

---

### 7.6.3 Cluster 3: Materiali, Superfici e nanoFabbricazione

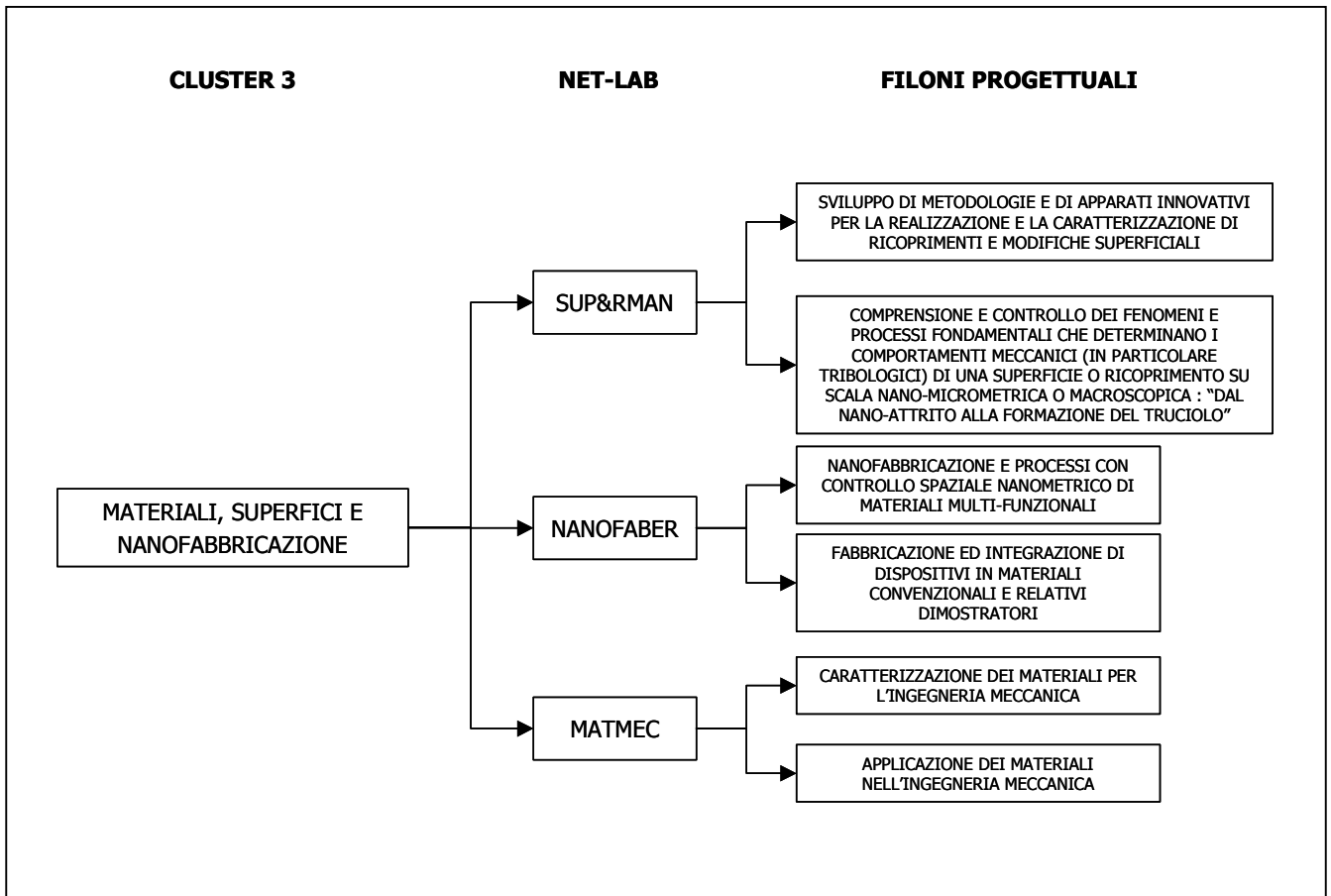
Il contesto economico-industriale della regione Emilia-Romagna gode tradizionalmente di un chiaro e forte impegno nel settore della meccanica, meritandosi di diritto una posizione di rilievo tra le province più produttive e dinamiche del territorio nazionale. La definizione di "packaging valley" da un lato, e l'eccellenza in settori quali quelli dei trasporti e della fabbricazione di impianti industriali dall'altro, rappresentano alcune indicazioni sull'importanza del settore meccanico in regione. D'altronde anche il numero delle aziende operanti nel settore (oltre 28.000, fonte Unioncamere, Movimprese, 2002) costituisce un dato importante per comprenderne il ruolo centrale nell'economia dell'Emilia-Romagna (oltre un terzo del valore aggiunto regionale è ascrivibile al settore industriale).

All'interno di questo contesto, la scelta dei materiali e la strutturazione delle superfici condizionano in maniera profonda l'efficiente ed efficace progettazione e fabbricazione dei prodotti meccanici. Infatti, la competizione globale e la crescente pressione al miglioramento tecnologico ed innovativo dei prodotti industriali, oggi sempre più pervasive in quasi tutti i settori merceologici, sta generando nuove esigenze da parte delle aziende quali: attenzione a soluzioni tecnologiche miniaturizzate sempre più performanti e generazione di importanti addizionalità applicative (proprietà meccaniche e fisiche migliori; minori costi di fabbricazione; minore impatto ambientale; ecc.). Per questo motivo, al vecchio modello fondato sulla standardizzazione del processo/prodotto, si sta velocemente sostituendo il nuovo paradigma basato sulla conoscenza, in cui la risorsa intellettuale (intesa come ricerca applicata) rappresenta il vero valore aggiunto per le imprese.

L'interesse principale deve quindi orientarsi verso quelle attività di ricerca che meglio possono sostenere ed incentivare lo sviluppo di originali applicazioni nell'ambito dei materiali e delle superfici. La base di partenza per l'individuazione del cluster è rappresentata dall'esistenza di un già vasto e qualificato tessuto di competenze e attività presente nel territorio della Regione nel campo delle superfici dei solidi, del miglioramento delle proprietà dei materiali e della nanofabbricazione.

Sfruttando le competenze già sviluppate e, allo stesso tempo, individuando le questioni di futuro interesse strategico per le aziende (attraverso un'indagine calibrata del tessuto produttivo regionale e l'attuale impegno della ricerca), è stato possibile identificare sei filoni di ricerca su cui si incentrerà la futura attività del cluster. La figura seguente illustra la struttura operativa del cluster.

**Schema del cluster**



I laboratori a rete (SUP&RMAN, NANOFABER, MATMEC) appartenenti al cluster rappresentano strumenti di importanza strategica per le emergenti esigenze delle imprese del settore meccanico. Le richieste delle aziende fanno riferimento in misura sempre maggiore a:

- materiali con proprietà migliori di resistenza alla fatica, alla frattura, all’usura e alla corrosione in condizioni operative più severe
- trattamenti superficiali che oltre ad abbattere i problemi ecologici caratterizzanti i tradizionali trattamenti galvanici, riducano i costi di manutenzione e permettano di riciclare le superfici usate utilizzando nuovi ricoprimenti;
- ottimizzazione e controllo dei parametri di processo;
- ottimizzazione dell’omogeneità e dell’adesione dei rivestimenti superficiali;
- individuazione di metodologie di misura non distruttive dei ricoprimenti.

La scelta dei sei filoni tematici è stata suggerita dalla crescente necessità di “mettere a sistema” gli sforzi di ricerca delle diverse strutture della regione (dipartimenti e centri) al fine sia di ottenere una massa critica che garantisca il *break-through* della ricerca sia di evitare inutili duplicazioni di risorse sia in termini di tempo sia in termini di competenze.

---

La matrice interdisciplinare del cluster vuole incentivare un efficiente e duraturo sistema di collaborazione tra le strutture di ricerca che garantisca continuità degli obiettivi perseguiti e perseguibili e riduzione sostanziale delle tempistiche necessarie a raggiungere i risultati applicativi.

Si vuole, dunque, offrire un punto di riferimento di eccellenza che possa garantire un supporto alle imprese sia a breve periodo (secondo l'accezione di *problem solving*) sia a lungo periodo (secondo l'accezione di *knowledge-based*).

Il cluster affronterà, quindi, temi tecnologici e di ricerca che sono completamente trasversali alle diverse categorie produttive del settore meccanico in quanto connessi con la caratterizzazione dei materiali e delle superfici di parti meccaniche che interagiscono come elementi integrati di un impianto o di una macchina.

In breve i Net-Lab MATMEC, SUP&RMAN e NANOFABER sono chiamati a produrre significativi progressi tecnologici nei materiali utilizzati dalle industrie, migliorando le proprietà funzionali quali la resistenza all'usura, alla corrosione, all'erosione e all'ossidazione delle superfici di parti meccaniche che possono trovare impieghi critici o strategici all'interno della intera gamma di prodotti del settore metalmeccanico.

In specifico, le caratteristiche principali che definiscono le complementarità tra l'attività dei singoli net-lab e il mondo industriale sono descritte qui di seguito.

**SUP&RMAN.** L'addizionalità di questo Net-Lab si trova nella grande rilevanza che i trattamenti superficiali hanno per tutti i settori della metalmeccanica, ma in particolare per i costruttori di macchine utensili, macchine automatiche e robot. Infatti, nel settore meccanico il ricorso ai trattamenti superficiali è molto comune e la necessità di nuove soluzioni per ottenere materiali sempre più performanti diventa fondamentale per la competitività del settore. Inoltre le tecnologie utilizzate attualmente per i trattamenti superficiali sono a fortissimo impatto ambientale, quindi la ricerca e lo sviluppo di trattamenti innovativi che sostituiscano le tecnologie esistenti e riducano l'impatto ambientale delle lavorazioni è di primario interesse.

Oltre a quanto indicato, l'industria si è già dimostrata interessata ad un trattamento nano-microscopico delle superfici e dei rivestimenti capace di determinare i comportamenti macroscopici.

A tali problematiche il laboratorio si impegna a fornire risposte e risultati concreti che possano essere implementati velocemente all'interno delle industrie meccaniche, generando così un'accelerazione economica e qualitativa del settore.

**NANOFABER.** Il conferimento di funzionalità specifiche ai materiali attraverso lo sviluppo di processi sostenibili è uno degli obiettivi primari della nanotecnologia. Esistono materiali multifunzionali, in cui proprietà meccaniche e strutturali coesistono con proprietà elettroniche, ottiche, magnetiche. La capacità di utilizzare queste proprietà dipende dal controllo del materiale sulla scala molecolare-nanometrica.

Lo sviluppo di materiali multifunzionali è di grande interesse per molteplici settori. In particolare i temi di maggiore interesse riguardano lo sviluppo di attuatori e manipolatori e coatings ad alte prestazioni per i prodotti del settore metalmeccanico.

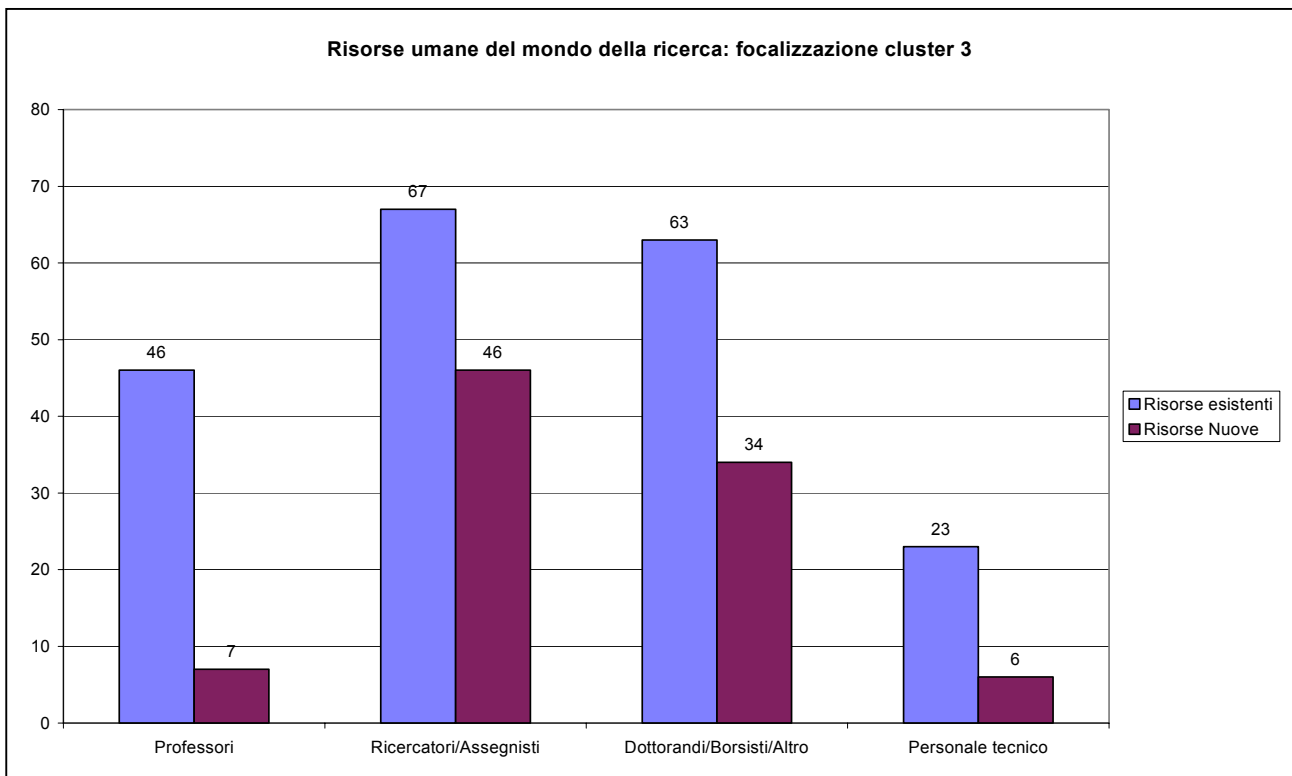
Il laboratorio a rete NANOFABER, attivo nel campo della nanofabbricazione, mette a disposizione delle aziende competenze di eccellenza proprio nella strutturazione dei materiali su scala nanometrica, essendo in grado così di modificare le proprietà dei materiali in funzione di una molteplicità di applicazioni e di realizzare dispositivi con nuove funzionalità proprie di questa classe di materiali.

**MATMEC.** Una costante nel fabbisogno di innovazione delle imprese metalmeccaniche è la ricerca di materiali con proprietà migliori di resistenza alla fatica, alla frattura, all'usura e alla corrosione in

condizioni operative più severe, come pure di materiali innovativi, che presentino proprietà adatte ad aprire la strada a nuove, più leggere e più efficienti applicazioni in campo meccanico. La progettazione, i processi di produzione, le lavorazioni, i trattamenti termici e meccanici, la caratterizzazione e criteri di scelta dei materiali e le strategie per applicazioni specifiche delle imprese meccaniche saranno i principali beneficiari delle risorse del Net-Lab MATMEC.

### Risorse del cluster

Il grafico seguente riassume, in maniera qualitativa, le risorse umane che sono state ritenute necessarie per il corretto funzionamento dell'attività del cluster dei laboratori a rete. Il cluster dovrà coinvolgere circa 290 persone, di cui poco meno di duecento sono già presenti all'interno delle strutture partecipanti, mentre i restanti dovranno essere selezionati all'avvio del progetto.



Grande affidamento viene attribuito alle "giovani leve" (ricercatori e assegnisti), considerato quale motore trainante allo sviluppo di nuove soluzioni innovative. Da sottolineare la necessità di reclutare nuovi tecnici di laboratorio al fine di rafforzare la manutenzione e l'affidabilità delle sofisticate apparecchiature, esistenti (ma fino ad oggi non pienamente valorizzate) e nuove, che i laboratori a rete utilizzeranno per svolgere la propria attività di ricerca.

Il grafico testimonia, inoltre, la percentuale di minoranza di nuovi professori (ordinari ed associati). Ciò è giustificato dal ruolo di *seniority* che verrà svolto da questi ultimi, già adeguatamente coperto dalle risorse presenti all'interno delle strutture del cluster.

Allo scopo di comprendere maggiormente l'attività dei tre net-lab che attualmente stanno trovando una prima aggregazione come cluster dei materiali e delle superfici, si descrivono nei paragrafi successivi la struttura e l'attività specifica di ciascuno di essi.

### 7.6.3.1 Net-Lab: SUPerfici & Ricoprimenti per la Meccanica Avanzata e la Nanomeccanica (SUP&RMAN)

#### Mission

La missione del laboratorio a rete consiste principalmente nelle seguenti attività:

- ◆ creare valore aggiunto, attraverso la struttura a rete, al vasto e qualificato tessuto di competenze e attività già esistente nel territorio della Regione nel campo delle superfici dei solidi e loro interazioni, delle modifiche e trattamenti superficiale e dei ricoprimenti finalizzati ad una ampia gamma di funzionalità;
- ◆ orientare tale complesso di competenze e attività verso aspetti e temi che siano di supporto alla più generale missione del Distretto High-Tech sulla meccanica avanzata;
- ◆ produrre un avanzamento delle conoscenze di grande impatto tecnologico sulla realtà produttiva della Regione.

Questi obiettivi si vogliono realizzare attraverso tre principali azioni:

- ◆ la promozione di un significativo avanzamento e di una reale integrazione della ricerca di base e applicata;
- ◆ la creazione di linguaggi e competenze trasversali tra gli attori della ricerca e tra questi e il mondo produttivo;
- ◆ l'acquisizione di strumentazione che consenta di affrontare tematiche innovative ad un livello di eccellenza nazionale ed internazionale.

La superficie è, infatti, il luogo in cui si localizzano i fenomeni e i processi più rilevanti inerenti all'interazione dei materiali tra di loro e con l'ambiente circostante (gas, liquidi, campi e gradienti di sforzo meccanico, campi e gradienti di temperatura, onde elettromagnetiche, particelle cariche, ecc.). Si intende quindi acquisire una approfondita conoscenza e una reale capacità di controllo di tali fenomeni e processi, al fine di poter piegare le superfici a svolgere le funzioni richieste in un grande numero di applicazioni industriali in tutti i settori della meccanica.

Si vuole, inoltre, colmare due gap fondamentali:

- ◆ quello tra la descrizione macroscopica e la descrizione microscopica dei processi coinvolti nelle superfici e loro modifiche e ricoprimenti;
- ◆ quello tra competenze teoriche e modellizzazione da un lato, e conoscenze empiriche (di base o applicative) dall'altro.

Sarà anche cura del laboratorio frequentare alcune aree di frontiera, tra cui si ricordano: i ricoprimenti sottili e ultrasottili; i ricoprimenti di oggetti micro-nanometrici per la micro-nanomeccanica; i trattamenti termici ad altissima temperatura, i sistemi di deposizione innovativi (misti, a bassa temperatura, ad elevata resa, di elevato rispetto ambientale, ecc.). Questo ultimo aspetto, cioè la salvaguardia ambientale, sarà un tema comune in tutte le attività. Si ricorda per esempio che ridurre significativamente gli attriti muove esattamente in questa direzione, dato che le perdite di energia per attrito pesano per circa l'1.6% sul prodotto interno lordo dei paesi sviluppati (H. P. Jost, *Wear*, 136, 1, 1990).

## **I filoni – descrizione**

<b>1. Sviluppo di metodologie e di apparati innovativi per la realizzazione e la caratterizzazione di ricoprimenti e modifiche superficiali</b>
---

Questa tematica è relativa ad un'eccellenza scientifica già esistente, matura ed ampiamente documentata, per la quale da un lato è necessario il mantenimento di una attività di studio di alto livello, dall'altro lato è necessario l'avvio (per alcuni settori) e l'implementazione (per altri aspetti) di una attività orientata al trasferimento tecnologico.

Quella relativa alle superfici ed ai trattamenti superficiali è una delle aree scientifiche e tecnologiche che negli ultimi 10 anni ha avuto l'espansione maggiore. Quest'area comprende la progettazione e la realizzazione di rivestimenti superficiali e di tecnologie per la deposizione, lo studio delle interfacce sepolte e la caratterizzazione delle superfici, lo studio dei processi che intervengono nelle modifiche superficiali e lo sviluppo delle relative tecnologie, infine aspetti rilevanti relativi alla quantificazione.

La ricerca di nuove soluzioni va nella direzione di ottenere prodotti con prestazioni migliori, un minore uso di materie prime, diminuendo lo spessore dei rivestimenti superficiali, pur garantendo proprietà tribologiche e funzionali ottimali, di eliminare o ridurre il ricorso a tecniche di deposizione così dette "bagnate" (elettrodeposizione galvanica), in considerazione del loro forte impatto ambientale e degli alti costi di trattamento e smaltimento dei fanghi residui del bagno galvanico.

La ricerca di tecnologie pulite alternative può, quindi, produrre un numero crescente di vantaggi concreti quali minori consumi di risorse, minori costi legati agli incidenti ambientali ed alle sanzioni, migliori condizioni lavorative e di salute degli operatori, miglioramento dei rapporti con una pluralità di soggetti (quali clienti, fornitori, banche, società di assicurazione), possibilità di usufruire di finanziamenti agevolati.

Uno dei settori maggiormente coinvolti in questa rivoluzione tecnologica è quello meccanico, dove il ricorso ai trattamenti superficiali è molto comune e la necessità di nuove soluzioni per ottenere materiali sempre più performanti diventa fondamentale per la competitività del settore.

Lo sviluppo della tematica e delle sue principali attività costitutive (WP) viene schematizzata in Figura 7.13.

