors believing in it. The main topics that will be covered are: how to write an executive summary and a business model, how to build a pitch and how to present it, investments options, how to properly write a patent. The last lesson will be devoted to a practical pitch session.</p>	<p>March-June</p>	<p>IT or EN upon request</p>

Sustainable Logistics and Transportation	1.5	12	Prof. Simona Mancini	The course will present the main issues arising in green and sustainable logistics and will analyze viable solutions to this issue, which include both the exploitation of more sustainable resources (such as electric vehicles) and a smarter usage of available resources. We will discuss the main advantages and disadvantages of exploiting electric vehicles, the issues to manage when dealing with such vehicles (en-route recharging planning, recharging slots reservation, recharging stations location) both in freight delivery and in public transport. The impact of different incentives, such as the introduction of toll zones or restricted areas for fuel-engine vehicles, will be discussed in details. Furthermore, open challenges and latest advances in City Logistics (multi-echelon distribution systems for long-haul transportation, collaboration among carriers, closed loop supply chains) will be discussed. Hints about reverse logistics will be provided. The course will integrate lectures with discussion of recent journal papers reporting latest advances in the literature.	February-March	EN
Advanced Mathematical Modeling for complex decision problems	1.5	12	Prof. Simona Mancini	The aim of the course is to give the students advanced modeling skills that can allow them to be able to provide mathematical formulations for decision problems they can face in their research field. The first part of the course will provide the needed knowledge to transform a textual description of a decision problem into a mathematical formulation. The second part will address specific problems such as production and scheduling problems, packing problems and vehicle routing problems. Given a single problem, different formulations will be provided and analyzed. Techniques to provide smarter formulation (i.e. formulations that can solve quicker the problems to	April-May	EN

				the optimality) will be presented. Hints about formulations strengthening techniques and exact solving methods will be provided.		
New trends in future metrology: measurements of non-physical quantities (measuring the unmeasurable)	1	8	Prof. Leonardo D'Acquisto	The measurement of quantities according to perception is of great interest for the optimal characterization of the interaction of persons with their living and working environment. It formally conflicts with the definition of physical quantity (PQ): " A physical quantity is a physical property of a material or system that can be quantified by measurement". Despite that, there is growing interest to a new approach to the development of a theory of measurements for non-physical quantities (NPQs). For these measurements it is not possible to ensure traceability because of their exclusive nature as substantiated by the subject. NPQs exist in the immaterial world in the sense they exist only in the mind of people either as a reflection of properties of real material world or as a personal understanding of the subject. Measurements of PQs and NPQs have clearly different fields of application. So, NPQ) have different fields of application. Measurements of NPQ are: a way to perceive the material world through its reflection in human minds and a way to perceive the immaterial world of each person through its understanding (or lack of understanding) by other people.	February	IT or EN upon request
Sensors 4.0 - smart sensors and measurement approach for Industry 4.0	1	8	Prof. Leonardo D'Acquisto	Industrial Internet of Things (IIoT) or its related denomination Industry 4.0 are two widespread used terms to indicate the actual revolution in the industrial approach involving automation and control. On the ground of data generated at all levels of the production processes, disruptive improvements are made possible in	June-July	IT or EN upon request

				terms of process quality, efficiency, productivity and flexibility. Smart sensors are the basic step providing added value to the measurement information which enables new process functionality in terms of self-monitoring and self-configuration to condition monitoring of complex processes. Today's smart sensors, in this sense, are the fourth measurement revolution moving from the basic mechanical and thermal sensors like dynamometer spring scale and liquid expansion thermometer.		
The Power of Many: Advancing Innovation Through Crowdsourcing	1	8	Prof. Mariangela Piazza	The course delves into the theory, methods, and implications of crowdsourcing for innovation. It equips students with a comprehensive understanding of how crowdsourcing leverages collective intelligence to tackle complex problems and drive innovation across various domains. Through case studies and discussions, students will explore the intricacies of designing, managing, and analyzing crowdsourcing initiatives. By the end, students will be adept at harnessing diverse crowds to generate novel ideas, solve challenges, and pioneer groundbreaking innovations.	May	EN
Engineering applications of the CFD analysis	1.5	12	Dott. Antonino Cirello	The course will introduce some engineering applications of CFD analysis focusing even on specific hints to conduct consistent fluid dynamics analysis. Turbulence models, mesh characteristics and correct modeling of the boundary conditions will be introduced. Examples of these applications will be presented.	November	IT or EN upon request



