

# IL SISTEMA PIEMONTESE DELLE NANOTECNOLOGIE

Piedmonts' Nanotechnologies System

UGO FINARDI<sup>a</sup>

<sup>a</sup>CNR-IRCRES, Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulla Crescita Economica Sostenibile, Moncalieri (TO) – Italia

corresponding author: ugo.finardi@ircres.cnr.it

## ABSTRACT

This work presents a descriptive analysis of the Regional System of Nanotechnologies and Nanosciences of Piedmont, an Italian Region located in the north-west of the Country. In a previous work we presented a bibliometric analysis of the scientific publications and analyzed regional nanotechnology patents. This paper instead presents: the full description of the nanoscience research topics undertaken by the researchers of the public research bodies; some Regional initiatives supporting research, innovation and technology transfer, both specific to nanosciences and nanotechnologies and generally addressed to regional development; a sample of firms (mainly micro and SMEs) and their potential of collaboration with research. At the end the work also resumes results and offers suggestions for future regional development.

**KEYWORDS:** Nanotechnologies, nanosciences, Italy, Piedmont, technology transfer, regional system of innovation.

**JEL codes:** O32, Q55, R11, R12

## HOW TO CITE THIS ARTICLE

Finardi, U. (2019) Le nanotecnologie e le nanoscienze in Piemonte. *Quaderni IRCrES*, 4(1), 17-44. <http://dx.doi.org/10.23760/2499-6661.2019.002>

- 
- 1 Introduzione
  - 2 La ricerca piemontese: *survey* sugli enti di ricerca
    - 2.1 Università degli Studi di Torino
    - 2.2 Politecnico di Torino
    - 2.3 Università del Piemonte Orientale “Amedeo Avogadro”
    - 2.4 INRIM – Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica
    - 2.5 CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche
    - 2.6 Commenti conclusivi
  - 3 Le imprese piemontesi attive nelle nanotecnologie
    - 3.1 Metodologia di reperimento delle informazioni
    - 3.2 Analisi
  - 4 Commenti conclusivi: il sistema piemontese delle nanotecnologie
  - 5 Bibliografia
- 

Il presente articolo è stato realizzato nell'ambito del progetto di ricerca “Le Nanotecnologie in Piemonte: studio per la creazione di un osservatorio operativo regionale” finanziato e sostenuto dalla Fondazione CRT. L'autore è grato alla Fondazione CRT per il sostegno che ha reso possibile il progetto. Si ringrazia MESAP (Piattaforma Tecnologica Regionale) che ha sostenuto il progetto e, in particolare, l'ing. P. Dondo per l'aiuto, l'incoraggiamento e la collaborazione. Si ringraziano i ricercatori e i docenti intervistati nell'ambito del presente progetto: per l'Università di Torino i proff. G. Ricchiardi, G. Cravotto, F. Turci, M. Truccato, I. Fenoglio; per il Politecnico di Torino i proff. F. Pirri, B. Bonelli, R. Sethi, B. Onida, C. Gerbaldi, R. Gonnelli, S. M. Spriano, A. Fina, F. Rossi, D. Fissore, F. Badini, A. Ferri, G. Malucelli, S. Bodoardo, P. Palmero, R. Pisano, C. Vitale Brovarone, G. Ciardelli, M. Gioannini, F. Corinto, M. Zamboni; per l'Università del Piemonte Orientale i proff. E. Gianotti e M. Laus; per l'INRIM il dr. L. Boarino; per il CNR-IMEM il dr. M. Cocuzza; per il CNR-IMAMOTER i dr. M. G. Faga e G. Gauthier di Confiengo; per il CNR-STIIMA i dr. C. Tonin e A. Varesano; per il CRF l'ing. N. Li Pira. Si ringraziano inoltre i rappresentanti delle imprese intervistati nel corso della ricerca, che non vengono citati per motivi di riservatezza. L'autore è infine grato al Direttore del CNR-IRCRES, dr. S. Rolfo per il continuo sostegno e per la collaborazione scientifica, alla dr. A. Emina per la collaborazione e ai colleghi per l'incoraggiamento e la collaborazione.