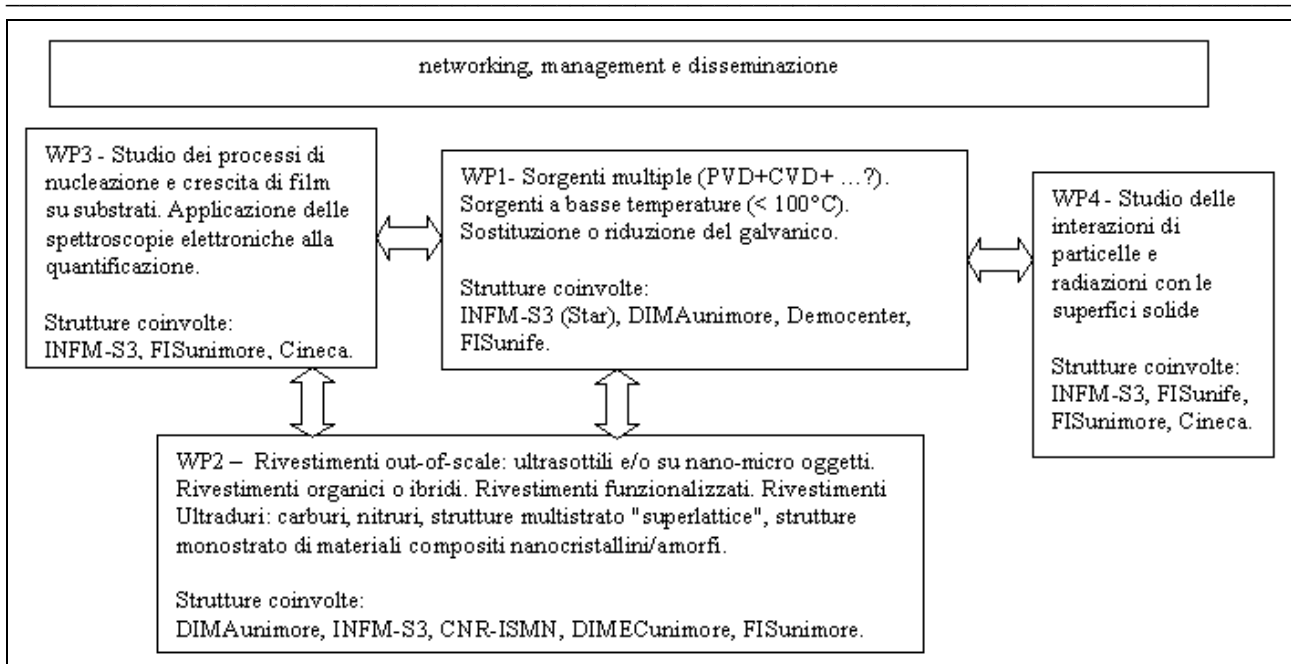


Figura 7.13 – Modellizzazione del filone di ricerca in base ai corrispondenti Workpackages

2. Comprensione e controllo dei fenomeni e processi fondamentali che determinano i comportamenti meccanici (in particolare tribologici) di una superficie o ricoprimento su scala nanometrica o macroscopica : "dal nano-attrito alla formazione del truciolo"

Questa tematica si riferisce ad un campo di ricerca non ancora pienamente sviluppato ma per il quale si prevede un futuro interesse applicativo.

La recente conquista delle nanoscienze ha aperto la via alla realizzazione e sviluppo di sofisticati dispositivi tecnologici capaci di testare le proprietà microscopiche dei materiali e di fornire numerosi dati sperimentali sui processi di attrito su scala nanoscopica, gettando così luce su quella che è oggi considerata la sfida scientifica e tecnologica di maggiore interesse della tribologia moderna: disegnare un ponte fra le diverse lunghezze di scala in gioco, quelle dei fenomeni macroscopicamente osservabili da una parte e le leggi fisiche alla base delle interazioni microscopiche dall'altra. La maggiore difficoltà in questo contesto è legata al fatto che scendendo alle dimensioni nanometriche un semplice processo di riduzione di scala non è più adeguato, e occorre pensare in modalità radicalmente nuova.

All'interno di questo filone di ricerca si rende così necessario l'approfondimento di tematiche miranti alla comprensione di base dei fenomeni tribologici coinvolti. Attraverso l'implementazione simultanea di metodologie teorico-sperimentali, e lo sviluppo di strumentazioni e tecniche di misurazione sarà possibile trattare in maniera esaustiva (e differenziata) tutti i diversi aspetti delle problematiche emergenti. Al tempo stesso, occorre approfondire lo studio e la conoscenza dei fenomeni e comportamenti macroscopici, avanzando di pari passo con un'attività sperimentale sempre più capace di quantificare gli osservabili e con una attività teorica di modellizzazione.

Di particolare rilievo sarà l'attività rivolta ad un trattamento nano-microscopico delle superfici e dei rivestimenti capace di determinare i comportamenti macroscopici. Legato a questo aspetto è il problema della nano-microstrutturazione su ampie superfici come quelle di interesse nella macro-meccanica.

Lo sviluppo della tematica e delle sue principali attività costitutive (WP) viene schematizzata in Figura 7.14.

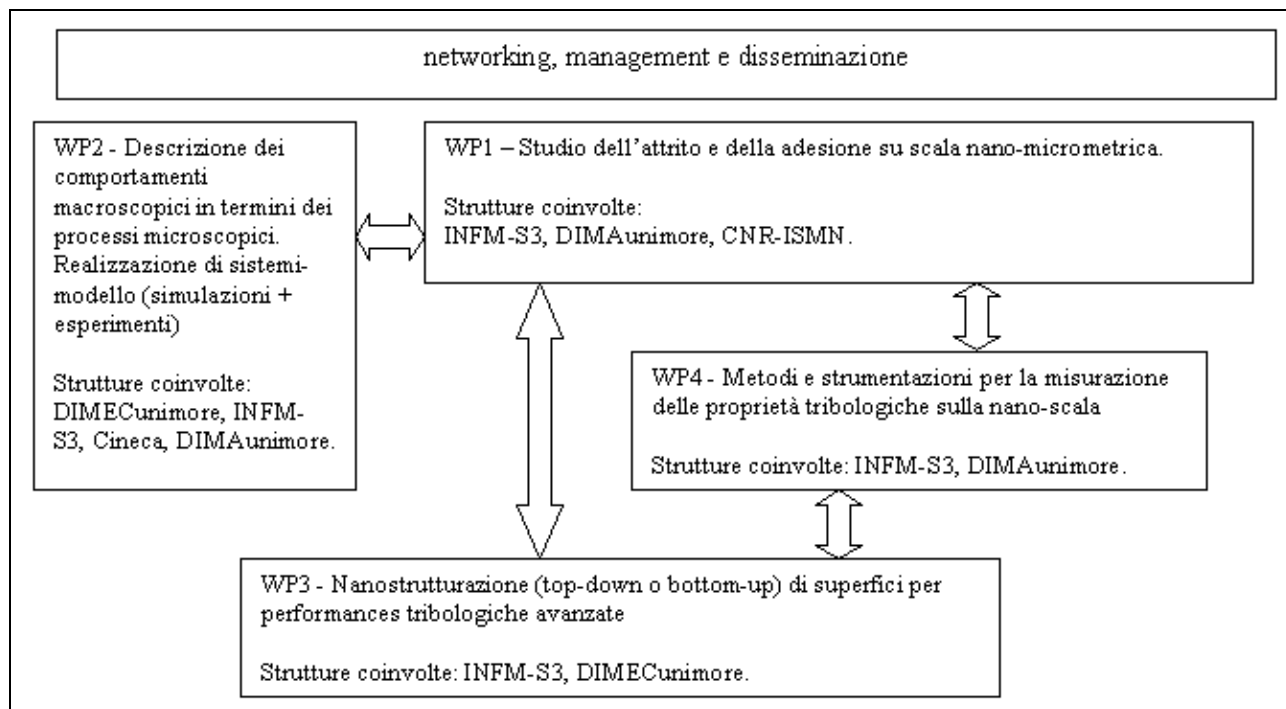


Figura 7.14 - Modellizzazione del filone di ricerca in base ai corrispondenti Workpackages

## Soggetti coinvolti

Il net-lab opererà attraverso una stretta interconnessione delle strutture che lo compongono. I rapporti scientifici entro la rete (in parte esistenti, in parte da consolidare, in parte da creare) sono mostrate in Figura 7.15 in modo schematico.

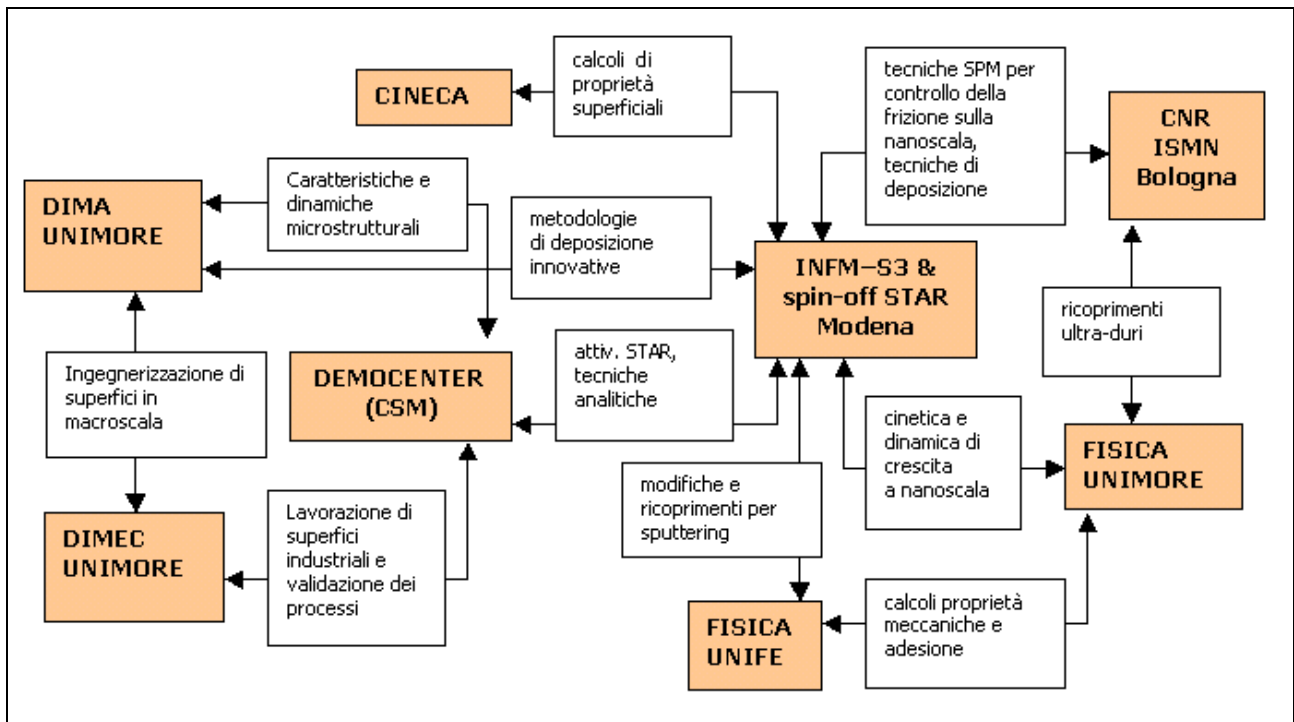


Figura 7.15 - Rapporti esistenti entro la rete del net-lab

Il net-lab rappresenta il risultato finale del contributo di diverse strutture universitarie e centri di ricerca, riportati in Tabella 7.17.

La proposta di attività promossa dal net-lab ha già suscitato l'interesse di numerose imprese, particolarmente legate alle tematiche di ricerca del laboratorio. Tali aziende vengono presentate nelle tabelle 7.18 e 7.19 qui di seguito, separate rispettivamente per i due specifici filoni di ricerca.

<b>INFM – Modena</b>	⇒	National Research Center on nanoStructures and bioSystems at Surfaces (S <sup>3</sup> )
<b>Università di Modena e Reggio Emilia</b>	⇒	Dipartimento di Fisica DIMEC – Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile DIMA – Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e dell’Ambiente
<b>Università degli Studi di Ferrara</b>	⇒	Dipartimento di Fisica
<b>CNR – Bologna</b>	⇒	ISMN, Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati
<b>DEMOCENTER (CSM)</b>	⇒ ⇒	Centro servizi per l’innovazione, Modena Centro Sviluppo Materiali - Consorzio, insediato presso la struttura di Democenter, attivo nella ricerca industriale per le aziende nel campo dei materiali
<b>CINECA – Bologna</b>	⇒	Consorzio Interuniversitario per il Calcolo Automatico dell’Italia Nord Orientale

Tabella 7.17 – Strutture di ricerca del net-lab SUP&amp;RMAN

### Macro-filone 1: Sviluppo di metodologie e di apparati innovativi per la realizzazione e la caratterizzazione di ricoprimenti e modifiche superficiali

N.	Azienda	Provincia	Attività	Partner con Capacità di Ricerca	Partner senza Capacità di Ricerca	Impresa User	Impresa Test-Bed
1	<b>AEP TRANSDUCERS</b>	MO	Progettazione e produzione di celle di carico, trasduttori di pressione e strumentazione elettronica;	si			
2	<b>ALTER</b>	RE	Sviluppo di sorgenti e impianti a microonde e di potenza.	si			
3	<b>ARCOTRONICS NISSEI GROUP</b>	BO	Condensatori e macchine per produzione condensatori avvolti e staked			si	
4	<b>ASSOGALVANICA</b>	PD	Associazione riservata agli Imprenditori Galvanici o che abbiano nella propria azienda reparti galvanici e che intendono tutelare, promuovere e sviluppare il proprio settore di attività.			si	

<b>N.</b>	<b>Azienda</b>	<b>Provincia</b>	<b>Attività</b>	<b>Partner con Capacità di Ricerca</b>	<b>Partner senza Capacità di Ricerca</b>	<b>Impresa User</b>	<b>Impresa Test-Bed</b>
5	<b>CROMODURO</b>	MO	Rivestimenti galvanici spessi in cromo (cromatura dura)			si	
6	<b>ECOMETAL</b>	PD	Consorzio per lo sviluppo sostenibile, coinvolge le aziende di trattamenti di superficie e le loro aziende fornitrici per avviare ricerche e studi sulle caratteristiche del prodotto che vengono effettuate grazie ad istituti di ricerca di chiara fama.		si		
7	<b>FERRARI LABORATORIO MATERIALI</b>	MO	Costruzione veicoli ad elevate prestazioni	si			
8	<b>GAMBRO DASCO</b>	MO	Azienda che opera nel settore biomedicale, con grande interesse per rivestimenti superficiali e caratterizzazione di superfici	si			
9	<b>GAPEDUE</b>	MO	Produzione di stampi e ricambi per l'industria ceramica.			si	
10	<b>GFC CHIMICA</b>	FE	Azienda con l'obiettivo di studiare, ideare, produrre e commercializzare pitture, vernici, pellicole ed altri prodotti chimici innovativi, anche semilavorati, ad alto contenuto tecnologico, nonché procedure per la produzione e l'utilizzo dei prodotti suddetti.	si			
11	<b>HIGH VACUUM PROCESS</b>	PR	Sistemi, materiali e trattamenti superficiali da ultra alto vuoto.	si			
12	<b>MARAZZI GRUPPO CERAMICHE</b>	MO	Produzione materiali e semilavorati ceramici	si		si	

<b>N.</b>	<b>Azienda</b>	<b>Provincia</b>	<b>Attività</b>	<b>Partner con Capacità di Ricerca</b>	<b>Partner senza Capacità di Ricerca</b>	<b>Impresa User</b>	<b>Impresa Test-Bed</b>
<b>13</b>	<b>NEW HOLLAND</b>	MO	Sistemi movimento terra.			si	
<b>14</b>	<b>PIRELLI LABS</b>	MI	Pneumatici, cavi e sistemi energia, cavi e sistemi telecom	si			
<b>15</b>	<b>PROCHIMICA NOVARESE</b>	NO	Produzione e distribuzione degli ausiliari per la produzione ed il trattamento di prodotti tessili		si		
<b>16</b>	<b>R.T.L.</b>	MO	Azienda produttrice di stampi per l'industria ceramica.			si	
<b>17</b>	<b>SAMPUTENSILI</b>	BO	Macchine, utensili e servizi alle industrie produttrici di ingranaggi (dentatura, stozzatura, rettifica, smussatura/sbavatur, affilatura sbarbatori e lavorazione di ingranaggi conici, trattamenti superficiali).	si			
<b>18</b>	<b>TETRA PAK</b>	MO	Macchine per confezionamento e imballaggio.	si			

Tabella 7.18 – Aziende che hanno mostrato interesse verso il net-lab SUP&RMAN rispetto allo specifico filone di ricerca

**Macro-filone 2: Comprensione e controllo dei fenomeni e processi fondamentali che determinano i comportamenti meccanici (in particolare tribologici) di una superficie o ricoprimento su scala nano-micrometrica o macroscopica : "dal nano-atrito alla formazione del truciolo"**

<b>N.</b>	<b>Azienda</b>	<b>Provincia</b>	<b>Attività</b>	<b>Partner con Capacità di Ricerca</b>	<b>Partner senza Capacità di Ricerca</b>	<b>Impresa User</b>	<b>Impresa Test-Bed</b>
1	<b>ALTER</b>	RE	Sviluppo di sorgenti e impianti a microonde e di potenza.	si			
2	<b>ARCOTRONICS NISSEI GROUP</b>	BO	Condensatori e macchine per produzione condensatori avvolti e staked			si	
3	<b>ASSOGALVANICA</b>	PD	Associazione riservata agli Imprenditori Galvanici o che abbiano nella propria azienda reparti galvanici e che intendono tutelare, promuovere e sviluppare il proprio settore di attività.			si	
4	<b>CROMODURO</b>	MO	Rivestimenti galvanici spessi in cromo (cromatura dura)			si	
5	<b>ECOMETAL</b>	PD	Consorzio per lo sviluppo sostenibile, coinvolge le aziende di trattamenti di superficie e le loro aziende fornitrici per avviare ricerche e studi sulle caratteristiche del prodotto che vengono effettuate grazie ad istituti di ricerca di chiara fama.		si		
6	<b>FERRARI LABORATORIO MATERIALI</b>	MO	Costruzione veicoli ad elevate prestazioni	si			

<b>N.</b>	<b>Azienda</b>	<b>Provincia</b>	<b>Attività</b>	<b>Partner con Capacità di Ricerca</b>	<b>Partner senza Capacità di Ricerca</b>	<b>Impresa User</b>	<b>Impresa Test-Bed</b>
<b>7</b>	<b>GAMBRO DASCO</b>	MO	Azienda che opera nel settore biomedicale, con grande interesse per rivestimenti superficiali e caratterizzazione di superfici	si			
<b>8</b>	<b>HIGH VACUUM PROCESS</b>	PR	Sistemi, materiali e trattamenti superficiali da ultra alto vuoto	si			
<b>9</b>	<b>NEW HOLLAND</b>	MO	Sistemi movimento terra			si	

Tabella 7.19 – Aziende che hanno mostrato interesse verso il net-lab SUP&RMAN rispetto allo specifico filone di ricerca

## Programmazione

### **Programmazione temporale di lungo periodo**

Si intende prima di tutto mettere effettivamente ed efficacemente in rete l'esistente, in termini sia di competenze che di strumentazioni, estendendo l'integrazione a quelle componenti del net-lab non ancora inserite nella collaborazione, e strutturando più organicamente le collaborazioni già operative.

In seguito, si intende sviluppare e/o acquisire nuova strumentazione orientata sia a coprire carenze individuate che ad aprire nuove prospettive (le "frontiere" prima suggerite).

In parallelo, si intende sviluppare competenze avanzate con una attività di ricerca di alta qualificazione, orientata alle esigenze produttive della Regione ma scientificamente aperta e competitiva sullo scenario nazionale e internazionale.

Infine, si faranno passi significativi verso l'ingegnerizzazione di superfici e ricoprimenti e si avvierà una attività di disseminazione delle competenze, per una maggiore fruibilità da parte del mondo produttivo, delle conoscenze via via acquisite dal Laboratorio.

Da ultimo, va sottolineato che circa un 30% dell'attività del net-lab sarà presumibilmente proiettata (per quanto attiene all'influenza sul tessuto produttivo della Regione) su un orizzonte temporale più ampio di circa 6-10 anni.

Per comprendere meglio il flusso temporale delle attività delle principali tematiche che saranno sviluppate dal net-lab, si propone una rappresentazione tramite diagramma di GANTT.

	1 anno	2 anno	3 anno	4 anno	5 anno
WP1.1	■				
WP1.2		■			
WP1.3	■				
WP1.4	■				
WP2.1	■				
WP2.2			■		
WP2.3				■	
WP2.4		■			

Figura 7.16 – Programmazione temporale dell'attività del net-lab

Dove le sigle hanno i seguenti significati:

WP1.1- Sorgenti multiple (PVD+CVD). Sorgenti a basse temperature (< 100°C). Sostituzione o riduzione del galvanico.

WP1.2 – Rivestimenti out-of-scale: ultrasottili e/o su nano-micro oggetti. Rivestimenti organici o ibridi. Rivestimenti funzionalizzati. Rivestimenti Ultraduri: carburi, nitruri, strutture multistrato "superlattice", strutture monostrato di materiali compositi nanocristallini/amorfi.

WP1.3 - Studio dei processi di nucleazione e crescita di film su substrati. Applicazione delle spettroscopie elettroniche alla quantificazione.