Prosthetic Implants and Design Methods: from clinical requirement to manufacturing	1.5	12	Ing. Agostino Igor Mirulla	The proposed course aims to provide the workflow in the design and development of prosthetic limb, upper and lower limb implants that takes into consideration clinical, biocompatibility, and static and dynamic stress resistance requirements. The course will include theoretical notions pertaining to bone remodeling and osseo-integration, surface finishes for the interaction of metallic and/or polymeric materials with biological tissues. In addition, image recognition, CAD modeling and numerical simulation software will be used for practical application of the knowledge gained.	November	IT
Innovative non-destructive testing techniques: Laser ultrasound and Laser thermography	1	8	Dott. Nicola Montinaro	Continuous technological advancements in the quest for new materials and high-performance manufacturing methods must be supported by effective quality control techniques. It is then crucial to develop methods that can be applied on the production line and for regular, non-invasive, and non-contact inspections to monitor and characterize material defects. This seminar will cover traditional non-destructive control techniques and introduce the innovative laser ultrasonic and laser thermography inspection technique, comparing it with other control methods and discussing its progress and applications in 3D printing parts, composite materials, and railway sector inspection. Depending on the number of participants, there may be an optional visit to the non-destructive inspection laboratory.	October	IT or EN upon request



Tabella 4. Attività trasversali organizzate dalla Scuola di Dottorato dell'Università di Palermo

Titolo corso	Periodo
Come scrivere un paper scientifico	Ogni primo Lunedì dei mesi pari
Come scrivere un progetto di ricerca	
La gestione della ricerca e della conoscenza dei sistemi di ricerca europei e internazionali	
Valorizzazione e disseminazione dei risultati di ricerca	
Proprietà intellettuale e dell'accesso aperto ai dati e ai prodotti della ricerca	

Il Tutor affianca il Dottorando non solo nella fase propositiva delle attività formative annuali, ma anche attraverso il continuo supporto nelle attività di formazione e di ricerca, con l'inserimento del Dottorando nella comunità scientifica di riferimento, sostenendolo anche nella creazione di *network* e collaborazioni e fornendo strumenti utili alla proposizione di ricerche e progettualità oltre che alla redazione di pubblicazioni di articoli scientifici e/o monografie.

Al termine di ogni anno, il Dottorando presenta al Collegio una relazione scritta sulle attività formative svolte, controfirmata dal Tutor. Un elenco delle eventuali attività di tutorato e di didattica integrativa svolte viene allegato alla relazione. Inoltre, l'attività di ricerca condotta durante l'anno viene presentata oralmente al Collegio dei Docenti per la valutazione dell'ammissione agli anni successivi o alla procedura per l'accesso all'esame finale. Per l'ammissione all'esame finale, con valutazione positiva del Collegio da inviare alla Commissione per l'esame finale, il Dottorando deve avere pubblicato un articolo coerente con la tesi di dottorato in una rivista ISI almeno Q2 e presentato a conferenza un paper. Il Collegio, sentito il Tutor e tenendo conto della valutazione del R.Tutor, delibera sull'ammissione/valutazione positiva in base alla relazione delle attività svolte, alla discussione e al raggiungimento dei requisiti minimi previsti dal Regolamento del corso. L'ammissione/valutazione positiva implica il riconoscimento dei CFU presenti nella relazione delle attività formative svolte. Il Collegio dei Docenti può comunque riconoscere i CFU anche in caso di non ammissione.

2.2 Risorse finanziarie e strutturali

Per le proprie attività di formazione e ricerca, i Dottorandi hanno assegnato dall'Ateneo di Palermo, all'inizio dell'anno, un budget pari al 10% della propria borsa di studio annuale. Da prassi, inoltre, i Dottorandi vengono inseriti nei progetti di ricerca di Tutor e Co-Tutor, consentendo così non solo il supporto di risorse finanziarie necessarie per il pieno svolgimento della loro attività di formazione e ricerca, nonché la divulgazione e la disseminazione dei risultati, ma anche l'integrazione nei gruppi di ricerca in un contesto nazionale ed internazionale. A tal proposito, si sottolinea come il Collegio dei Docenti e i Tutor e Co-Tutor garantiscono che la ricerca svolta dai Dottorandi generi prodotti direttamente riconducibili ad essi, favorendo la pubblicazione dei risultati della ricerca in articoli su riviste scientifiche, valorizzati anche attraverso l'acquisizione di crediti formativi.



I Dottorandi del corso M3AI hanno una postazione in uffici condivisi con altri dottorandi generalmente associati per aree tematiche.