WP1.4 - Studio delle interazioni di particelle e radiazioni con le superfici solide

WP2.1 – Studio dell'attrito e della adesione su scala nano-micrometrica

WP2.2 - Descrizione dei comportamenti macroscopici in termini dei processi microscopici. Realizzazione di sistemi-modello (simulazioni + esperimenti)

WP2.3 - Nanostrutturazione (top-down o bottom-up) di superfici per performances tribologiche avanzate

WP2.4 - Metodi e strumentazioni per la misurazione delle proprietà tribologiche sulla nano-scala

### ***Organizzazione progettuale dell'attività***

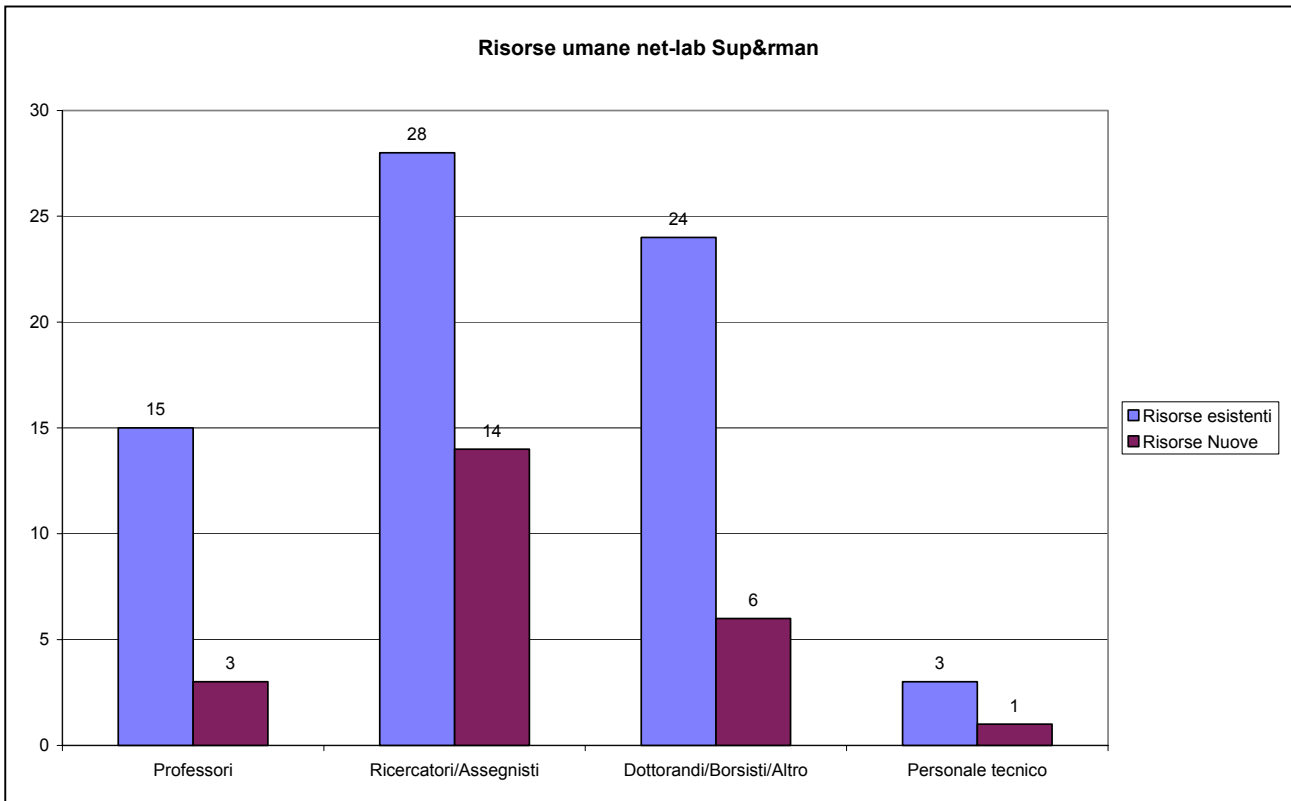
La modalità operativa del net-lab sarà quella progettuale, attraverso la preparazione e presentazione congiunta, da parte di due o più strutture, di specifici progetti, anche in collaborazione con realtà esterne al net-lab. In particolare, lo sviluppo progettuale prevedrà le seguenti tappe:

- ◆ Progetto 1: sviluppo di sorgenti e metodologie innovative per ricoprimenti;
- ◆ Progetto 2: texturing di superfici per alte performances tribologiche;
- ◆ Progetto 3: studio dei meccanismi microscopici dell'attrito, connessione con i comportamenti tribologici macroscopici;
- ◆ Progetto 4: preparazione, caratterizzazione e performances di rivestimenti superduri: SiC + Nitruri + ecc.;
- ◆ Progetto 5: realizzazione di modifiche superficiali mediante ioni, elettroni, radiazioni;
- ◆ Progetto 6: studio delle proprietà nanomeccaniche di film sottili ;
- ◆ Progetto 7: preparazione di rivestimenti orientati all'utilizzo delle leghe leggere in applicazioni meccaniche;
- ◆ Progetto 8: progettazione e realizzazione di rivestimenti funzionalizzati al fine di ottenere microposizionatori, sensori di stress e strani;
- ◆ Progetto 9: preparazione e studio di rivestimenti organici o ibridi (organici-inorganici);
- ◆ Progetto 10: ingegnerizzazione di rivestimenti superficiali multiscala.

## Risorse umane

Dal punto di vista della generale organizzazione delle attività, un limite rilevabile è l'eccessiva parcellizzazione e dispersione delle competenze, cui ci si propone di ovviare sia attraverso la messa a rete dell'esistente sia concentrando una percentuale di interventi nel reperimento di nuove risorse umane e facilities su un numero molto limitato di nodi della rete.

La figura seguente evidenzia il numero di risorse nuove e già esistenti che il net-lab propone di mettere in campo, il cui complessivo ammonta a 94 unità.



## Facilities

### Attrezzature da realizzare attraverso il net-lab

Le principali carenze da un punto di vista strumentale sono identificate nel settore delle tecniche di deposizione multiple e/o a bassa temperatura, delle misure tribologiche su scala nanometrica, delle modifiche nano-microscopiche applicate su aree estese, dei trattamenti ad altissima temperatura, della quantificazione nelle procedure analitiche. Si prevede di ovviare a tali carenze attraverso specifici progetti per lo sviluppo di sorgenti di deposizione innovative, e la acquisizione di apparecchiature, tra cui indicativamente:

- ◆ Piattaforma unica per la misura delle proprietà tribologiche di superficie su scala nano-micrometrica con incluso AFM in aria.

- ◆ Strumentazione per la quantificazione.
- ◆ Sistema laser per modifiche superficiali controllate e nanopatterning su grande area.
- ◆ Sistema per micro-elettroerosione per la valutazione del comportamento di strati sottili in presenza di alti gradienti di temperatura.
- ◆ Sistema per Evolution Gas Analysis per monitorare la emissione di sostanze in stato gassoso durante la preparazione o nelle condizioni d'uso di superfici industriali.
- ◆ Forno in atmosfera controllata per trattamenti termochimici superficiali fino a 2500 C.

### **Attrezzature da condividere e sviluppare attraverso il net-lab**

In questo paragrafo vengono individuati i laboratori e le infrastrutture di cui il net-lab sarà in grado di usufruire grazie alla messa a sistema delle facilities già esistenti presso ciascuna delle strutture coinvolte. In particolare, questi laboratori sono:

- ◆ presso INFM-S3 e FISunimore:
  - laboratori di scienza delle superfici: in questi laboratori vengono preparate e caratterizzate le superfici di solidi monocristallini e policristallini mediante fasci ionici, elettronici, fotonici, e mediante deposizione controllata di ricoprimenti al fine di introdurre proprietà e funzioni specifiche. Le attrezzature presenti in questi laboratori hanno un valore stimato in 1500 k€.
  - laboratorio Focused Ion Beam: questo laboratorio è orientato alla preparazione di superfici e ricoprimenti micro e nano strutturati mediante erosione con fasci ionici focalizzati e mediante deposizione assistita con fasci ionici, al fine di modulare le proprietà meccaniche e di preparare substrati funzionalizzati per successive deposizioni. Valore dell'attrezzatura stimato in 750 k€.
  - laboratorio nano-bio: in questo laboratorio si sviluppano coatings di molecole organiche mediante chemisorbimento su substrati (ossidi e metalli) ottimizzati a problemi di biocompatibilità, adesione e frizione. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimato in 350 k€.
  - laboratorio calcolo: nel laboratorio si sviluppano codici per calcoli e simulazioni di strati sottili, superfici ed interfacce che coinvolgono materiali sia organici che inorganici, con metodi a principi primi, con lo scopo di interpretare i dati sperimentali e di delineare linee guida per esperimenti. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimato in 200 k€.
  - laboratorio Master: il laboratorio è utilizzato per la preparazione di materiali (prevalentemente ossidi metallici) in film spessi o multistrati con specifiche funzionalità, mediante tecniche di screen printing. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimato in 400 k€.
- ◆ presso FISunife:
  - apparato per rivestimenti mediante sputtering, orientato alla preparazione di film di elevate proprietà tribologiche;
  - apparato di microscopia a forza atomica per la caratterizzazione morfologica dei rivestimenti;

- 
- laboratorio per il calcolo dei modi acustici e delle proprietà meccaniche.
  - Le attrezzature del FISunife hanno un valore stimabile in 450 k€.
- ◆ presso DIMECunimore e DIMAunimore:
- laboratorio Tecnologico: il laboratorio è dotato delle strumentazioni per le principali prove tecnologiche volte alla caratterizzazione di manufatti e materiali. Oltre alla caratterizzazione meccanica sono disponibili attrezzature per valutare la difettosità interna, il modulo di Young mediante controlli non distruttivi, le condizioni superficiali (rugosità, colore ..) l'adesività e la resistenza all'abrasione di starti riportati. Sono inoltre presenti un impianto di elettrodeposizione e sistemi sia per la lavorazione meccanica e sia per la ricostruzione della matematica del manufatto per la verifica di modificazioni macroscopiche a seguito di ricoperture. Sono a disposizione software di analisi immagine, ricostruzione delle superfici, CAD, CAM, Cae, FEM, analisi cinematica. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimabile in 250 k€.
  - laboratorio analisi e trattamenti termici: nel laboratorio viene studiato il comportamento termico e termomeccanico dei materiali e delle superfici in diversi ambienti per l'ottimizzazione delle loro applicazioni. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimabile in 400 k€.
  - laboratorio liquidi: nel laboratorio viene studiato il comportamento ed il processo dei materiali plastici e delle superfici organiche, polimeriche e composite in diversi ambienti per l'ottimizzazione delle loro applicazioni. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimabile in 150 k€.
  - laboratorio CIRSM (Ingegnerizzazione di rivestimenti superficiali multiscala): nel laboratorio vengono realizzati rivestimenti superficiali su scala nanometrica e micrometrica e spessi attraverso tecniche elettrochimiche, di deposizione chimica e fisica ad alta temperatura. Le attrezzature presenti nel costituendo laboratorio hanno un valore stimabile in 500 k€.
- ◆ In stretta connessione, presso Democenter:
- laboratorio caratterizzazione materiali e superfici: il laboratorio è attrezzato per la caratterizzazione microstrutturale spinta e per lo studio delle dinamiche strutturali e microstrutturali dei materiali e delle superfici per applicazione industriale anche ad alta temperatura. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimabile in 400 k€.
- ◆ presso CNR-ISMN:
- sistema per deposizione Channel Spark Ablation: in questo apparato si realizzano deposizioni di materiali su opportuni substrati mediante ablazione da un target. Ciò viene realizzato con fasci estratti da un plasma ed accelerati in campi elettrici forti fino a 25 kV. Questo sistema ha un valore stimabile di 50 k€.
  - laboratorio SEM, STM e AFM: questi diversi apparati di microscopia permettono studi morfologici di superfici e ricoprimenti con un'altissima risoluzione spaziale. La microscopia AFM può essere usata per misurare le proprietà meccaniche dei film sottili; la microscopia SEM è un metodo veloce ed efficace per studiare la morfologia di superfici estese. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno complessivamente un valore stimabile in 250 k€.
-

◆ presso il CINECA:

- facilities di supercalcolo: insieme di calcolatori di diversa tipologia, composto da server multiprocessori di tipo MAIN FRAME, e server di calcolo tipo CLUSTER LINUX. Questa strumentazione è utilizzata per eseguire programmi di calcolo e simulazione dedicati alla fisica delle superfici. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimato in 20.000 k€, e si valuta che lavoreranno per il net-LAB per un 5% circa del tempo, per un valore dedicato pari 1.000 k€.

In particolare per molti di questi laboratori (Laboratori di scienza delle superfici, Laboratorio Master, Laboratorio per rivestimenti mediante sputtering, Laboratorio Tecnologico, Laboratorio analisi e trattamenti termici, Laboratorio caratterizzazione materiali e superfici) le imprese sono interessate ad avere un accesso diretto al fine di sviluppare la propria ricerca e sviluppo.

In aggiunta, il net-lab può contare sull'accesso al Centro Interdipartimentale Grandi Strumenti della Università di Modena e Reggio Emilia.

### 7.6.3.2 Net-Lab: NANO-FABbricazione - Emilia Romagna (NANOFABER)

#### Mission

La missione di NANOFABER è quella di creare, intorno ad un nucleo di competenze di alto livello internazionale, un laboratorio a rete dedicato alle nanotecnologie innovative quali tecnologie abilitanti per nuovi paradigmi produttivi nella meccanica avanzata. Si intende costituire un punto di riferimento nazionale ed internazionale particolarmente per le nanofabbricazioni con approcci 'bottom-up' quali le nanotecnologie molecolari, le tecniche non convenzionali per la fabbricazione di film sottili organici ed inorganici e di nanostrutture multifunzionali e i dispositivi basati su di esse. Un elemento chiave è rappresentato dallo sviluppo di strumenti innovativi per la nanofabbricazione, dallo sviluppo di tecniche per l'integrazione di questi materiali in manufatti e dispositivi convenzionali e di metodologie di analisi su scala nanometrica e per la nanomeccanica.

NANOFABER parte da competenze complementari interagenti tra loro nell'ambito di numerosi progetti nazionali, europei, ed industriali, che vengono integrate per creare una piattaforma tecnologica regionale per materiali multi-funzionali e strutturazione nanomeccanica nell'ambito del distretto high-tech sulla meccanica avanzata. Partendo da standard di eccellenza scientifica internazionale nei diversi gruppi che lo compongono, NANOFABER intende diventare un punto di riferimento nelle nanotecnologie a livello internazionale e punto di eccellenza per la regione Emilia-Romagna.

Si vuole realizzare questo attraverso diverse azioni:

- ◆ una ricerca interdisciplinare altamente integrata che porti ad avanzamenti di grande rilievo scientifico ed impatto tecnologico;
- ◆ la creazione di un forte rapporto con il mondo produttivo regionale attraverso progetti differenziati sia a breve (problem solving) sia lungo termine (knowledge-based);
- ◆ la acquisizione di strumentazione che porti alla creazione di un centro interdisciplinare di ricerca dotato di tutte le tecniche più avanzate;
- ◆ la disseminazione e divulgazione sistematica della ricerca svolta in NANOFABER alla società, ai giovani, e al mondo economico-produttivo.

La proposta NANOFABER si inserisce nel contesto dello sviluppo tecnologico ed industriale sostenibile in cui materiali, processi, e prodotti siano a basso costo, minimo impatto ambientale, ed al tempo stesso offrano proprietà nuove e migliori. Il conferimento di funzionalità specifiche ai materiali attraverso lo sviluppo di processi sostenibili è uno degli obiettivi primari della nanotecnologia. Esistono materiali multifunzionali, in cui proprietà meccaniche e strutturali coesistono con proprietà elettroniche, ottiche, magnetiche. La capacità di utilizzare queste proprietà dipende dal controllo del materiale sulla scala molecolare-nanometrica. Il raggiungimento di questo controllo passa attraverso:

- ◆ il *design* dei materiali volto a ingegnerizzare le proprietà attraverso la struttura del materiale e le sue interazioni, e la sua organizzazione su scala nanometrica;
- ◆ le tecniche di fabbricazione che permettono di conferire queste proprietà attraverso il controllo dimensionale e di integrare il materiale con il mondo esterno;
- ◆ lo sviluppo di strumenti di precisione nanometrica.

L'obiettivo finale del net-lab è quello di realizzare una piattaforma tecnologica che permetterà di fabbricare sistemi funzionali e dispositivi basati su materiali multifunzionali. Questa piattaforma

servirà a conferire nuove funzionalità specificatamente disegnate ad una varietà di substrati e manufatti di interesse tecnologico, in particolare nel campo della meccanica avanzata. La piattaforma tecnologica potrà servire da volano per stimolare l'utilizzo delle nanotecnologie in problemi di interesse per l'industria regionale, la produzione di nuovi prodotti e manufatti, e lo sviluppo di macchine e strumenti di precisione molto superiore a quella accessibile oggi e rendere il Distretto operativo ad ampio spettro nella nanofabbricazione di sistemi funzionali e dispositivi per manufatti di precisione ed "intelligenti". Il carattere altamente innovativo della proposta consiste nell'utilizzo globale di criteri di sostenibilità nei processi, prodotti e materiali.

La piattaforma tecnologica permetterà di sviluppare nuovi materiali e dispositivi con potenziale impatto a 360 gradi, nell'elettronica, l'optoelettronica, la fotonica, la meccanica (attuatori e manipolatori), memorie, catalisi, sensori, biomedicale, e coatings ad alte prestazioni. Questi si potranno integrare in prodotti nuovi od esistenti. Particolare attenzione sarà rivolta alle attività industriali ad elevato contenuto tecnologico presenti sul territorio, per stimolare e promuovere attraverso progetti comuni, il trasferimento di conoscenza, processi, macchine e prodotti. Lo scopo ultimo sarà quello di fare nascere un'industria regionale basata sulle nanotecnologie. Questa si avvantagerà della ricerca svolta nei centri di ricerca più avanzati e competitivi, sarà in grado di creare innovazione, e di attrarre personale giovane ed altamente istruito, con curricula adeguati alla ricerca internazionale e competizione nell'ambito delle nanotecnologie.

Il valore aggiunto del Net-Lab NANOFABER consiste nella valorizzazione di altissime competenze scientifiche e tecnologiche presenti in Università e Centri di Ricerca della Regione, impegnate nella costruzione di uno strumento nuovo ed unico in sinergia e con reciproco stimolo, con partner industriali attivi ed interessati a sviluppare una ricerca avanzata di alto valore aggiunto.

## **I filoni - descrizione**

### **1. Nanofabbricazione e processi con controllo spaziale nanometrico di materiali multi-funzionali**

Si svilupperanno le metodologie di crescita e fabbricazione di materiali multifunzionali con controllo dell'organizzazione su scale spaziali multiple, dai nm ai mm. Verranno usate tecnologie non convenzionali, principalmente bottom-up e possibilmente mediante dosaggio additivo dei componenti. Queste tecniche sono caratterizzate da basso costo, scalabilità su larga area, ripetibilità ciclica, e quindi trasferibili a produzioni di massa in prospettiva. Un aspetto importante di questa attività sarà la realizzazione di nanostrutture funzionali su substrati per l'industria meccanica, per passare dal manufatto convenzionale a quello intelligente. Film sottili di materiali attivi o passivi di semiconduttori organici verranno cresciuti con elevato controllo dello spessore (da <1nm) e dello morfologia mediante Organic Molecular Beam Deposition (OMBD).

Film di materiali inorganici verranno fabbricati mediante sistemi di crescita innovativi come la Channel Spark Ablation (CSA) o la Pulsed Laser Ablation (PLA) per la fabbricazione di film sottili di materiali ossidi complessi, di film buffer, di film di materiali organici elettroresistenti (teflon), di film ultraduri, di film di materiali biocompatibili.

Una particolare attenzione sarà dedicata alla crescita di nanotubi a singola parete per mezzo di una tecnica di CSA modificata.

Verrà investigata inoltre la tecnica di crescita Chemical Vapour Deposition (CVD) "templata" di nanotubi di carbonio per dispositivi nanoelettronici. In particolare verranno utilizzati nanostampi (nanotemplate) di allumina porosa altamente ordinati, con nanocanali paralleli tra loro e

perpendicolari alla superficie, ottenuti per autoorganizzazione durante l'ossidazione anodica di fogli o film di alluminio.

Si modificherà la natura chimica di superfici inerti al fine di modulare le interazioni con film sottili, adsorbati, nanostrutture, e al tempo stesso di conferire una funzionalità alla superficie. Nanostrutture con controllo della dimensione, della forma e dell'organizzazione spaziale, saranno costruite mediante auto-organizzazione di materiali multifunzionali, sfruttando fenomeni cooperativi (e.g. decomposizione spinodale, spinodal dewetting, aggregazione in fibrille lineari, crescita in regime di non-bagnabilità), superfici opportunamente funzionalizzate, controllo della cinetica dei processi di crescita e reologia in spazi confinati. La deposizione avverrà da vuoto o da soluzioni. Si useranno stampi e templati nanostrutturati per assistere l'auto-organizzazione in regioni spazialmente definite, e si utilizzeranno metodologie di allineamento per fabbricazioni a componenti multipli. Stampi e templati verranno realizzati mediante rapid prototyping mediante replica di matrici costruite con tecnologie top-down. L'autoassemblamento di strutture 3Dimensionali verrà effettuata mediante processi ripetuti a più stadi, o per segregazione di fase verticale, oppure partendo da templati costruiti per deposizione di unità mesoscopiche (sfere o cilindri di polistirene, macromolecole), la loro reticolazione e quindi l'infiltrazione con precursori inorganici e sostanze organiche solubili. L'attività di nanofabbricazione prevederà lo sviluppo di prototipi di macchine per operare i processi di fabbricazione in condizioni controllate, e di strumentazione per metrologia delle nanostrutture fabbricate. Questi prototipi potranno poi essere ingegnerizzati per produzione industriale, in base ai risultati della validazione del processo di fabbricazione.

## 2. Fabbricazione ed integrazione di nano-dispositivi in materiali convenzionali e relativi dimostratori

Per rendere "intelligente" un materiale o un manufatto convenzionale occorre potere integrare nel materiale dispositivi fabbricati con tecnologie a basso costo (afferenti al filone di ricerca precedente), ed indirizzarli, ovvero accedere all'informazione in essi contenuta. A questo scopo diventa importante disegnare architetture di dispositivi compatibili con i processi di fabbricazione e con i manufatti di interesse in cui l'informazione trasdotta dal materiale nanostrutturato (*sensing*) o lo stimolo ad esso inviato (attuazione) siano veicolati dal materiale al mondo esterno e viceversa.. Questi dispositivi saranno fabbricati con materiali multifunzionali, e quindi possono essere indirizzati mediante la loro risposta elettrica, ottica, magnetica o morfologica ad uno stimolo esterno. Saranno esplorati diversi tipi di dispositivi, in funzione del loro utilizzo. Per potere dotare un manufatto di micro-processori, memorie, sensori, occorre sviluppare dispositivi come transistor e memorie che siano non necessariamente veloci ma integrabili su superfici curve, compatibili con le caratteristiche manufatto (interfacce, processo, utilizzo, riciclaggio, tempo di vita). In questa direzione, si lavorerà su dispositivi come transistor, memorie magnetiche e non, permanenti e riscrivibili, transistor integrati con strutture di trasporto di massa, encoders, ecc. integrati su supporti plastici, metallici, vetro.

In un'altra direzione si prospetta, invece, la possibilità di utilizzare materiali multifunzionali che permettano di sviluppare componenti elettronici, opto-elettronici e fotonici in cui l'informazione possa essere generata, propagata, manipolata, immagazzinata ed estratta in modo sempre più veloce e con integrazione sempre più larga. A questo scopo è necessario pensare dispositivi in cui la carica elettrica, l'energia, la luce, l'energia meccanica, siano controllabili alla scala nano-metrica e trasducibili al mondo. Uno degli obiettivi sarà lo sviluppo di una stazione integrata di nano-dispositivi che consente di fabbricare e testare dispositivi in ambiente controllato e di effettuare misure elettriche, fotoniche ed optoelettroniche con le necessarie risoluzioni temporali: femtopicosecondo ( $10^{-15}$  -  $10^{-12}$  s) per le misure fotoniche, e nanosecondo ( $10^{-9}$  s) per le misure

elettriche ed optoelettroniche. Altri dispositivi che verranno esplorati saranno attuatori nanometrici, dispositivi nanoelettromeccanici (NEMS), superfici adattabili e meccanicamente convertibili mediante stimolo elettro-meccanico, luminoso, termico.

Si svilupperanno, inoltre, nuove sorgenti luminose nella nanoscala integrabili in dispositivi optoelettronici (display, illuminatori, opto-attuatori), fotonici (interruttori ottici ultra veloci), e con controllo della resa esterna attraverso controllo dello spin dei portatori di carica. Tali dispositivi saranno integrati su substrati ibridi inorganico/organico e su substrati flessibili con proprietà meccaniche tali da risultare adattabili in forma e nello spazio 3D e con la possibilità di integrare dispositivi di controllo quali ottiche, strutture fotoniche od attuatori.

Per tutte le attività sopracitate, è di particolare importanza lo sviluppo di materiali, strutture e tecnologie atte ad interfacciare manufatti e dispositivi con materiali nanostrutturati. In quest'ambito verranno sviluppate tecniche per la microlavorazione di materiali strutturali, per il bonding e per la microfabbricazione di strutture elementari quali travi sospese, membrane o microcanali. Particolare attenzione sarà rivolta alla conversione ed al condizionamento del segnale da e per l'elemento funzionale, all'integrazione ibrida ed al packaging.

## Soggetti coinvolti

Lo sviluppo del net-lab può contare su un patrimonio unico e ad altissimo livello scientifico, garantito dall'apporto di specifiche competenze da parte delle strutture coinvolte nel progetto.

A tali competenze si integrano sinergicamente partner industriali fortemente coinvolti in ricerca e sviluppo nell'ambito di meccanica per packaging, di macchine di precisione, e spin-off dedicati allo sviluppo precompetitivo di nuovi processi di nanofabbricazione sviluppati dai laboratori di ricerca del CNR di Bologna.

Le specifiche delle strutture di ricerca e delle imprese partecipanti all'attività del net-lab sono riportate nella Tabella 7.20, nella Tabella 7.21 e nella Tabella 7.22.

<b>INFN - Modena</b>	⇒	National Research Center on nanoStructures and bioSystems at Surfaces (S <sup>3</sup> )
<b>CNR</b>	⇒	ISMN, Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati - Sez. di Bologna ISOE - Istituto per la Sintesi Organica e Fotochimica IMM - Istituto per la Microelettronica e i Microsistemi - Sez. di Bologna
<b>Università Bologna</b>	di ⇒	DCFI - Dipartimento di Chimica Fisica ed Inorganica CIAM - Dipartimento di Chimica "G. Ciamician"
<b>SACMI IMOLA</b>	⇒	Azienda leader mondiale nei settori delle macchine per Ceramics, Beverage & Packaging, Processing e Plastics - Imola (BO)
<b>Organic Spintronics</b>	⇒	Spin-off ISMN - CNR, Bologna
<b>Comparto Parma</b>	UHV ⇒	Gruppo di imprese inquadrate nel comparto ultra alto vuoto di Parma (TECNA, Rial, Morimeccanica, ecc.)

Tabella 7.20 - Strutture di ricerca del net-lab NANOFABER

**Macro-filone 1: Nanofabbricazione e processi con controllo spaziale nanometrico di materiali multi-funzionali**

<b>N.</b>	<b>Azienda</b>	<b>Provincia</b>	<b>Attività</b>	<b>Partner con Capacità di Ricerca</b>	<b>Partner senza Capacità di Ricerca</b>	<b>Impresa User</b>	<b>Impresa Test-Bed</b>
<b>1</b>	<b>BEGHELLI</b>	BO	Azienda leader con forte capacità di ricerca	si			
<b>2</b>	<b>DATALOGIC</b>	BO	Azienda leader con forte capacità di ricerca	si			
<b>3</b>	<b>ELECTROLUX</b>	FC	Azienda leader con forte capacità di ricerca	si			
<b>4</b>	<b>MORIMECCANICA</b>	PR	Impresa con capacità meccaniche sistemi per il vuoto, , comparto UHV	si			
<b>5</b>	<b>ORGANIC SPINTRONICS</b>	BO	Spin-off del ISMN-BO del CNR con lo scopo di sviluppare e commercializzare tecnologie e processi per il controllo dello spin per l'ottimizzazione della efficienza di display OLED e per lo sviluppo di innovative memorie e dispositivi logici basati su semiconduttori organici.	si		si	
<b>6</b>	<b>RIAL VACUUM</b>	PR	Impresa con esperienza in sistemi e componenti per il vuoto e l'UHV	si			
<b>7</b>	<b>SACMI IMOLA</b>	BO	Macchine e impianti per l'industria ceramica e quella del packaging	si		si	
<b>8</b>	<b>TECNA</b>	MO	Impresa con alta capacità di progettazione e facente capo al comparto Ultra alto vuoto (UHV)	si			

Tabella 7.21 – Aziende che hanno mostrato interesse verso il net-lab NANOFABER rispetto allo specifico filone di ricerca

## Macro-filone 2: Fabbricazione ed integrazione di nano-dispositivi in materiali convenzionali e relativi dimostratori

N.	Azienda	Provincia	Attività	Partner con Capacità di Ricerca	Partner senza Capacità di Ricerca	Impresa User	Impresa Test-Bed
1	<b>BEGHELLI</b>	BO	Azienda leader con forte capacità di ricerca	si			
2	<b>DATALOGIC</b>	BO	Azienda leader con forte capacità di ricerca	si			
3	<b>ELECTROLUX</b>	FC	Azienda leader con forte capacità di ricerca	si			
4	<b>MORIMECCANICA</b>	PR	Impresa con capacità meccaniche sistemi per il vuoto, , comparto UHV	si			
5	<b>ORGANIC SPINTRONICS</b>	BO	Spin-off del ISMN-BO del CNR con lo scopo di sviluppare e commercializzare tecnologie e processi per il controllo dello spin per l'ottimizzazione della efficienza di display OLED e per lo sviluppo di innovative memorie e dispositivi logici basati su semiconduttori organici.	si		si	
6	<b>RIAL VACUUM</b>	PR	Impresa con esperienza in sistemi e componenti per il vuoto e l'UHV	si			
7	<b>SACMI</b>	BO	Azienda leader in packaging	si		si	
8	<b>TECNA</b>	MO	Impresa con alta capacità di progettazione e facente capo al comparto Ultra alto vuoto (UHV)	si			

Tabella 7.22 - Aziende che hanno mostrato interesse verso il net-lab NANOFABER rispetto allo specifico filone di ricerca

I soggetti coinvolti nel net-lab NANOFABER hanno collaborazioni in atto con le maggiori industrie nazionali (FIAT, Centro Ricerche FIAT, Centro Ricerche Plastoptica, PIRELLI, StMicroelectronics, SCMT) ed internazionali (Philips, IBM, COVION, AIXTRON, CDT).

---

## Programmazione

### ***Programmazione temporale di lungo periodo***

Mesi 0-18: la collaborazione già esistente tra diversi partner di NANOFABER verrà estesa ed integrata a quelle competenze non ancora inserite in attività collaborativa. Questa collaborazione è volta ad esplorare frontiere della ricerca di base, e continuerà per tre anni, a gettare le fondamenta conoscitive alla piattaforma tecnologica. Verranno messe in rete le strumentazioni e competenze esistenti. Si effettuerà iniziativa di promozione in ambito scientifico europeo ed internazionale, nell'ambito produttivo-industriale della Regione Emilia Romagna, in ambito accademico e nelle scuole superiori.

Mesi 18-36: l'enfasi della ricerca si sposterà sui problemi connessi con la fabbricazione e l'integrazione di strutture in dispositivi. Si intende sviluppare e/o acquisire nuova strumentazione per la nanofabbricazione e la diagnostica su nanoscala. In parallelo, si intende cominciare a sviluppare competenze avanzate con un'attività di formazione di alta qualificazione, ed esplorativa orientata alle esigenze produttive della Regione:

- ◆ Stage di formazione alle tecniche connesse con l'attività di NANOFABER
- ◆ Attività di dimostrazione delle tecnologie di fabbricazione sviluppate, con enfasi su problematiche selezionate dalla realtà industriale della regione (ad esempio, fabbricazione di elementi sensibili su packaging, encoders ad alta di risoluzione per litografia non convenzionale)
- ◆ Attivazione di progetti bilaterali di fattibilità seguiti da progetti di sviluppo pre-competitivo.

Queste attività sono mirate a stimolare il trasferimento tecnologico dei processi, non solo ad utilizzatori della tecnologia, ma anche a produttori di macchine e sistemi, e a produttori di materiali. Circa un 20% della attività del Laboratorio sarà proiettata verso un rapporto diretto con il tessuto produttivo della Regione, attraverso l'attività degli spin-off.

Mesi 36-60: l'attività di ricerca sarà mirata maggiormente all'applicazione e all'upscaling sia nella produzione di materiali, sia nei processi e fabbricazione. Si effettuerà un'attività di dimostrazione della piattaforma tecnologica per materiali multifunzionali su una varietà di sistemi funzionali. Circa un 40% dell'attività del Laboratorio sarà proiettata verso un rapporto diretto con il tessuto produttivo della Regione, con forte coinvolgimento degli spin-off.

Il net-lab opererà attraverso attività interconnesse incentrate su processi di nanofabbricazione. Le attività sono raggruppate in 8 Workpackages (WP), le cui relazioni funzionali sono mostrate nel diagramma in Figura 7.17.

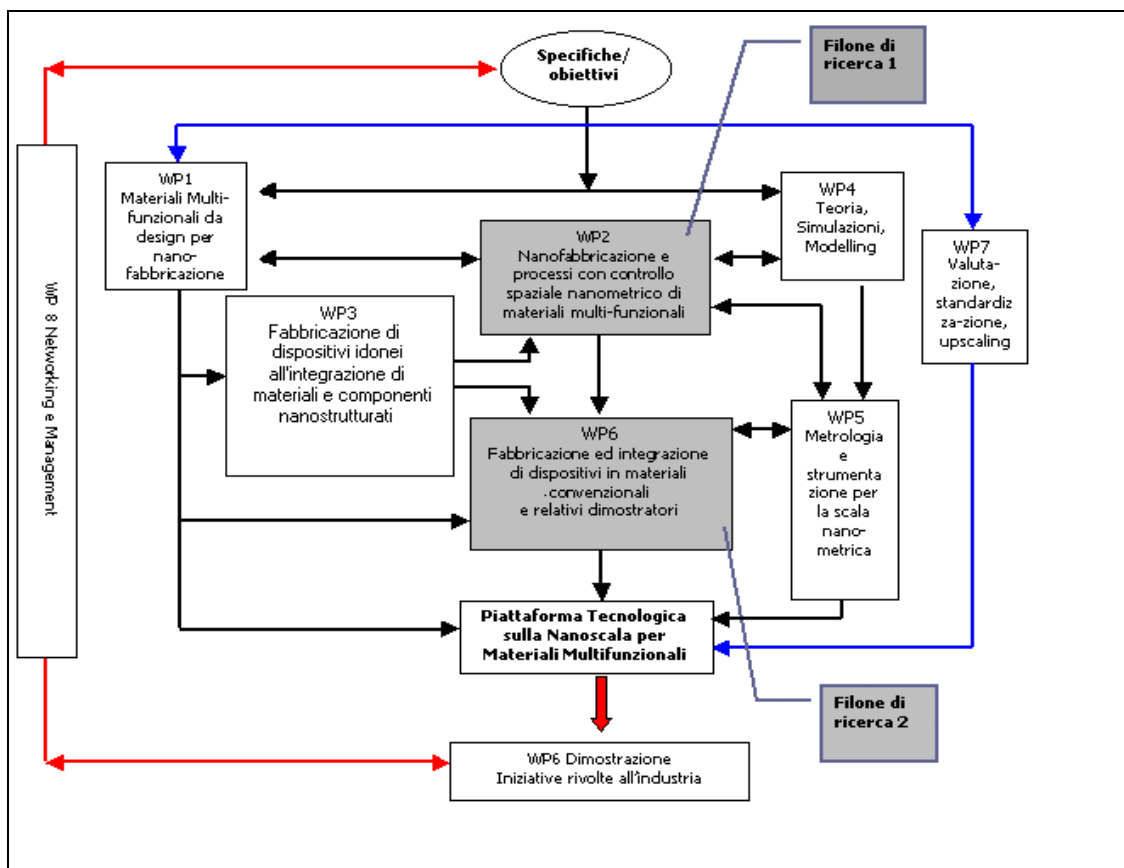


Figura 7.17 – Dipendenze funzionali nello sviluppo dei filoni di ricerca del net-lab

WP1 è dedicato alla sintesi di materiali multifunzionali processabili da soluzione, che verranno utilizzati nelle attività di fabbricazione WP2 e di dimostrazione WP4, sulla base dei requisiti di processo e di utilizzo del prodotto. E' importante sottolineare che verranno perseguite, ove possibile, strategie sintetiche sostenibili, in grado cioè di produrre sufficienti quantità di materiali per la fabbricazione e lo sviluppo di scala (dai grammi alle decine di grammi), con elevati requisiti di purezza, evitando l'uso di sostanze chimiche nocive ad elevato impatto ambientale. Questa attività include tutte le tecniche di caratterizzazione e purificazione per portare i materiali ad un effettivo grado di interesse applicativo.

La programmazione temporale prevede un tempo di sviluppo dell'attività di 4 anni.

Tale attività è il risultato delle seguenti tappe progettuali.

- ◆ WP1.1. Molecole e polimeri semiconduttori saranno utilizzati come materiali attivi nei dispositivi e sistemi funzionali per rendere "intelligenti" materiali plastici, film sottili, vetro. Tra questi, miscele polimeriche e copolimeri a blocchi con segmenti semiconduttori e dielettrici, idrofilici/idrofobici, oppure gruppi donatore/accettore per il trasporto di energia, danno origine a segregazione di fase con lunghezze spaziali caratteristiche di 1-10 nm.
- ◆ WP1.2. Materiali supramolecolari possono essere disegnati per trasporto di carica ed energia, di spin per effettuare movimenti meccanici su scala di 1 nm a seguito di stimolo esterno (macchine molecolari). Questi sistemi, opportunamente "indirizzati" su superfici in

WP2, possono costituire la base per nuovi metodi di stoccaggio d'informazione riscrivibile ad altissima densità e logica binaria.

- ◆ WP1.3. Composti di coordinazione o nanoparticelle opportunamente funzionalizzate sulla superficie verranno sintetizzati per essere utilizzati come precursori di metalli in soluzione adatti ai processi di fabbricazione e litografia soffice in WP2. Una volta curati, per via termica, fotochimica, o chimica, questi precursori si trasformano in metalli per dare origine a contatti, fili, siti reattivi, catalizzatori, nanocristalli, a posizioni e dimensioni controllate su scala nanometrica dal processo di litografia. Au, Cu, Ni, Pt, Pd, Rh verranno esplorati.
- ◆ WP1.4. Nanotubi di carbonio sono tra i materiali di maggiore interesse per le nanotecnologie, per le loro uniche proprietà elettriche (metalli, semiconduttori, trasportatori di spin), meccaniche (altissima rigidità), unite alla dimensionalità (diametro nanometrico e lunghezza di  $\mu\text{m}$ ) che ne fanno dei candidati ideali come elementi costruttivi di circuiti e contatti. Questi materiali verranno sintetizzati mediante tecnica di channel spark ablation (CSA), in ambiente controllato, che è una tecnica di crescita/deposizione reattiva, molto sostenibile in termini di costi /prestazioni. Si effettuerà inoltre la sintesi di nanotubi di carbonio mediante CVD in presenza di nanoparticelle di catalizzatori metallici opportunamente depositi su substrati micro e nano-lavorati. L'obiettivo è la crescita controllata di nanotubi di carbonio, in termini di dimensione tipo e collocazione, mediante la scelta dei substrati, dei catalizzatori e dei gas di processo più opportuni. Verranno utilizzati substrati, anche opportunamente patternati, su cui vengono depositate nanoparticelle di catalizzatore da WP2. I nanotubi di carbonio verranno poi utilizzati per fabbricazione di circuiti mediante litografie soffici in piano, di giunzioni di sensori, come interconnessioni verticali (vie), integrandoli con altri materiali molecolari e polimerici.

La Tabella 7.23 riassume sinteticamente la programmazione progettuale del WP1.

Attività	Descrizione	Unità	Input	Prodotto	Conness. ad altri WP
1.1	Materiali semi-conduttori, e dielettrici auto-organizzanti	ISOF	Modelling WP4.1, struttura WP5.2, solubilità, reologia, bagnabilità, precursori	Grammi di materiali purificati per componenti attivi in circuiti elettronici, sensori, dispositivi ottici ed elettro-ottici.	WP2 WP5 WP6
1.2	Materiali supramolecolari	CIAM	Modelling WP4.1, struttura WP5.2-3	0.1 g di materiale purificato per realizzare interruttori e motori molecolari su superfici	WP2, WP3, WP4
1.3	Precursori metallici per nanofabbricazione	DCFI CIAM	Specifiche di nanofabbricazione WP2	Grammi di materiali purificati solubili per precursori metallici	WP2, WP5 WP6
1.4	Nanotubi di carbonio	ISMN IMM	Target, catalizzatori e suoi patterns WP2	10g-di nanotubi a pareti multiple purificati  Array ordinato di nanotubi a parete singola o multipla	WP2, WP6

Tabella 7.23 – Tabella riassuntiva della programmazione progettuale del WP1

WP2 ha l'obiettivo principale di ottenere nanostrutture ordinate ed indirizzabili di materiali multifunzionali. A questo proposito si svilupperanno le metodologie di crescita e fabbricazione di materiali multifunzionali (da WP1 ed esterni) con controllo dell'organizzazione su scale spaziali multiple, dai nm ai mm. Verranno usate tecnologie non convenzionali, principalmente bottom-up, caratterizzate da basso costo, scalabilità su larga area, ripetibilità ciclica. La partecipazione di industrie e spin off garantisce la focalizzazione di questa attività verso l'innovazione nella produzione di manufatti con componenti intelligenti integrati che verranno fabbricati in WP6.

La programmazione temporale prevede un tempo di sviluppo dell'attività di 5 anni.

Tale attività è il risultato delle seguenti tappe progettuali.