3. Monitoraggio e miglioramento delle attività

3.1 Sistema di monitoraggio dei processi e dei risultati relativi alle attività di ricerca, didattica e terza missione/impatto sociale e di ascolto dei Dottorandi

Il monitoraggio ha luogo attraverso l'analisi del percorso formativo e di ricerca dei Dottorandi, ivi compresi i periodi di ricerca all'estero, della partecipazione a congressi, della qualità e quantità della produzione scientifica dei Dottorandi. Nello specifico, il Corso di Dottorato si avvale dei seguenti indicatori per monitorare i risultati conseguiti dai Dottorandi e dai Dottori di Ricerca:

- percentuale di iscritti e iscritte al primo anno di Dottorato che hanno conseguito il titolo di accesso in altro Ateneo;
 - 1 iscritto
- percentuale di iscritti e iscritte al primo anno di Dottorato che hanno conseguito il titolo di accesso all'estero:
 - 20% come lo scorso anno
- percentuale di dottori e dottoresse di ricerca che hanno trascorso almeno tre mesi all'estero;
 - 100%
- percentuale di borse di studio finanziate da Enti esterni;
 - una borsa finanziata da enti esterni come lo scorso anno anche se con l'opportunità PNRR le aziende preferisco cofinanziare con questo strumento.
- percentuale di dottori e dottoresse di ricerca che hanno trascorso almeno sei mesi del percorso formativo in Istituzioni pubbliche o private, diverse dalla sede dei Corsi di Dottorato di Ricerca (include mesi trascorsi all'estero);
 - 100%
- numero di prodotti della ricerca generati dai dottori e dalle dottoresse di ricerca entro un anno dalla conclusione del percorso;
 - 1 articolo su rivista e 1 articolo per conferenza coerentemente con il nostro regolamento interno
- presenza di un sistema di rilevazione delle opinioni dottorandi durante il corso e ad un anno dall'ottenimento del corso; suo utilizzo nell'ambito della riformulazione e aggiornamento del corso.
 - Utilizziamo quelli di Ateneo (sul modello ANVUR)

L'ascolto dei Dottorandi si effettua attraverso questionari della rilevazione delle opinioni dei Dottorandi; viene anche rilevata l'opinione dei Dottori di Ricerca. Il Collegio dei Docenti adotta a tal fine i questionari di Ateneo.

Il Collegio dei Docenti nomina, per ciascun ciclo, una Commissione di Assicurazione della Qualità (AQ), costituita da un Docente che non faccia parte di Commissioni AQ dei Corsi di Studio e da un rappresentante dei Dottorandi. La Commissione AQ, insieme al coordinatore e al Collegio dei Docenti, si occupa della gestione dell'assicurazione della qualità del Corso di Dottorato. Nello specifico, la Commissione analizza i questionari, propone azioni migliorative, ne verifica l'efficacia, tiene sotto controllo la validità della progettazione e la pianificazione di azioni di miglioramento. In queste azioni, la Commissione AQ aggiorna e si interfaccia con la coordinatrice e riferisce all'intero Collegio sugli esiti dei questionari e delle consultazioni e delle azioni migliorative proposte.



Per la rilevazione delle opinioni dei Dottorandi e dei Dottori di Ricerca, il Collegio dei Docenti adotta i questionari di Ateneo.

Il Collegio dei Docenti nomina, per ciascun ciclo, una Commissione di Assicurazione della Qualità (AQ), costituita da un Docente che non faccia parte di Commissioni AQ dei Corsi di Studio e da un rappresentante dei Dottorandi. La Commissione AQ, insieme al coordinatore e al Collegio dei Docenti, si occupa della gestione dell'assicurazione della qualità del Corso di Dottorato. Nello specifico, la Commissione analizza i questionari, propone azioni migliorative, ne verifica l'efficacia, tiene sotto controllo la validità della progettazione e la pianificazione di azioni di miglioramento. In queste azioni, la Commissione AQ aggiorna e si interfaccia con il coordinatore e riferisce all'intero Collegio sugli esiti dei questionari e delle consultazioni e delle azioni migliorative proposte.

3.3 Consultazione delle parti interessate

Il Corso di Dottorato si avvale di consultazioni periodiche con i portatori di interesse per garantire un continuo allineamento dei Corsi di Dottorato alle dinamiche del mercato di sbocco e prevede di raccogliere le informazioni degli *stakeholder* (dottorandi, alumni, aziende e università presso cui i nostri dottorandi svolgono parte del loro percorso di dottorato) in modalità differenziata (al termine dell'esperienza, per quanto riguarda imprese e università, in base ai questionari di rilevazione della qualità per i dottorandi, a distanza di uno e due anni dal conseguimento del titolo per gli alumni).

I risultati della rilevazione delle opinioni dei Dottorandi e dei Dottori di Ricerca, insieme a quelli della consultazione dei portatori di interesse, vengono analizzati *in primis* dalla Commissione AQ e poi discussi dal Collegio dei Docenti. Gli strumenti adottati per il monitoraggio e, in particolare, i suggerimenti delle parti interessate e le proposte di miglioramento dei Dottorandi consentono di acquisire informazioni utili per l'aggiornamento dei percorsi formativi e di ricerca e per garantire il loro adeguamento ai profili scientifici e di alta formazione espressi dal mercato del lavoro, tenendo conto anche dell'evoluzione culturale e scientifica delle aree di riferimento e le potenzialità di sviluppo. Le azioni migliorative vengono monitorate per valutarne l'efficacia.