- ◆ WP2.1. Film sottili di materiali attivi o passivi verranno cresciuti con elevato controllo dello spessore (da <1nm) e della morfologia mediante Organic Molecular Beam Deposition (OMBD). Grazie a due nuove OMBD presso ISMN, sviluppate in collaborazione con UHV, sarà possibile crescere film organici ed inorganici in camere di crescita comunicanti, e nel sistema SPM in ultra-alto vuoto, film sottili organici e metallici. I sistemi OMBD sono completi di tecniche di preparazione, trattamento e pulizia delle superfici, e tecniche di caratterizzazione. Si completerà la messa a punto di un sistema di crescita ibrido per film organici/inorganici finalizzato ai dispositivi opto-fotonici ed opto-spintronici.
- ◆ WP2.2. Modificazione della natura chimica di superfici inerti permette di modulare le interazioni con film sottili, adsorbati, nanostrutture, e al tempo stesso di impartire una funzionalità che si trasmette su nuove proprietà della superficie. Grafting chimico da precursori opportunamente disegnati, e funzionalizzazione chimica spazialmente controllata mediante stampa a contatto di film sottili autoassemblanti, nanofluidica o stampi sono disponibili per preparare le superfici di interesse per WP2.3,5,7,8, e WP6. Funzionalizzazione chimica di superfici spazialmente risolta con tecniche di fotoattivazione/disattivazione e ossidazione/riduzione locali. Un'altra attività riguarda trattamento di sospensioni di nanotubi con surfattanti servirà ad impartire a questi la solubilità necessaria per i processi litografici.
- ◆ WP2.3. Nanostrutture con controllo della dimensione, della forma e dell'organizzazione spaziale, saranno costruite mediante auto-organizzazione di materiali multifunzionali, sfruttando fenomeni cooperativi (e.g. decomposizione spinodale, spinodal dewetting, aggregazione in fibrille lineari, crescita in regime di non-bagnabilità), superfici opportunamente funzionalizzate da WP2.2, e controllo della cinetica dei processi. La deposizione avverrà da vuoto o da soluzioni. Un'altra attività riguarderà l'autoassemblamento di strutture periodiche in 2D e 3D partendo da unità mesoscopiche (sfere o cilindri di polistirene, macromolecole), la loro reticolazione e quindi l'infiltrazione con precursori inorganici e sostanze organiche solubili.
- ◆ WP2.4. Trasformazioni morfologiche-strutturali locali, assistite dalla punta dei microscopi verranno effettuate per patterning (e.g. nanostrutture di rotassani) o per modifica di superfici (e.g. dip-pen nanolithography, ossidazione locale), per poi determinare quantitativamente i parametri di processo e trasferirli a stampi con sorgenti multiple di interazioni locali in WP2.6. Verrà inoltre esplorato il limite ultimo della fabbricazione mediante la connessione a nano-elettrodi di singole nanostrutture, molecole e catene polimeriche coniugate, singoli nanotubi, utilizzando microscopi a scansione di sonda per la manipolazione e per guidare il chemisorbimento in modo spazialmente risolto.
- ◆ WP2.5. Le tecniche di litografia soffice richiedono la disponibilità di matrici (master) di materiali duri (metalli, ossidi) su cui possa venire effettuata una replica conforme (replica

---

molding) di materiale elastomerico, che una volta distaccato servirà da stampo. Le regole di disegno vengono perfezionate attraverso un procedimento di prova-errore ricorsivo, detto rapid-prototyping, fino a raggiungere la qualità dello stampo desiderata. Per la fabbricazione del master, su cui viene inciso il negativo del motivo desiderato dello stampo, si utilizzeranno tecniche di litografia seriale ad ultra alta risoluzione, come litografia a fasci elettronici (EBL) o a fascio di ioni focalizzati (FIB) su substrati opportunamente preparati (metalli, ossido di silicio).

- ◆ WP2.6. La fabbricazione di motivi e reticoli spazialmente organizzati su larga area verrà effettuata attraverso diversi processi paralleli: i) crescita e deposizione su templati nanostutturati sulle superfici, che saranno preparati per nanolitografia seriale 2.5, per stampaggio reattivo o per micro-contact printing. La topografia e la natura chimica del template modulano spazialmente la cinetica di crescita e le interazioni con la superficie, ottenendo la replica delle nanostrutture sulla superficie del film di materiale multifunzionale; ii) deposizione di un soluto e sua auto-organizzazione assistita da stampi, mediante confinamento della soluzione per forze capillari tra le protuberanze degli stampi e la superficie. Quest'ultima offre il vantaggio di essere una tecnica additiva; iii) confinamento di processi di auto-organizzazione in WP2.3 mediante stampi o imprinting; iv) fabbricazione di matrici di nanocanali in allumina porosa, altamente ordinati, paralleli tra loro e perpendicolari alla superficie con dimensioni e distanze nel range di 10-100 nm e 100-400 nm, rispettivamente, su aree di qualche mm<sup>2</sup>. Matrici di questo tipo verranno utilizzate come: a) template per la crescita di nanotubi di carbonio e nanowires metallici; b) cristalli fotonici; c) come maschera per impianto ionico.
- ◆ WP2.7. Il recente sviluppo di strumentazione confocale per l'imaging apre la possibilità di usare la configurazione confocale per ottenere patterning nella scala delle decine di nanometri. Con tale tecnica si studierà la fabbricazione di patterning per nuovi dispositivi foto attivi ed elettroattivi e si estenderà la tecnica a fotolitografia multifotonica con possibilità di fabbricazione in 3D.
- ◆ WP2.8. Nanotubi, resi solubili in WP2.2, possono essere depositati utilizzando stampi opportunamente disegnati a formare interconnessioni, giunzioni, barre incrociate, e nanoelettrodi per contattare nanostrutture e molecole. Un'altra attività sarà quella di fabbricare reticoli periodici di nanotubi o motivi su disegno, facendoli crescere tramite CSA fuori dalla superficie mediante stampaggio o deposizione controllata di catalizzatore sul substrato. Inoltre, il WP si occuperà anche della fabbricazione di una matrice di nanotubi di carbonio (WP1), mediante CVD, in template di allumina porosa (WP2.6), altamente regolari in dimensioni e spaziatura ed elettricamente isolati l'uno dall'altro per la realizzazione di dispositivi elettronici (array di transistori, nanoemettitori di elettroni e rivelatori di radiazione). Particolare attenzione verrà posta alla scelta ed al metodo di deposizione del catalizzatore metallico all'interno dei nanocanali di allumina per il controllo delle proprietà dei nanotubi di carbonio.
- ◆ WP2.9. Le tecniche di stampaggio e patterning in WP2.6 vengono adattate alla fabbricazione di sistemi a due o più componenti, per potere stampare sistemi funzionali e componenti di dispositivi, e.g. elettrodi, dielettrico, semiconduttore. Questi processi verranno ottimizzati gradualmente in termini complessità delle strutture fabbricate, di area stampata, e dei substrati da scegliere tra quelli di rilevanza tecnologica per l'industria partner.

La Tabella 7.24 riassume sinteticamente la programmazione progettuale del WP2.

Attività	Descrizione	Unità	Input	Prodotto	Conness. ad altri WP
2.1	Crescita di film sottili molecolari ed ibridi	ISMN, UHV	Materiali WP1.1	Film sottili di materiali attivi e non, con morfologia e proprietà controllate	WP2,WP5
2.2	Funzionalizzazione chimica di superfici	ISMN INFM-S3	Precursori WP1.1, Bagnabilità/adesione; metrologia WP5.1	Superfici funzionali e preparate per specifiche proprietà meccaniche, reologiche, di adesione, adsorbimento, elettroniche, ottiche	WP2.3,5,6; WP4; WP5,WP6
2.3	Nanostrutture auto-organizzate	ISMN, CIAM INFM-S3	Materiali WP1; superfici WP2.2; processi WP2.1	Strutture a bassa dimensionalità da controllo di interazioni superficiali e fenomeni cooperativi	WP2.6, WP4
2.4	Nanofabbricazione e manipolazione con tecniche locali	ISMN, ISOF INFM-S3	Materiali WP1; film sottili e superfici WP2.1,2;	Posizionamento ed interconnessione di singole nanostrutture, molecole, nanotubi	WP5.1
2.5	Fabbricazione di stampi per rapid prototyping	INFM-S3, ISMN, IMM	Specifiche e disegno WP2, WP6; metrologia WP5	Master nanostrutturati per replica molding	WP2.8,9; WP6
2.6	Patterning bottom-up	ISMN, INFM-S3, IMM	Materiali WP1; substrati funzionalizzati WP2.2; know-how WP2.3	Processi per auto-organizzazione assistita da stampi e template con controllo su scale spaziali <100 nm.	WP6, WP7
2.7	Fotolitografia Confocale multifotonica	ISMN	Disegno layout, specifiche materiali fotosensibili	Litografia 2D e 3D con risoluzione 100 nm su materiali fotoresistivi	WP5, WP6
2.8	Crescita, nanolitografia e patterning di nanotubi	ISMN, OS IMM	Nanotubi WP1.4	Metodologie per stampa di nanotubi e formazione di pattern ordinati su scala L<100 nm  Arrays ordinati di nanotubi di carbonio in template di allumina nanoporosa	WP5, WP6

2.9	Fabbricazione additiva per stampaggio a più stadi	ISMN, SACMI	Materiali WP1; stampi WP2.5; processi WP2.6	Metodologie di stampa per materiali multifunzionali integrati in componenti attivi con $L < 500$ nm	WP6, WP7
-----	---	-------------	---	---	----------

Tabella 7.24 - Tabella riassuntiva della programmazione progettuale del WP2

Il WP3 ha l'obiettivo di sviluppare i materiali, le strutture e le tecnologie necessarie per poter integrare elementi funzionali basati su materiali nanostrutturati in manufatti e dispositivi. Da questo punto di vista risulta di fondamentale importanza mettere a punto soluzioni tecnologiche che permettano da una parte di funzionalizzare il materiale nanostrutturato e dall'altra di trasmettere informazione da e verso il mondo esterno. Questo comporta lo sviluppo di strutture microlavorate compatibili con i vari materiali usati ed atte ad interfacciarsi con i diversi dispositivi elettronici, ottici, meccanici o fluidici di un sistema multifunzionale.

La programmazione temporale prevede un tempo di sviluppo dell'attività di 4 anni e si articola secondo le seguenti tappe progettuali:

- ◆ WP3.1. Sviluppo e messa a punto di processi elementari e di tecnologie per la microlavorazione e la nanostrutturazione di materiali. Tale attività comprenderà la microlavorazione bulk e di superficie, la deposizione di film sottili, le tecniche di trattamento chimico-fisico delle superfici ad alta risoluzione spaziale e le tecniche per il bonding di substrati. Tra i prototipi che si intende sviluppare in questa attività vi sono membrane, travi, cantilever, micropunte, microcanali e strutture interdigitate.
- ◆ WP3.2. Fabbricazione di strutture funzionali elementari miniaturizzate: questa attività si propone di realizzare semplici dispositivi adatti ad essere impiegati in sistemi complessi multifunzionali basati su materiali nanostrutturati. Tale attività prevede lo sviluppo di *microhotplates*, di circuiti microfluidici, di sistemi oscillanti/risonanti, di microposizionatori attuati termicamente o elettrostaticamente, di microbanchi ottici e guide d'onda integrate, di dispositivi per ambienti ostili e ad alta temperatura.
- ◆ WP3.3. Sviluppo di tecniche di assemblaggio e packaging per sistemi complessi multifunzionali. I materiali nanostrutturati molto spesso non sono direttamente integrabili su substrati convenzionali. Questo implica che la realizzazione di strutture funzionali miniaturizzate faccia uso di tecnologie di fabbricazione talvolta incompatibili tra loro. Questa attività prevede quindi lo sviluppo di tecniche di integrazione ibrida tra elementi nanostrutturati e strutture funzionali miniaturizzate, volte alla realizzazione di interconnessioni elettriche, ottiche o fluidiche di più unità in un sistema complesso multifunzionale che dialoghi con il mondo esterno.

La tabella successiva riassume sinteticamente la programmazione progettuale del WP3.

Attività	Descrizione	Unità	Input	Prodotto	Conness. ad altri WP
3.1	Sviluppo e messa a punto di processi elementari e di tecnologie per la microlavorazione e la nanostrutturazione di materiali	IMM-Bo,	Specifiche di realizzazione da WP1, WP2, WP6	Membrane, travi, cantilever, micropunte, microcanali e strutture interdigitate	WP1, WP2, WP6
3.2	Fabbricazione di strutture funzionali elementari miniaturizzate	IMM-Bo, ISMN	Specifiche di realizzazione da WP1, WP2, WP6 Materiali nanostrutturati da WP2 Strutture elementari da WP3.1	Microhotplates, circuiti microfluidici, sistemi oscillanti/risonanti, microposizionatori, di microbanchi ottici e guide d'onda integrate, dispositivi per ambienti ostili ed alte temperature;	WP1, WP2, WP6
3.3	Sviluppo di tecniche di assemblaggio e packaging per sistemi complessi multifunzionali	IMM-Bo, ISMN	Specifiche di realizzazione da WP1, WP2, WP6 strutture funzionali elementari da WP3.2	Prototipi di sistemi multifunzionali	WP1, WP2, WP6

*Tabella 7.25 - Tabella riassuntiva della programmazione progettuale del WP3*

WP4 fornisce gli strumenti teorici per la predizione di proprietà di interesse di nanostrutture di sistemi molecolari.

La programmazione temporale prevede un tempo di sviluppo dell'attività di 5 anni.

Tale attività è il risultato delle seguenti tappe progettuali.

- ◆ WP4.1. Si intende studiare con tecniche di simulazione atomistica l'adsorbimento su superfici inorganiche (sia di metalli che di semiconduttori) di materiali con funzionalità specifiche. Lo scopo è il calcolo dell'energetica di adsorbimento e dell'allineamento dei livelli elettronici molecolari all'energia di Fermi del metallo o alla struttura a bande del semiconduttore. La motivazione è l'utilizzo dei sistemi selezionati come interfaccia molecola-elettrodo o molecola-substrato nell'ambito della nanoelettronica molecolare, oppure come strumento per la funzionalizzazione superficiale e la fabbricazione di eterostrutture nanomolecolari (multistrati organici). Verranno inoltre sviluppati metodi di calcolo quantomeccanici volti alla caratterizzazione delle proprietà di trasporto (quantum confinement), risposta ottica e termica di sistemi nanostrutturati, isole e fili, ottenuti per crescita epitassiale e per deposizione di molecole su superfici inorganiche.
- ◆ WP4.2. Dalla struttura elettronica, verranno costruiti i potenziali intermolecolari modello, da utilizzarsi in simulazioni Montecarlo e Molecular Dynamics, con lo scopo di determinare l'organizzazione molecolare dei materiali su scale spaziali fino a decine di nm. Sistemi fino a

milioni di molecole, a seconda della complessità, verranno simulati, anche in ambienti confinati (e.g. tra elettrodi, in canali).

- ◆ WP4.3. Le configurazioni di equilibrio verranno poi utilizzate per calcolare fenomeni di trasporto di carica od energia, mentre dalla dinamica di equilibrizzazione si potrà ricostruire l'organizzazione di non-equilibrio su scala molecolare. Un aspetto importante sarà lo studio di fenomeni di interconversione strutturale promossa da stimoli esterni per attuatori nanomeccanici.
- ◆ WP4.4. La comprensione della multifunzionalità su superfici, legata alla multi-stabilità delle molecole o specie costituenti, richiede la modellizzazione dell'energetica delle molecole su superfici di interesse tecnologico. Questa attività sarà svolta in stretta collaborazione con parte dell'attività di fabbricazione in WP2.4.
- ◆ WP4.5. L'integrazione delle diverse tecniche permetterà di arrivare ad estendere le potenzialità dei metodi teorici dalla scala nanometrica alle scale spaziali superiori fino al continuo, per arrivare a simulare fenomeni idrodinamici (dewetting) e forze capillari che sono sfruttate in nanolitografia per stampaggio.

La Tabella 7.26 riassume sinteticamente la programmazione progettuale del WP3.

Attività	Descrizione	Unità	Input	Prodotto	Connes s. ad altri WP
4.1	Progettazione e caratterizzazione microscopica di materiali molecolari multifunzionali	INFM-S3, IMM	Specifiche di materiali WP1	Proprietà di materiali ed indicazioni per strategie sintetiche	WP1
4.2	Simulazioni di aggregati, nanostrutture, sistemi confinati	DCFI INFM-S3	Strutture molecolari WP1 e WP4.1; processi WP2, dispositivi WP6	Organizzazione molecolare in sistemi complessi con dimensioni >>10 nm	WP2.1-3, WP4.3
4.3	Fenomeni di non equilibrio	INFM-S3	Metrologia WP5; dispositivi WP6	Correlazione tra organizzazione, proprietà e condizioni di processo	WP5, WP2, WP6
4.4	Modellizzazione di sistemi funzionali meccanici	CIAM	Materiali WP1.2; autorganizzazione WP2.3	Energetica e dinamica di materiali e superfici bistabili, attuatori	WP6, WP2
4.5	Simulazione di proprietà a scale spaziali multiple	INFM-S3, DCFI, CIAM	Know-how WP4.1-4.4; proprietà multiscala WP5	Unificazione della descrizione dalla scala molecolare all'idrodinamica	WP2, WP5 WP6

Tabella 7.26 - Tabella riassuntiva della programmazione progettuale del WP3

WP5 si pone l'obiettivo di sviluppare tecniche diagnostiche e metrologiche per i materiali multifunzionali, nanostrutture e sistemi funzionali capaci di risoluzione spaziale su scala dei nm.

---

Inoltre, verranno sviluppate macchine per nanofabbricazione e crescita, e controller digitali per microscopie a sonda, nanofabbricazione locale, e macchine da stampaggio.

La programmazione temporale prevede un tempo di sviluppo dell'attività di 5 anni.

Tale attività è il risultato delle seguenti tappe progettuali.

- ◆ WP5.1. Verranno realizzate tecniche diagnostiche basate su microscopie a scansione di sonda (SPM) per nanostrutture e dispositivi organici capaci di correlare direttamente la struttura/morfologia con la risposta della proprietà di interesse (elettrica, ottica, magnetica, meccanica). Questa attività richiederà la standardizzazione delle sonde a scansione, in termini di dimensione, forma, funzionalizzazione superficiale. Per questo, si unirà la conoscenza di tecniche microscopiche, a quella di funzionalizzazione di superfici, e un'intensa attività di lavorazione di nanosonde tramite FIB. Inoltre, i dettagli del campione e della proprietà d'interesse richiederanno di avere accesso all'acquisizione dei segnali e alla loro manipolazione/trattamento. Per questo, si farà uso anche di elettronica di controllo sviluppata ad hoc.
- ◆ WP5.2. La comprensione delle correlazioni tra strutture e proprietà è a fondamento della scienza e della tecnologia dei nanomateriali. In questo ambito, indagini morfologiche e strutturali, effettuate tramite microscopie a scansione ad effetto tunnel (STM) e/o microscopie elettroniche a scansione (SEM) e in trasmissione (TEM), saranno utilizzate per l'ottimizzazione dei processi tecnologici utilizzati e per la diagnostica dei dispositivi realizzati. In particolare, per lo studio delle interfacce tra substrati e film sottili nanostrutturati (WP 2.3) così come per le regioni di contatto tra nanotubi (WP 1.4) e i materiali che ne costituiscono l'ambiente (catalizzatori metallici, metalli per elettrodi di contatto, substrati isolanti o semiconduttori) o per la determinazione stessa della natura dei nanotubi (a parete singola o multipla, chiralità) si farà uso di tecniche TEM ad alta risoluzione (0.24 nm) e di tecniche analitiche, abbinata al TEM, con risoluzioni spaziali sul campione dell'ordine di 0.2 nm. Per la riuscita di tali studi la preparazione dei campioni TEM è critica per almeno due aspetti. Da un lato, per indagini analitiche spinte a tali risoluzioni spaziali, si dovranno evitare contaminazioni anche minime dovute alla preparazione del campione TEM e dall'altro, in molti casi si dovrà procedere ad un assottigliamento su aree selezionate con dimensioni dell'ordine di pochi nm. Il primo punto sarà quindi affrontato tramite l'acquisizione di un plasma cleaner che permetterà di eliminare eventuali tracce di contaminazione presenti sul campione e sul portacampioni. Il secondo punto sarà affrontato utilizzando il Dual Beam (Focussed Ion Beam (FIB) + SEM). Con questa strumentazione è infatti possibile pre-selezionare l'area da analizzare con la risoluzione del SEM (3nm) ed assottigliare localmente il campione per l'osservazione TEM grazie al processo di erosione indotta dal bombardamento ionico. Oltre a queste indagini locali si effettueranno tramite diffrazione a raggi X ad angolo radente investigazioni mediate spazialmente. Per la diffrazione a raggi X, saranno necessari tempi macchina ai sincrotroni dotati di puntamento micrometrico del fascio, es. ESRF Grenoble, ma anche una macchina a disposizione con sorgente ad es. ad anodo rotante per esplorativa. WP5.3 Le proprietà elettroniche delle interfacce tra due materiali possono essere sostanzialmente diverse da quelle dei due sistemi in contatto. Tale differenze si concentrano negli strati nanometrici nei quali i due sistemi sono in intimo contatto. Per analizzarne le proprietà elettroniche e strutturali è, pertanto, necessario che le interfacce vengano realizzate e studiate in uno stesso apparato, con strumentazione in grado di rilevare i contributi dei pochi strati atomici che costituiscono l'interfaccia stessa. Le spettroscopie elettroniche sono ideali per tale scopo. Stante l'attuale tecnologia tale analisi sarà svolta in parallelo su estensioni spaziali grandi rispetto alla scala

nanometrica, sarà, quindi, necessario implementare sistemi di analisi ad elevata sensibilità per rilevare segnali molto deboli dovuti ai elementi chimici presenti nelle nanostrutture.

- ◆ WP5.4. Per lo studio e l'analisi di nanostrutture generate con tecniche di nanotecnologia è necessario disporre di metodi spettroscopici alla nanoscala. Le tecniche tradizionali di spettroscopia ottica non sono di per sé sufficienti a fornire tutte le informazioni necessarie alla comprensione dei fenomeni fisici che avvengono su una scala di 100 nm o inferiore. Si rende dunque indispensabile l'utilizzo di una nuova tecnica di spettroscopia ottica ultraveloce (risoluzione temporale di 2 ps) in grado di fornire informazioni sulle proprietà ottiche ed elettroniche intrinseche alla nanoscala. L'implementazione di queste misure richiede lo sviluppo di una strumentazione assolutamente innovativa che combina laser al femtosecondo, microscopia confocale e rivelazione risolta in energia e in tempo
- ◆ WP5.5 Verrà sviluppata microscopia Raman con risoluzione laterale submicrometrica Questa servirà a mappare proprietà vibrazionali di nanostrutture e materiali.
- ◆ WP5.6 Per effettuare i processi di fabbricazione descritti nel WP2, occorre avere controllo molto accurato delle distanze e geometria dell'interfaccia tra gli stampi e le superfici. Questa accuratezza si può realizzare da una parte attraverso un disegno opportuno dello stampo, considerando deformazioni elastiche e la fabbricazione di strutture di supporto o spaziatori verticali; dall'altra integrando la macchina di stampa con posizionatori accurati controllati sia otticamente sia attraverso sensori (capacitivi, meccanici, idraulici) con sistema di contro-reazione. Per il disegno e la realizzazione degli stampi, ad esempio attraverso formatura su matrice di un precursore elastomerico dello stampo, occorre realizzare una matrice (master) una volta individuate le specifiche ed il disegno, La fabbricazione della matrice avviene mediante nanolavorazione FIB (per risoluzioni laterali ultra spinte e strutture ad elevato aspect ratio) ed electron-beam lithography. Queste fasi di lavorazione saranno precedute da una definizione fotolitografica su scala micrometrica di strutture per l'allineamento ottico e per la definizione dei contatti macroscopici.
- ◆ WP5.7 Sarà realizzato un sistema per la deposizione, da soluzione, di film di spessore nanometrico di materiali autoaggreganti, su superfici preparate in condizioni di ultra alto vuoto (UHV). Tale deposizione dovrà avvenire in ambiente con atmosfera di gas inerte ultra puro, direttamente collegato al sistema da UHV, così da eliminare, nella fase iniziale, ogni forma di gas reattivo o contaminante, i cui effetti (ossidazione, carbonizzazione, ecc.) potranno essere studiati in un momento successivo. Tale sistema dovrà anche consentire la caratterizzazione elettrochimica dei film depositi. Questo sistema è di potenziale interesse per le industrie del settore UHV e della microelettronica.

La Tabella 7.27 riassume sinteticamente la programmazione progettuale del WP5.

Attività	Descrizione	Unità	Input	Prodotto	Connessioni ad altri WP

Attività	Descrizione	Unità	Input	Prodotto	Connessi ad altri WP
5.1	Microscopie a scansione di sonda, incluse tecniche elettriche, magnetiche, ottiche	ISMN, INFM-S3	Nanostrutture WP2; dispositivi WP6	Nuove sonde per caratterizzazione elettrica, magnetica, locale in sistemi e dispositivi	WP2, WP6
5.2	Tecniche strutturali (TEM, XRD) per nanoscala	IMM, ISMN, INFM-S3	Nanostrutture WP2	Organizzazione su scala molecolare di nanostrutture e film ultra-sottili Tecniche strutturali per nanoscala.: Preparazione campioni TEM di Nanostrutture.	WP1, WP2
5.3	Struttura elettronica di interfacce	INFM-S3	Dispositivi WP6; film sottili W.1 superfici WP2.2	Struttura elettronica ad interfacce ibride ed organico-organico	WP2; WP6
5.4	Sonde ottiche nanoscopiche	ISMN	Film sottili WP2.1; WP2.4	Fotoluminescenza con risoluzione laterale di 120 nm	WP2, WP6
5.5	Microscopia vibrazionale locale	ISMN	WP2	$\mu$ m-Raman con risoluzione laterale sub-micrometrica	WP2
5.6	Strumentazione per nanofabbricazione	ISMN, INFM-S3,	WP2.3-4	Prototipi di stampanti a contatto per wafers a 6"; controller digitali.	WP2, WP6, WP7
5.7	Strumentazione per crescita	OS, UHV	WP2.1	Sistemi di crescita in alto vuoto ed ultra-alto vuoto; channel spark ablation	WP2, WP6, WP7

Tabella 7.27 - Tabella riassuntiva della programmazione progettuale del WP4

Nell'attività di WP6 le tecniche di fabbricazione sviluppate in WP2 verranno utilizzate per fabbricare di dispositivi in grado di conferire funzionalità aggiuntive a materiali convenzionali, come plastica, vetro, carta, pellicole sottili.

La programmazione temporale prevede un tempo di sviluppo dell'attività di 3,5 anni, a partire da 1,5 anni dopo la realizzazione del net-lab. Tale attività è il risultato delle seguenti tappe progettuali.

- ◆ WP 6.1. Verranno stampati completamente mediante processi di deposizione ad uno o più stadi serie di transistor, non interconnessi, almeno inizialmente, con *gate* indipendenti. Si mira ad arrivare a canali di 500 nm completamente a stampaggio. Saranno utilizzati supporti plastici di potenziale interesse per la fabbricazione di manufatti.
- ◆ WP 6.2. Realizzazione di nanostrutture ad elettrodi planari e *free-standing* tramite tecniche di litografia EBL accoppiata a nanolavorazione FIB. Su questi nanoelettrodi verranno depositate mediante deposizione assistita da stampi architetture a bassa dimensionalità per il trasporto di carica in una e due dimensioni.

- ◆ WP 6.3. L'uso di film sottili di materiali supermolecolari bistabili, come ad esempio rotassani, permette di indurre trasformazioni morfologiche a seguito di uno stimolo esterno che può essere meccanico, elettrico, luminoso o termico. Queste trasformazioni sono controllate dallo spessore del film, e generano per auto-organizzazione nanostrutture con distanza caratteristica tra loro che possono essere utilizzate per scrittura di informazioni. Si esploreranno sistemi di scrittura parallela su larga area, di lettura dell'informazione codificata in forma di bit, e processi per la cancellazione. Questi sistemi di scrittura dell'informazione possono essere integrati su superfici di diversa natura anche di interesse tecnologico.
- ◆ WP 6.4. Tutta la movimentazione angolare a controllo numerico farà uso di *encoders* per tracciare la posizione angolare esatta di un servomotore. Gli *encoders* vengono generalmente letti mediante trasmissione ottica. Tramite tecniche di stampaggio saranno fabbricati *encoders* con maggiore risoluzione angolare, e costi di processi e materiali notevolmente inferiori.
- ◆ WP 6.5. Implementazione di logica e sensori basati su architetture a FET organici su pellicola plastica flessibile.
- ◆ WP 6.6. Le tecnologie dell'informazione di prossima generazione richiedono lo sviluppo di componenti elettronici, opto-elettronici e fotonici in cui l'informazione possa essere generata, propagata, manipolata, immagazzinata ed estratta in modo sempre più veloce e con integrazione sempre più larga. A questo scopo è necessario pensare dispositivi in cui la carica elettrica, l'energia, la luce o altre grandezze fisiche siano controllabili alla scala nanometrica e assemblabili su larga scala. La stazione integrata di nano-dispositivi consente di fabbricare e testare dispositivi in ambiente controllato e di effettuare misure elettriche, fotoniche ed optoelettroniche con le necessarie risoluzioni temporali: femto-picosecondo ( $10^{-15}$  -  $10^{-12}$  s) per le misure fotoniche, e nanosecondo ( $10^{-9}$  s) per le misure elettriche ed optoelettroniche. Senza queste risoluzioni temporali sarebbe impossibile studiare e controllare i processi fisici che determinano il funzionamento dei dispositivi di nuova generazione. Si svilupperanno nuove sorgenti luminose nella nanoscala integrabili in dispositivi optoelettronici (display, illuminatori, opto-attuatori) e fotonici (interruttori ottici ultra veloci).
- ◆ WP 6.7. Controllo tramite la definizione di nanostrutture ordinate di una doppia porosità che consenta sia la funzionalizzazione della matrice inorganica che l'introduzione di un trasportatore solido di carica (buche) in grado di connettere percolativamente tutta l'iper superficie per la realizzazione di celle ibride a stato solido.
- ◆ WP 6.8. La fabbricazione tridimensionale attraverso processi a multifotone è una delle più promettenti tecniche di frontiera a livello internazionale per costruire nano-strutture per il controllo nanometrico di parametri fisici fondamentali quali carica elettrica, energia, luce, etc. Le risoluzioni spaziali ottenibili scendono abbondantemente al di sotto dei 100 nm sia nel piano sia lungo l'asse tridimensionale, grazie al superamento del limite di diffrazione attraverso effetti non-lineari. In modo complementare l'assorbimento multifotonico consente anche di utilizzare tecniche olografiche per fabbricare nanostrutture tridimensionali su superfici fotosensibili.
- ◆ WP 6.9 Impiego di tecniche bottom-up di self-assembling per la realizzazione di nanoparticelle di geometria definita. Un punto cruciale è la creazione di una struttura ordinata 2D o 3D con controllo della variazione dell'indice di rifrazione. A tale scopo si utilizzeranno nanostrutture costituite da ossidi metallici, polimeri decorati con molecole o sistemi fotoattivi. Tali strutture periodiche verranno integrate in sistemi fotonici

ibrido/organico per il controllo della luce e come interruttori ottici ultraveloci. Impiego di array regolari di allumina nanoporosa come cristalli fotonici 2D, in cui può essere variato il bandgap controllando la geometria dell'array di nanopori.

- ◆ WP 6.10 Processi e nanopatterning su film di manganiti mediante tecniche a fascio elettronico verranno impiegate per la costruzione di geometrie atte ad ineiettare portatori con conservazione dello spin sia in sistemi tipo spin-valve che in dispositivi di tipo transistor con film organici impiegati come semiconduttore attivo. Si disegneranno architetture sia planari che verticali per dispositivi spintronici emettitori di luce, memorie e giunzioni.
- ◆ WP 6.11 Realizzazione tramite litografia elettronica e nanolavorazione FIB di array di microcantilevers per la rivelazione di molecole in ambiente liquido/gassoso.
- ◆ WP 6.12 Realizzazione di dispositivi elettronici regolati da transizioni strutturali di molecole ottenute tramite controllo del microambiente (pH) locale, oppure tramite cambiamenti delle intrazioni tra le molecole e strati bistabili.

La Tabella 7.28 riassume sinteticamente la programmazione progettuale del WP5.

Attività	Descrizione	Unità	Input	Prodotto	Conness. ad altri WP
6.1	Transistor ad effetto di campo da stampaggio a più stadi	ISMN, IMM	Semiconduttori, dielettrici, precursori metallici WP1; stampi WP2;	FET su supporti plastici con dimensioni del canale fino a 500 nm	WP7
6.2	Nuove architetture per transistor ad effetto di campo	ISMN, INFM-S3	Semiconduttori, dielettrici, precursori metallici WP1; stampi WP2;	Transistor funzionanti con fibrille, strisce monostrato, nanostrutture singole, nanotubi	WP7
6.3	Memorie non-magnetiche ad altissima densità	ISMN, UNIBO	Materiali bistabili WP1; dispositivi e fabbricazione WP2	Memorie riscrivibili e non fabbricate su supporti plastici	WP7
6.4	Encoders per stampaggio e/o deposizione su maschere	ISMN	precursori metallici WP1; stampi WP2;	Encoders a basso costo, altissima densità	WP7
6.5	Fabbricazione di strutture funzionali e dispositivi su packaging	ISMN, SACMI	Fabbricazione WP2; tecniche di allineamento	Processi per fabbricare packaging intelligente	WP7
6.6	Sorgenti luminose nanometriche disposte su reticoli	ISMN, ISOF	Materiali elettro-e foto-attivi WP1.1, Litografie confocali WP2.7, crescita WP2.1, design pilotaggio ottico	Strutture fotoniche attive, interferenza, display con pixel sub-micrometrici, matrici di oled a coerenza parziale, oled	WP7

Attività	Descrizione	Unità	Input	Prodotto	Conness. ad altri WP
6.7	Celle fotovoltaiche ibride nanostrutturate	ISMN	Nanostrutture ibrido/organico a doppia porosità WP2.3	Dispositivi nanostrutturati a doppia porosità di sistemi ibridi/organici fotovoltaici	WP7
6.8	Strutture 2D & 3D con fotolitografia confocale	ISMN	Specifiche Materiali fotosensibili WP2.7	Ologrammi, crittografia, fabbricazione 3D, strutture a band gap fotonico con difetti	WP7
6.9	Reticoli fotonici 2D e 3D	ISMN IMM	Processi di autoassemblamento WP2.2 e WP2.6	Strutture a band gap fotonico, guide d'onda	WP7
6.10	Nuove architetture per spintronica	OS ISMN	tecniche diagnostiche basate su microscopie a scansione di sonda WP4.1, fabbricazione mediante nanolavorazione FIB WP4.6	Giunzioni ibride organico/inorganico; memorie non volatili; transistor spin-polarizzato	WP7
6.11	Dispositivi nanomeccanici ibridi	INFM-S3	Disegno; funzionalizzazione chimica	Array di microcantilevers per la rivelazione molecolare	
6.12	Dispositivi molecolari a transizione meccanica	INFM-S3, ISMN, UNIBO	Transistors WP5.1; manipolazione WP2.3	Dispositivo elettronico regolato dalle transizioni strutturali di molecole indotte da variazioni del microambiente	

Tabella 7.28 - Tabella riassuntiva della programmazione progettuale del WP5

L'attività WP7 ha lo scopo di valutare i materiali, processi, manufatti e dispositivi prodotti nel progetto per preparare lo sviluppo pre-competitivo (in definitiva, una funzione di upscaling).

L'inizio di tale attività è stimata intorno al terzo anno dalla realizzazione del net-lab e la durata complessiva del progetto sarà di 3 anni.

La Tabella 7.29 riassume sinteticamente la programmazione progettuale del WP6.

Attività	Descrizione	Unità	Input	Prodotto
7.1	Standardizzazione dei processi di fabbricazione	SACMI	Nano-fabbricazione e processi WP2	Valutazione metodi di fabbricazione
7.2	Validazione di materiali e proprietà	SACMI	Materiali WP1	Valutazione sostenibilità dei materiali e compatibilità con prodotti convenzionali
7.3	Validazione della nanofabbricazione per produzione	SACMI, UHV	Analisi tecnica di manufatti per fabbricazione	Valutazione qualità su larga area e produzione ciclica

7.4	Roadmap per introduzione di processi di nanofabbricazione in prodotti di packaging	SACMI UHV	Analisi delle caratteristiche dei prodotti; modelli di costo per processi di fabbricazione; macchine	Proposta d'impresa
-----	--	--------------	--	--------------------

Tabella 7.29 - Tabella riassuntiva della programmazione progettuale del WP6

Il piano di lavoro del net-lab si basa anche su un impegno di coordinamento e monitoraggio delle attività di network che si svilupperà su tutto il periodo di 5 anni e che avrà anche lo scopo di definire ed applicare le modalità di tutela della proprietà intellettuale.

La Tabella 7.30 riassume sinteticamente la programmazione progettuale del WP8.

Attività	Descrizione	Unità	Input	Prodotto
8.1	Coordinazione	ISMN		Report
8.2	Management	WP leader		Decisioni strategiche
8.3	Strategie di sfruttamento	Tutti	Accordo di consorzio	
8.4	Proprietà intellettuale	Tutti	Accordo di consorzio	Brevetti

Tabella 7.30 - Tabella riassuntiva della programmazione progettuale del WP7

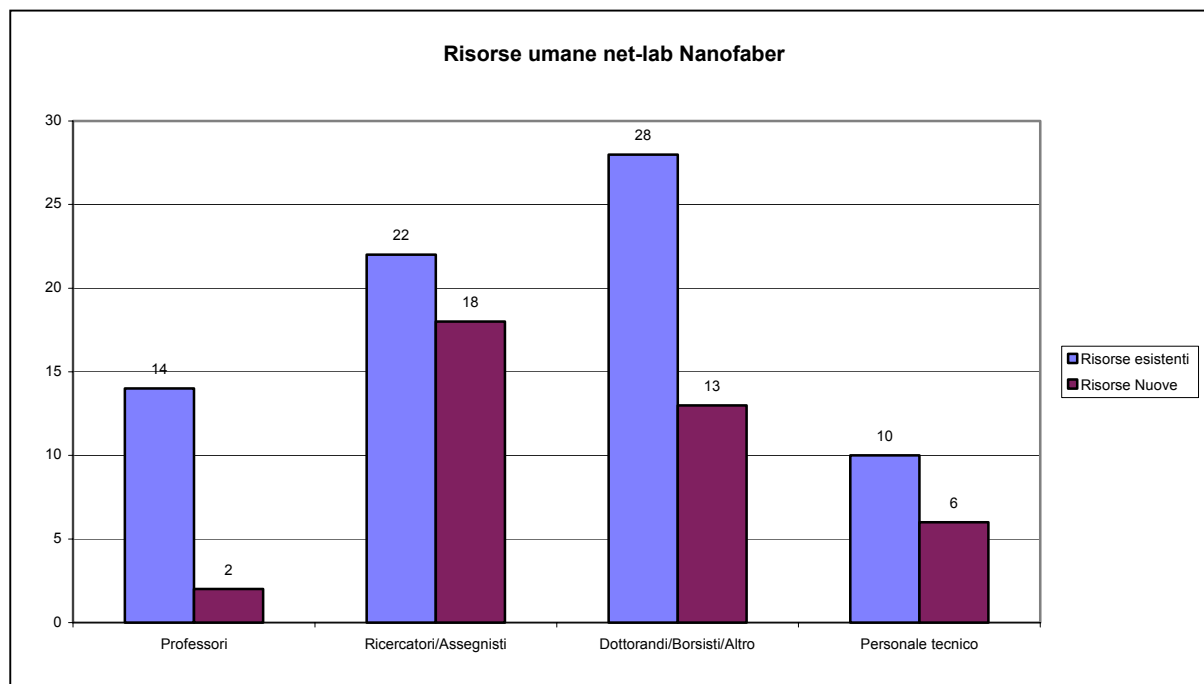
In conclusione, si fornisce uno schema riassuntivo che descrive il flusso temporale dei 8 WP.

	1 anno	2 anno	3 anno	4 anno	5 anno
WP 1					
WP 2					
WP 3					
WP 4					
WP 5					
WP 6					
WP 7					
WP 8					

Figura 7.18 – Programmazione temporale dell'attività del net-lab

## Risorse umane

Le risorse umane provenienti dal mondo della ricerca e che si ritengono necessarie per raggiungere gli obiettivi prefissati dal net-lab NANOFABER comprendono sia personale già esistente nelle diverse strutture partecipanti al laboratorio sia nuovo personale, per un totale di 113 unità. La distribuzione di tali risorse è rappresentata nel grafico seguente.



## Facilities

Le singole strutture partecipanti al net-lab NANOFABER dispongono attualmente di attrezzature altamente specializzate nel campo del trattamento superficiale e della micro e nanofabbricazione che potranno essere messe a sistema, trasformandosi così in uno strumento di particolare valore aggiunto al trasferimento tecnologico verso le imprese.

In particolare le strutture partecipanti al net-lab sono in grado di creare un sistema di laboratori e attrezzature scientifiche i cui elementi più significativi sono elencati qui di seguito. In tale elenco vengono specificate tra parentesi le strutture che contribuiscono alle relative dotazioni.

- ◆ Laboratorio Nanofabbricazione top-down mediante focussed ion beam lithography. Sistema FIB (INFM – S3). Si tratta di una macchina a due fasci (FEI Strata™ DB 235) che combina una colonna FIB di alta risoluzione con sorgente di gallio liquido ed una colonna SEM equipaggiata con sorgente di elettroni Schottky Field Emission. FIB offre la possibilità di scolpire o patternare nano-strutture su differenti materiali con risoluzione spaziale fino a 20 nm
- ◆ Laboratorio Microscopia a Scansione di Sonda e Nanomanipolazione. 10 microscopi a scansione di sonda con tutte le tecniche in ambiente ed UHV (ISMN, ISOF, INFM – S3)

- 
- ◆ Laboratorio di caratterizzazione strutturale. Microscopio elettronico in trasmissione con cannone ad effetto di campo dotato di rivelatori per indagini analitiche (EELS, microanalisi a raggi X e contrasto Z), microscopio elettronico in scansione e laboratorio per preparazione campioni (IMM).
  - ◆ Laboratorio per la Litografia 2D e 3D con risoluzione 100 nm su materiali fotoresistivi. Sonde ottiche nanoscopiche confocali (ISMN)
  - ◆ Laboratorio di Crescita. Sublimazione in ultra-alto vuoto in regime di deposizione per fasci molecolari organici (OMBD); channel spark ablation di film inorganici e nanotubi, Chemical Vapour Deposition (CVD) di nanotubi di carbonio; crescita di nanowires metallici all'interno di nanostampi (ISMN, OS, IMM-Bo)
  - ◆ Laboratorio prototyping. Replica molding; fabbricazione di matrici per deposizione metalli ed ossidi su maschere (ISMN)
  - ◆ Laboratorio Nanoimprinting, nanolitografia. In questo laboratorio si sviluppano tecniche di stampa a contatto, auto-organizzazione anche assistita da stampi, crescita su templati. Le principali strumentazioni disponibili sono presse per stampa a contatto e pressione fino a 2" di diametro e posizionatori di stampi con accuratezza di nm (ISMN)
  - ◆ Laboratorio funzionalizzazione superfici. Semiconduttori e dielettrici molecolari e polimerici, precursori metallici, nanoparticelle solubili, precursori per la funzionalizzazione di superfici (ISOF, UNIBO)
  - ◆ Linea tecnologica pilota in camera bianca (classe 10-100) per lo sviluppo di processi e la fabbricazione di circuiti integrati e di dispositivi microlavorati, idonea anche per piccole produzioni (IMM-Bo).
  - ◆ Laboratorio calcolo e simulazione. PC cluster con 48 processori, di cui: 16 nodi biprocessore (32 processori) modello; ibm x330 servers; Processori; Pentium III 1.4 Ghz MTX; Memoria: 1 gb reale; 8 nodi biprocessore (16 processori); modello: Xseries 335 processori: Intel Xeon 2.6GHz/400MHz ram: 1,5 GB di memoria RAM rete interna: gigabit; Disco: 70 gb disco utenti; 200 gb disco scratch; rete interna: fast ethernet. Nel laboratorio si sviluppano programmi di calcolo e di simulazione, grazie anche alla possibilità di accesso al supercalcolo del CINECA (INFN – S3, UNIBO)
  - ◆ Laboratorio sorgenti fotoniche e luminose nanometriche. Matrici 2D di sorgenti oled; strutture oled; dispositivi ibridi/spintronici. Sistema spettroscopico confocale (ISMN, ISOF, UHV, OS)
  - ◆ Laboratorio ibridi/organici spintronica. Questo laboratorio è attrezzato con sistemi di deposizione ibrido/organico e di caratterizzazione magnetica ed ottica grazie ai quali è possibili ottenere giunzioni ibride organico/inorganico, memorie non volatili e transistor spin-polarizzato (ISMN, OS)
  - ◆ Laboratorio dispositivi nanostrutturati a doppia porosità di sistemi ibridi/organici fotovoltaici.
  - ◆ Laboratorio sintesi e crescita ossidi convenzionali e non convenzionali nanoporosi, sistemi caratterizzazione fotovoltaica (ISMN, IMM)

Obiettivo del net-lab sarà anche quello di continuare a rafforzare e sviluppare le funzionalità dei laboratori suddetti.

In Tabella 7.31 vengono descritte le proposte di upgrade delle apparecchiature e le finalità di ricerca per ciascun laboratorio.

<b>Descrizione ed apparecchiature</b>	<b>Implementazione</b>	<b>Attività</b>
Laboratorio Nanofabbricazione top-down mediante focussed ion beam lithography. Sistema FIB	Up-grade FIB, preparazione nanofabbricazione, camere pulite.	Nanofabbricazione, manipolazione, metrologia con tecniche locali
Posizionamento ed interconnessione di singole nanostrutture, molecole, nanotubi. mediante microscopi a scansione di sonda, in condizioni ambientali ed ultra-alto vuoto	Completamento sistema UHV con AFM e elettronica di controllo per manipolazione	
Laboratorio Nanomanipolazione SPM. 10 microscopi a scansione di sonda con tutte le tecniche in ambiente ed UHV	Microscopio SPM multimode per larga area/ con riposizionamento ; integrazione di microscopi con macchine e processi di fabbricazione	
Laboratorio per la Litografia 2D e 3D con risoluzione 100 nm su materiali fotoresistivi. Sonde ottiche nanoscopiche confocali	Software e sistema di processo scrittura, integrazione piattaforma processo dispositivi	Nanofabbricazione confocale multifotonica
Laboratorio di Crescita. Sublimazione in ultra-alto vuoto in regime di deposizione per fasci molecolari organici (OMBD); channel spark ablation di film inorganici e nanotubi. CVD di nanotubi di carbonio, crescita di nanowires metallici in nanostampi	Diffratometro a raggi X ad angolo radente; Plasma cleaner per preparazione campioni TEM	Crescita di film sottili molecolari ed ibridi
Laboratorio prototyping. Replica molding; fabbricazione di matrici per deposizione metalli ed ossidi su maschere fatte da terzi.	Electron Beam Lithography	Fabbricazione di stampe per rapid prototyping
Laboratorio Nanoimprinting, nanolitografia. Tecniche di stampa a contatto, auto-organizzazione anche assistita da stampe, crescita su templati; presse per stampa a contatto e pressione fino a 2" di diametro; posizionatori di stampe con accuratezza di nm.	Fabbricazione in camera pulita classe 10000; sistema di ri-allineamento per stampa a più stadi; stampanti a getto d'inchiostro.	Nanolitografia e patterning di film organici e nanotubi
Laboratorio funzionalizzazione superfici. Semiconduttori e dielettrici molecolari e polimerici, precursori metallici, nanoparticelle solubili, precursori per la funzionalizzazione di superfici.	Materiali di consumo, Personale dedicato	Materiali multifunzionali per nanofabbricazione
Linea tecnologica pilota in camera bianca (classe 10-100) per lo sviluppo di processi e la fabbricazione di circuiti integrati e di dispositivi microlavorati	Sistema litografico ad alta risoluzione; stazione dedicata per assemblaggio ibrido di microcomponenti; ion miller per attacchi ad elevata anisotropia	membrane, travi, cantilever, micropunte, microcanali e strutture interdigitate microhotplates, circuiti microfluidici, sistemi oscillanti/risonanti, microposizionatori, di microbanchi ottici e guide d'onda integrate, dispositivi per ambienti ostili ed alte temperature; Prototipi di sistemi multifunzionali
Laboratorio calcolo e simulazione. Clusters di processori, sviluppo di programmi di calcolo e simulazione, accesso a supercalcolo del CINECA	Workstations, Simulatori per scale spaziali multiple, Personale dedicato	Simulazioni di aggregati, nanostrutture, sistemi confinati e modellizzazione di sistemi funzionali meccanici
Laboratorio sorgenti fotoniche e luminose nanometriche. Matrici 2D di sorgenti oled; strutture oled; dispositivi ibridi/spintronici. Sistema spettroscopico confocale	Integrazione sistema spettroscopico confocale con pompe multifoniche OPO, personale, camere pulite	Sorgenti luminose nanometriche disposte su reticoli

<b>Descrizione ed apparecchiature</b>	<b>Implementazione</b>	<b>Attività</b>
Laboratorio ibridi/organici spintronica. Giunzioni ibride organico/inorganico; memorie non volatili; transistor spin-polarizzato. Sistemi deposizione ibrido/organico, caratterizzazioni magnetiche ed ottiche	Sistemi magneto-ottici spettroscopici integrati a crescita CSP ed ibrida/organico	Nuove architetture per spintronica
Laboratorio Dispositivi nanostrutturati a doppia porosità di sistemi ibridi/organici fotovoltaici. Laboratorio sintesi e crescita ossidi convenzionali e non convenzionali nanoporosi, sistemi caratterizzazione fotovoltaica	Camere pulite per preparazione nanostrutture a doppia porosità Integrazione dispositivi fotovoltaici nella piattaforma tecnologica	Celle fotovoltaiche ibride nanostrutturate

*Tabella 7.31 – Laboratori del net-lab NANOFABER e proposte di sviluppo delle attrezzature di laboratorio*

### **7.6.3.3 Net-Lab: Materiali e processi per la progettazione meccanica (MATMEC)**

#### **Mission**

La finalità primaria del laboratorio a rete MATMEC consiste nell'integrare le consolidate competenze che nella regione già esistono nei diversi settori della meccanica (progettazione, processi di produzione, lavorazioni, trattamenti termici e meccanici, caratterizzazione e criteri di scelta dei materiali, strategie per applicazioni specifiche), con particolare riguardo alle correlazioni tra struttura dei materiali, proprietà e comportamento in opera, così da conseguire i consistenti progressi e il valore aggiunto consentiti dalla interdisciplinarietà e dalle sinergie che si intendono attivare.

Le linee di sviluppo delle attività riguarderanno i materiali metallici, ceramici, polimerici e compositi ed i processi per il loro ottenimento, con attenzione alle strategie sia di sostituzione sia di innovazione. Sostanziali sviluppi delle conoscenze su materiali e processi sono attesi dalla quota di ricerca strategica di base, condotta in forme integrate tra gruppi depositari di competenze diverse, dall'impiego e dallo sviluppo coordinato delle attrezzature scientifiche e tecnologiche, dall'interscambio continuo e costruttivo con il mondo produttivo. Dal citato aumento delle conoscenze è atteso un progresso considerevole.

Un'adeguata integrazione di competenze teorico-modellistiche e applicative nei diversi settori dei materiali strutturali per componenti meccaniche e per applicazioni nella meccanica (abrasivi, utensili, accessori, ecc.) potrà rendere disponibili, alla progettazione meccanica, materiali con proprietà migliori di resistenza alla fatica, alla frattura, all'usura e alla corrosione in condizioni operative più severe, come pure di materiali innovativi, che presentino proprietà adatte ad aprire la strada a nuove, più leggere e più efficienti applicazioni in campo meccanico.

In tale ambito, un aspetto importante delle attività sarà costituito dalle collaborazioni con gruppi di lavoro di altri net-lab, quali SUP&RMAN per le applicazioni in cui, sia la superficie sia il cuore del materiale, siano sottoposti a sollecitazioni meccaniche e chimiche severe, e NANOFABER per la messa a punto e la caratterizzazione di materiali a struttura nanofasica.

#### **I filoni – descrizione**

Il net-lab MATMEC opererà attraverso una stretta interconnessione delle strutture che lo compongono. I rapporti scientifici sui due macro-filoni di ricerca individuati e da sviluppare entro la rete (in parte esistenti, in parte da consolidare, in parte da creare) sono mostrati in Figura 7.19 in modo schematico.

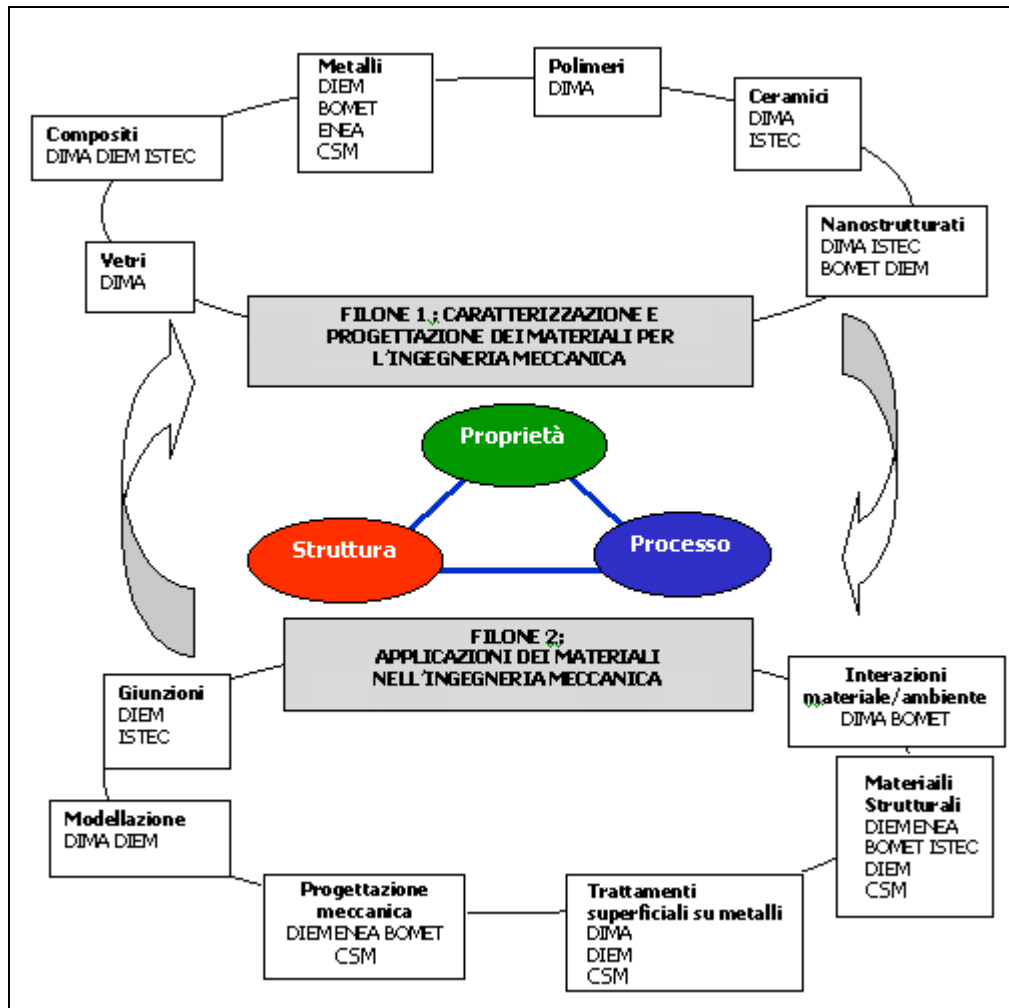


Figura 7.19 - I rapporti scientifici sui due macro-filoni di ricerca da sviluppare entro la rete del net-lab

I filoni di ricerca su cui il net-lab MATMEC indirizzerà i propri sforzi di ricerca sono descritti qui di seguito.

### 1. Caratterizzazione e progettazione dei materiali per l'ingegneria meccanica

Questa tematica è relativa ad un'eccellenza scientifica già esistente in regione presso gli Enti partecipanti al net-lab MATMEC, matura ed ampiamente documentata, per la quale da un lato è necessario il mantenimento di un'attività di studio di alto livello, dall'altro, è necessario l'avvio (per alcuni settori) e l'implementazione (per altri aspetti) di una attività orientata al trasferimento tecnologico.

Il filone di ricerca individuato e proposto ha lo scopo di portare alla progettazione ed alla realizzazione, ad ampio spettro, di nuovi materiali e di nuovi processi per l'ingegneria meccanica. Tali materiali potranno essere ottenuti anche attraverso la caratterizzazione dei differenti materiali attualmente in uso nell'industria meccanica. Studiandone le caratteristiche fondamentali e il comportamento in differenti condizioni ambientali, è possibile identificare quelle particolari condizioni ambientali che generano le modifiche strutturali desiderate.

I materiali che verranno presi in considerazione spaziano da quelli tradizionali (metallici, ceramici e vetri) a quelli più innovativi (polimeri, compositi a differente matrice e nanostrutturati). Le

differenti ed innovative tecnologie produttive rappresentano un fondamentale aspetto per individuare le possibilità migliorative per tutti questi materiali anche in funzione delle condizioni di utilizzo sempre più spinte e specifiche.

La ricerca verrà rivolta allo studio del comportamento dei materiali attualmente utilizzati posti in opera nei settori della meccanica per individuare nuove soluzioni progettuali (prodotti e processi) che vadano nella direzione di ottenere sistemi caratterizzati da:

- prestazioni migliori e maggiore affidabilità, pur garantendo proprietà tribologiche e funzionali ottimali rispetto agli attuali in uso;
- ridotta utilizzazione delle materie prime;
- nuove funzionalità applicative;
- riduzione di costi o dell'impatto ambientale.

## 2. Applicazioni dei materiali nell'ingegneria meccanica

La possibile applicazione dei materiali progettati nel filone rappresenta un aspetto di particolare importanza ed interesse per lo sviluppo tecnologico dell'intera regione.

L'esigenza crescente in diversi settori dell'ingegneria meccanica di una sostituzione di materiali tradizionali con leghe leggere, ceramici o compositi ha generato un notevole interesse verso i suddetti materiali.

Le attività previste e sviluppate consentiranno di ottimizzare i processi produttivi, in sinergia sia con le aziende che li realizzano, che con quanti operano nell'ambito della simulazione di processo, al fine anche di validare i risultati ottenuti da questi ultimi. Sarà così possibile definire, in funzione della tipologia di componente ingegneristico da realizzare, quale sia il processo di produzione più idoneo, anche dal punto di vista economico.

Questo filone, si pone l'obiettivo di analizzare, sperimentare, modellare numericamente e trasferire all'industria (meccanica, navale ed aeronautica), i risultati in termini di affidabilità e sicurezza di componenti sia di materiali tradizionali sia per materiali innovativi (nuove leghe, ceramici vetro-ceramici e compositi) per applicazioni strutturali che richiedano elevate prestazioni in uso.

La competizione fra i materiali di uso ingegneristico richiede caratteristiche realmente ottimizzate, determinate dalla microstruttura dei compositi stessi e perciò controllate sia dai processi di produzione che di successiva lavorazione. In particolare, studi recenti hanno evidenziato che i materiali nanostrutturati possono presentare originali proprietà, quali ad esempio: elevata tensione di snervamento con basso incrudimento, alta duttilità, particolari proprietà elastiche e dissipative, alta resistenza ad usura ed inoltre superplasticità ad elevata velocità di deformazione. Tali proprietà rendono questi materiali estremamente interessanti non solo per applicazioni nel campo della microelettronica e della sensoristica, ma anche delle costruzioni meccaniche.

## Struttura

Il net-lab è costituito da cinque attori principali tra dipartimenti universitari e centri di ricerca. La composizione effettiva del laboratorio è chiaramente mostrata in Tabella 7.32.

<b>CNR</b>	⇒	ISTEC, Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici, Faenza
<b>Università di Bologna</b>	⇒	DIEM - Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni Meccaniche, Nucleari, Aeronautiche e di Metallurgia BOMET - Istituto di Metallurgia
<b>Università di Modena e Reggio Emilia</b>	⇒	DIMA - Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente
<b>ENEA</b>	⇒	Centro di Ricerca "E. Clementel", Bologna - Sezione Metodologie Diagnostiche
<b>Centro Sviluppo Materiali S.p.A.</b>	⇒	Impresa privata attiva nella ricerca industriale per le aziende nel campo dei materiali

*Tabella 7.32 - Strutture di ricerca del net-lab MATMEC*

In aggiunta, le tematiche di ricerca proposte dal net-lab hanno suscitato, già nella fase progettuale, l'interesse di numerose imprese, particolarmente sensibili ai contenuti tecnologici toccati. L'area regionale è caratterizzata da cinque settori di elevata importanza a livello non solo nazionale ma anche internazionale con una notevole percentuale di prodotti esportati:

- ◆ l'area delle macchine automatiche per la produzione e l'impacchettamento di prodotti di consumo;
- ◆ la produzione di motori, telai e componentistica per prodotti di alta prestazione;
- ◆ la produzione e l'utilizzo di prodotti per il campo sanitario;
- ◆ prodotti per il meccano-ceramico e l'indotto ceramico;
- ◆ macchine e prodotti per lavorazione ed utensili.

Questi settori richiedono il continuo sviluppo di prodotti innovativi per migliorare e ottimizzare le prestazioni dei componenti e degli impianti anche in funzione delle caratteristiche di impatto ambientale e delle richieste del cliente. Per questo motivo, il net-lab MATMEC vuole essere uno strumento di supporto e di aiuto alla generazione di innovazione nelle imprese dell'Emilia-Romagna.

Le specifiche delle aziende interessate sono riportate nella Tabella 7.33 e Tabella 7.34, rispettivamente per i due specifici filoni di ricerca.

### Macro-filone 1: Caratterizzazione e progettazione dei materiali per l'ingegneria meccanica

N.	Azienda	Provincia	Attività	Partner con Capacità di Ricerca	Partner senza Capacità di Ricerca	Impresa User	Impresa Test-Bed
1	ARGOS	BO	Trattamenti Termici e Termochimici superficiali	si			
2	ARIOSTEA	RE	Azienda di impiantistica industriale	si			
3	CARBO	BO	Trattamenti Termici e Termochimici superficiali	si		si	
4	CENTRO PROTESI INAIL	BO	Azienda costruttrice ed utilizzatrice di protesi esterne	si		si	si
5	DUCATI CORSE	BO	Produzione motociclette da competizione	si		si	
6	DUCATI MOTOR	BO	Produzione motocicli	si		si	
7	G.D	BO	Progettazione e realizzazione di macchine e linee complete per la produzione di sigarette.	si		si	
8	HERA	BO	Azienda multiutility	si			
9	ISTITUTI ORTOPEDICI RIZZOLI	BO	Azienda costruttrice ed utilizzatrice di protesi interne	si			si
10	META	MO	energia elettrica, gas e calore, servizi per l'ambiente, servizi idrici	si		si	
11	POGGIPOLINI	BO	Produzione componenti meccanici per uso automobilistico, motociclistico, aeronautico (lavorazioni meccaniche, saldatura e trattamenti termici) in leghe di Titanio, leghe di Alluminio, leghe Speciali.	si		si	
12	SAMPUTENSILI	BO	Trattamenti e rivestimenti superficiali, macchine utensili per la produzione di ingranaggi	si		si	
13	TETRA PAK	MO	Macchine confezionamento per ed imballaggio	si			

Tabella 7.33 - Aziende che hanno mostrato interesse verso il net-lab MATMEC rispetto allo specifico filone di ricerca

**Macro-filone 2: Applicazioni dei materiali nell'ingegneria meccanica**

N.	Azienda	Provincia	Attività	Partner con Capacità di Ricerca	Partner senza Capacità di Ricerca	Impresa User	Impresa Test-Bed
1	<b>ARGOS</b>	BO	Trattamenti Termici e Termochimici superficiali	si			
2	<b>ARIOSTEA</b>	RE	Azienda di impiantistica industriale	si			
3	<b>CARBO</b>	BO	Trattamenti Termici e Termochimici superficiali	si		si	
4	<b>CENTRO PROTESI INAIL</b>	BO	Azienda costruttrice ed utilizzatrice di protesi esterne	si		si	si
5	<b>DUCATI CORSE</b>	BO	Produzione motociclette da competizione	si		si	
6	<b>DUCATI MOTOR</b>	BO	Produzione motocicli	si		si	
7	<b>G.D</b>	BO	Progettazione e realizzazione di macchine e linee complete per la produzione di sigarette.	si		si	
8	<b>HERA</b>	BO	Azienda multiutility	si			
9	<b>ISTITUTI ORTOPEDICI RIZZOLI</b>	BO	Azienda costruttrice ed utilizzatrice di protesi interne	si			si
12	<b>MARAZZI GRUPPO CERAMICHE</b>	MO	Produzione materiali e semilavorati ceramici	si		si	
10	<b>META</b>	MO	Energia elettrica, gas e calore, servizi per l'ambiente, servizi idrici	si		si	
11	<b>POGGIPOLINI</b>	BO	Produzione componenti meccanici per uso automobilistico, motociclistico, aeronautico (lavorazioni meccaniche, saldatura e trattamenti termici) in leghe di Titanio, leghe di Alluminio, leghe Speciali.	si		si	
13	<b>SAMPUTENSILI</b>	BO	Trattamenti e rivestimenti superficiali, macchine utensili per la produzione di ingranaggi	si		si	

Tabella 7.34 - Aziende che hanno mostrato interesse verso il net-lab MATMEC rispetto allo specifico filone di ricerca

## **Programmazione**

### ***Programmazione temporale di lungo periodo***

Quale primo passo progettuale, le strutture afferenti al net-lab MATMEC intendono condividere e mettere a sistema sia il patrimonio di conoscenze esistenti sia le attrezzature scientifiche disponibili nei diversi laboratori.

Successivamente si procederà all'acquisizione di nuove attrezzature e l'aumento delle risorse umane da destinare alle attività di ricerca, fase che avverrà in maniera mirata, in modo da evitare duplicazioni ed ottimizzando al meglio le risorse disponibili ed acquisibili.

Grande importanza sarà data allo sviluppo di conoscenze approfondite negli argomenti di frontiera nel campo dei processi riguardanti i materiali, la loro caratterizzazione meccanica e microstrutturale finalizzata ad applicazioni ingegneristiche.

Quale naturale evoluzione del processo di acquisizione di conoscenze ed esperienza nel campo del miglioramento dei materiali, si procederà ad una fase di trasferimento delle conoscenze acquisite a beneficio delle aziende operanti in ambito regionale e nazionale, con attenzione particolare alle PMI. Nel contempo, sarà anche curata la divulgazione dei risultati alla comunità scientifica nazionale ed internazionale.

L'attività di ricerca, in cui il net-lab MATMEC sarà impegnato, prevede alcune tappe progettuali, descritte in forma di workpackages (WP) qui di seguito.

Tappe progettuali per lo sviluppo del Filone 1 (Caratterizzazione e progettazione dei materiali per l'ingegneria meccanica):

- ◆ WP 1.1: Descrizione dei comportamenti macroscopici in termini microscopici. Realizzazione di sistemi-modello, simulazioni ed esperimenti
- ◆ WP 1.2: Metodi e strumentazioni per la misurazione/modellazione delle proprietà sulla multi-scala
- ◆ WP 1.3: Studio dei processi di trasformazione
- ◆ WP 1.4: Progettazione multiscala dei materiali/Realizzazione e processi

Tappe progettuali per lo sviluppo del Filone 2 (Applicazioni dei materiali nell'ingegneria meccanica):

- ◆ WP 2.1: Processi convenzionali e non-convenzionali per la produzione dei materiali
- ◆ WP 2.2: Assemblaggio dei materiali
- ◆ WP 2.3: Nanostrutturazione per prestazioni tribologiche avanzate
- ◆ WP 2.4: Ciclo di vita dei materiali

Il diagramma seguente schematizza il flusso temporale delle attività sopra elencate.

	1 anno	2 anno	3 anno	4 anno	5 anno
WP1.1	■				
WP1.2	■				
Wp1.3	■				
WP1.4		■			
WP2.1	■				
WP2.2	■				
WP2.3		■			
WP2.4	■				

Figura 7.20 – Programmazione temporale dell'attività del net-lab

### **Organizzazione progettuale dell'attività**

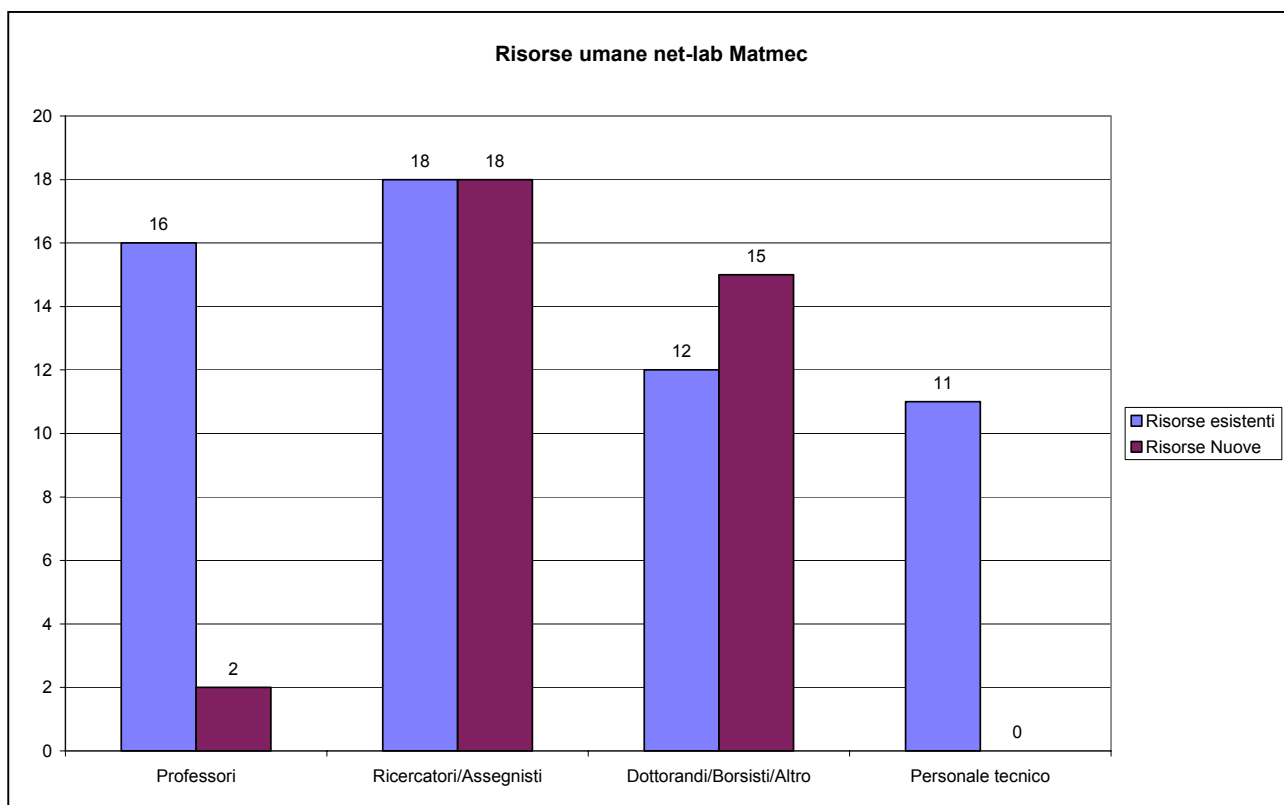
La modalità operativa, con cui il net-lab MATMEC opererà, sarà quella progettuale, attraverso la preparazione e presentazione congiunta, da parte di due o più strutture, di specifici progetti, anche in collaborazione con realtà esterne al laboratorio. In particolare, lo sviluppo progettuale potrà prevedere i progetti di seguito riportate.

- ◆ Progetto 1: Materiali compositi per applicazioni strutturali ad elevate prestazioni
- ◆ Progetto 2: Simulazione numerica, caratterizzazione e prove sperimentali su materiali
- ◆ Progetto 3: Materiali polimerici ed ibridi organici-inorganici
- ◆ Progetto 4: Ceramiche, vetri, vetroceramici e compositi strutturali funzionalizzati per applicazioni termiche, antiusura, elettriche - sviluppo dei materiali e caratterizzazioni microstrutturali, termo-meccaniche, tribologiche, elettriche, resistenza ad ossidazione, corrosione, impatto
- ◆ Progetto 5: Giunzioni metallo/metallo, ceramica/metallo e ceramica/ceramica, modellazione e caratterizzazione delle interfacce, proprietà meccaniche delle giunzioni, influenza delle condizioni ambientali previste dalle applicazioni sulle proprietà delle giunzioni
- ◆ Progetto 6: Leghe leggere - ottimizzazione dei processi di produzione, di lavorazione, di trattamento termico, delle tecnologie di saldatura e metodologie di caratterizzazione
- ◆ Progetto 7: Sviluppo e caratterizzazione di acciai e leghe leggere per componenti meccanici sottoposti a forti sollecitazioni e cicli altamente ripetitivi
- ◆ Progetto 8: Applicazioni industriali dei plasmi e lavorazioni convenzionali e non convenzionali
- ◆ Progetto 9: Studi su nuovi materiali metallici alto-resistenziali e ad incremento prestazionale.
- ◆ Progetto 10: Ceramiche e compositi strutturali nanostrutturati - progettazione nano-strutture-tessiture-interfasi, simulazioni e modellazione (correlazioni nano-strutture/proprietà), innovazione nei processi di sviluppo e produzione dei materiali

- ◆ Progetto 11: Processi di modificazione delle superfici - correlazioni tra struttura e comportamento all'attrito, all'usura e alla corrosione
- ◆ Progetto 12: Modellazione e studio di protesi
- ◆ Progetto 13: Caratterizzazione fluidodinamica e meccanica dei materiali in forma granulare

## Risorse umane

La figura successiva fornisce una visione di insieme delle risorse umane provenienti dal mondo della ricerca che si ritengono necessarie per raggiungere gli obiettivi del net-lab MATMEC. Il numero totale di risorse è pari a 92 unità.



## Facilities

Saranno utilizzati e messi in rete i laboratori delle strutture coinvolte ed, allo stesso tempo, saranno acquistate attrezzature specifiche.

### Attrezzature da realizzare attraverso il net-lab

Le principali carenze da un punto di vista strumentale sono identificate nel settore delle tecniche per la caratterizzazione microstrutturale, meccanica e tribologica avanzata multiscala, per l'acquisizione di dati, per la modellazione multiscala e per la produzione controllata dei materiali.

Il net-lab può colmare queste carenze attraverso specifici progetti per l'acquisizione di apparecchiature, tra cui indicativamente:

◆ Sistema per prove tribologiche a temperatura variabile

Il sistema permette di valutare: il tempo di vita in condizioni di strisciamento di rivestimenti, a secco o in condizione di auto lubrificazione; comportamento ad attrito e usura di metalli e leghe, di ceramici, di materiali compositi (in particolare a matrice metallica rinforzata con ceramici) e di rivestimenti duri resistenti ad usura. Il sistema permette di variare in modo controllato il carico applicato, la velocità del moto relativo, il percorso di strisciamento, la temperatura (fino a 800°C almeno) e l'ambiente di prova (incluse le condizioni di vuoto). Al sistema devono essere associate attrezzature idonee a valutare rugosità, ondulazioni e profili delle superfici in esame, nonché l'adesione di rivestimenti al sostrato (scratch-tester). Gli obiettivi primari consistono nella caratterizzazione di materiali e di rivestimenti sia migliorati che innovativi resistenti ad usura, per componenti meccanici destinati ad impieghi strutturali in condizioni operative severe.

Stima di costo complessivo 90.000 euro.

◆ Sistemi per trattamenti termochimici

Si tratta di sistemi che permettono di produrre strati superficiali di microstruttura e spessore modellati, mediante arricchimento e diffusione in elementi cementanti, nitruranti, ecc. Si propone in particolare di realizzare un sistema per trattamenti termochimici in fase gassosa e per diffusioni a temperature controllate e modificabili in continuo, con l'impiego di forni ad atmosfera controllata e sotto vuoto, con possibilità di immissione di gas di reazione di vario tipo. Gli obiettivi primari consistono nella modificazione delle proprietà superficiali di materiali per componenti meccanici, allo scopo di migliorarne la resistenza all'usura, alla corrosione e alla fatica mediante la produzione di strati superficiali sia migliorati che innovativi.

Stima di costo complessivo 50.000 euro.

◆ Macchina di prova materiali risonante

Per completare il parco macchine di prova materiali è necessario acquisire una macchina risonante, con frequenza di lavoro si 80-100 Hz e con capacità di carico di almeno 100 kN per prove di fatica ad alto numero di cicli su provini di medie dimensioni.

Stima di costo complessivo 120.000 euro.

◆ Tornio a controllo numerico

Sistema necessario a produrre i provini di buona qualità per tutte le prove meccaniche in tempi ragionevoli e con costi nettamente inferiori a quelli di mercato.

Stima di costo complessivo 50.000 euro.

◆ Diffratometro a raggi X (XRD) di nuova generazione per polveri implementabile, per il riconoscimento di fasi, la determinazione di tessiture e la valutazione di tensioni residue.

Stima di costo complessivo 150.000 euro.

### **Attrezzature da condividere e sviluppare attraverso il net-lab**

In questo paragrafo vengono individuati i laboratori e le infrastrutture che il net-lab MATMEC avrà a disposizione grazie alla messa a sistema delle facilities già esistenti presso ciascuna delle strutture coinvolte. In particolare, questi laboratori sono elencati di seguito.

- ◆ Presso DIEM sono attivi i seguenti laboratori:
  - laboratorio di caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei materiali a carichi statici, a fatica, torsionali e flessionali;
  - laboratorio informatico per l'analisi dei risultati dotato di softwares commerciali e codici di calcolo numerici creati al Dipartimento per l'analisi delle acquisizioni e la modellazione numerica;
  - laboratorio di tecniche estensimetriche per consentire la determinazione puntuale delle deformazioni in componenti sottoposti a carichi statici e dinamici attraverso l'incollaggio di estensimetri resistivi;
  - laboratorio di tecniche fotoelastiche per lo studio delle deformazioni in componenti meccanici caricati staticamente, attraverso l'analisi dell'immagine osservata su un polariscopio di simulacri in materiale plastico con indice di rifrazione variabile in funzione del carico applicato.
  
- ◆ Presso DIMAunimore sono attivi i seguenti laboratori:
  - laboratorio tecnologico: il laboratorio dispone di apparecchiature per la caratterizzazione micromeccanica e tribologica dei materiali e delle superfici per applicazione industriale. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimabile in 100.000 euro.
  - laboratorio analisi termica per altissima temperatura (2.400°C): nel laboratorio viene studiato il comportamento termico e termomeccanico dei materiali a temperature fino a 2400°C in diversi ambienti per l'ottimizzazione delle loro applicazioni. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimabile in 200.000 euro.
  - laboratorio caratterizzazione materiali: il laboratorio è attrezzato con apparecchiature a temperatura variabile per la caratterizzazione microstrutturale spinta e per lo studio delle dinamiche strutturali e microstrutturali dei materiali e delle superfici per applicazione industriale anche ad alta temperatura. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimabile in 400.000 euro.
  
- ◆ Presso ENEA sono attivi i laboratori:
  - laboratorio di diagnostica dei materiali mediante spettroscopia positronica: presso il laboratorio sono state implementate allo stato dell'arte tutte le tecniche sperimentali di spettroscopia positronica finalizzate allo studio delle proprietà di "bulk" dei materiali. In particolare, sono presenti un impianto 2D-ACAR (2 Dimensional-Angular Correlation of Annihilation Radiation) per l'analisi della correlazione angolare della radiazione di annichilazione dei positroni, due spettrometri per la misura del tempo di vita dei positroni ed un sistema CDB (Coincidence Doppler Broadening) per lo studio in coincidenza dell'allargamento Doppler della radiazione gamma di annichilazione. Sono inoltre presenti numerose altre apparecchiature di supporto alle misure quali: un diffrattometro a raggi X, forni per trattamenti termici, sistemi criogenici. Le tecniche di misura utilizzate presso il laboratorio permettono lo studio della struttura dei materiali e di alcuni loro difetti nanostrutturali che sono alla base di molte delle proprietà

macroscopiche dei materiali. Sono inoltre possibili l'analisi della struttura elettronica e delle proprietà magnetiche di materiali speciali. Le attrezzature presenti nel laboratorio hanno un valore stimabile in 500.000 euro

- laboratorio di microscopia elettronica a scansione: la microscopia SEM viene utilizzata per effettuare in modo rapido studi morfologici di superfici e ricoprimenti. Il valore delle attrezzature e' pari a circa 80.000 euro.
- laboratorio di modellizzazione delle proprietà strutturali dei materiali: per l'analisi dei risultati e la simulazione del comportamento strutturale dei materiali, il laboratorio dispone di codici di calcolo numerico analisi ed acquisizione dati creati all'interno della Sezione Metodologie Diagnostiche a cui si aggiungono alcuni prodotti commerciali di supporto. Il valore complessivo dell'hardware e del software presente nel laboratorio ha un valore di circa 80.000 euro

◆ Presso BOMET sono attivi laboratori mirati a:

- laboratorio controllo strutturale: il laboratorio di controllo strutturale di BOMET include facilities finalizzate alla caratterizzazione della struttura (macro- e microcristallina di materiali inorganici, specialmente idonei per impieghi strutturali). Tali facilities comprendono attrezzature per la preparativa, microscopi (ottico OM con analizzatore di immagine, elettronico a scansione con microsonde EDS e WDS, a forza atomica AFM), diffrattometro XRD per il riconoscimento delle fasi e la misura di parametri reticolari, durometri e microdurometri, spettrofotometro per assorbimento atomico in fiamma per analisi di composizione, calorimetro differenziale a scansione (DSC) per analisi termiche
- laboratorio di prove fisico-meccaniche: il laboratorio di prove fisico-meccaniche di BOMET include facilities finalizzate alla valutazione del comportamento sotto sollecitazioni meccaniche statiche e dinamiche di materiali metallici e compositi, anche a temperature elevate. Tali facilities comprendono attrezzature per prove di trazione-compressione, per prove di fatica, per prove di resilienza strumentate ai fini dell'analisi del transitorio, per studi di comportamento superplastico. Un impegno specifico e' mirato a studi di tribologia (attrito; usura; lubrificazione) su materiali metallici, ceramici e compositi, e su materiali rivestiti con tecniche varie, per componenti destinati a impieghi strutturali, con l'impiego di tribometri per contatti di strisciamento (pin-on-disk per bassi carichi; pin-on-ring per carichi elevati) e abrasivi (micro-scale abrasion tester, MSAT).
- laboratorio di prove di corrosione: il laboratorio di prove di corrosione di BOMET include facilities finalizzate alla valutazione del comportamento in ambienti aggressivi, sia in soluzioni che in gas e in funzione della temperatura, di materiali metallici e compositi a matrice metallica con l'impiego di potenziostato-galvanostato e di spettroscopia analizzatore di impedenza elettrochimica, EIS. L'uso di metodiche opportunamente differenziate e complementari mira in particolare allo studio dei meccanismi del danneggiamento dei materiali variamente sollecitati (meccanicamente; chimicamente), alla definizione di correlazioni quantitative tra struttura e proprietà, alla modellizzazione del comportamento e alla conseguente definizione di criteri di scelta dei materiali per applicazioni in condizioni specifiche di prova e di esercizio.

- ◆ Presso ISTEK sono attivi laboratori laboratori:
  - per il processo produttivo dei ceramici avanzati ossidici e non ossidici. Le attività che si possono svolgere all'interno di questo laboratorio spaziano dal trattamento delle polveri (mulini, frantoi, miscelatori, liofilizzatori, essiccatori, ecc ) alla sinterizzazione (forni in aria fino a 1800°C, forni in atmosfera controllata fino a 2200°C, pressa a caldo, pressa isostatica a caldo, forno di sinterizzazione sotto pressione, ecc), dalla formatura (pressatura in stampi, pressatura isostatica a freddo, colaggio in stampi, colaggio su nastro, estrusione) alla lavorazione meccanica, alla produzione di giunti ceramica-ceramica o ceramica-metallo
  - per la caratterizzazione di polveri, semilavorati, prodotti finiti. In particolare le analisi realizzabili riguardano:
    - \* *caratterizzazione microstrutturale*: microscopia elettronica a scansione, microsonda, ICP, spettrometro a fluorescenza, termoanalisi TG (DTA, dilatometri, diffrattometria dei raggi X, granulometro, porosimetro, misuratore superficie specifica, microscopio riscaldante)
    - \* *caratterizzazione reologica* di impasti e sospensioni (viscosimetri)
    - \* *chimica delle interfasce* (acustosizer)
    - \* *caratterizzazioni di superfici: rugosimetria*
  - per la misura delle proprietà:
    - \* *meccaniche*: resistenza a flessione fino a 15500°C, tenacità a frattura fino a 1500°C, durezza, microdurezza, modulo di Young, nanopenetrazione
    - \* *tribologiche: resistenza ad usura in condizioni varie, resistenza ad erosione e ad impatto*
    - \* *attrito ed usura*
    - \* *caratterizzazione mediante strisciamento di ricoprimenti duri*
    - \* *elettriche*: resistività in un ampio intervallo
    - \* *termiche*: misura dell'espansione termica, della resistenza allo sbalzo termico
    - \* *chimico-fisiche*: resistenza ad ossidazione e corrosione in ambienti vari
  - per prove di lavorazioni meccaniche su banco
    - \* prove di efficienza utensili e lavorabilità dei materiali in lavorazione di tornitura, fresatura, foratura, maschiatura
    - \* metrologia
    - \* scratch test