## 1 INTRODUZIONE

Questo lavoro, che fa seguito ad un altro pubblicato su questo stesso numero, si pone l'obiettivo di descrivere in maniera completa il sistema Piemontese delle Nanoscienze e Nanotecnologie (NST d'ora in poi). La sezione 2 infatti descrive in maniera esaustiva – anche se per forza di cose sintetica – le attività di ricerca nelle condotte negli Atenei e negli Enti di ricerca situati nella Regione Piemonte. Al termine di questa sezione vengono tratte delle considerazioni conclusive d'insieme, non prima di aver descritto alcune iniziative pubbliche di supporto al trasferimento tecnologico, alla ricerca e all'innovazione scientifica. La sezione 3 invece riporta i risultati di una *survey* relativa ad un campione di imprese variamente attive in ambito NST.

Le conclusioni mirano infine ad una analisi di insieme della situazione delle NST in Piemonte considerate nell'alveo della attuale situazione industriale ed economica.

Un inquadramento teorico ed una introduzione generale sono presenti nel lavoro pubblicato insieme al presente.

## 2 LA RICERCA PIEMONTESE: *SURVEY* SUGLI ENTI DI RICERCA

Questa *survey* sulle attività di ricerca NST negli enti piemontesi prende le origini innanzi tutto dal lavoro di ricerca bibliometrica e brevettuale descritto nel precedente lavoro. Oltre a questi dati sono stati seguiti altri canali per reperire le informazioni di base per questa *survey*. Innanzi tutto i siti internet degli enti di ricerca sono stati scansionati attentamente in modo da reperire tutti i laboratori e gruppi di ricerca attivi nelle NST. Inoltre si sono sfruttati i contatti personali, e durante le interviste è stato in alcuni casi chiesto ai ricercatori consiglio relativamente alle attività dei colleghi e ad una loro possibile inclusione nella *survey* stessa.

La *survey* infatti è basata essenzialmente su una serie di interviste con ricercatori e docenti degli Atenei e degli enti di ricerca. Queste interviste, che descrivono le attività di ricerca, costituiscono la parte principale di questa sezione. Assieme a questi dati sono riportati brevi paragrafi relativi ad una ricerca bibliometrica simile a quella presentata nel precedente lavoro, realizzata con una metodologia simile. Infatti il *set* di parole chiave è rimasto quasi lo stesso. Dalle singole *query*, però, è stato eliminato il termine di ricerca AND NOT (nano\*). Inoltre la ricerca è stata effettuata partendo prima dai singoli enti di ricerca e non, come nella precedente, selezionando prima i lavori scientifici attraverso le *query* e poi selezionando gli enti di ricerca. Questa metodologia è stata utilizzata fondamentalmente perché ha consentito di ottenere risultati più ampi, comprendendo nella ricerca un maggior numero di pubblicazioni scientifiche. D'altro canto però ha ovviamente catturato anche molti lavori spuri in cui il termine “nano” non era legato alle nanotecnologie. Tuttavia trattandosi di un lavoro su un numero di dati relativamente ristretto (dato che si lavorava sui singoli enti di ricerca) i risultati non sono eccessivamente contaminati.

Le sottosezioni qui di seguito descrivono le attività dei vari enti piemontesi. I risultati sono la sintesi di quelli pubblicati in Finardi (2019).

### 2.1 Università degli Studi di Torino

L'Università degli Studi di Torino (UniTO d'ora in poi) è la più antica e la più grande delle tre Università piemontesi. Le sue attività di trasferimento tecnologico sono state descritte da Rolfo e Finardi (2014). UniTO è un'università generalista, e le sue attività di ricerca e insegnamento superiore si svolgono in tutti i settori dell'Università italiana eccetto quelli dell'Ingegneria e dell'Architettura che, in Piemonte, sono monopolio del Politecnico di Torino. UniTO contava nel 2018 oltre 72 mila studenti e più di 1.900 docenti.

### 2.1.1 Analisi qualitativa: interviste. Il Centro di Eccellenza NIS – Nanostructured Interfaces and Surfaces

Le attività di ricerca in ambito NST ad UniTO sono storicamente concentrate nell'ambito del Centro Interdipartimentale di Eccellenza NIS – Nanostructured Interfaces and Surfaces<sup>1</sup>. Il NIS è stato fondato nel 2004 dopo che l'Università aveva ricevuto un finanziamento nell'ambito di un bando del Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca per la costituzione di Centri di Eccellenza in Italia. Le sue attività si sono svolte fin da allora collegando e raccogliendo sotto un'unica affiliazione le ricerche in ambito NST che si svolgevano in numerosi dipartimenti dell'Università. Nello specifico i Dipartimenti attualmente afferenti al centro interdipartimentale sono i seguenti: il Dipartimento di Chimica, il Dipartimento di Fisica, il Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, il Dipartimento di Scienza e Tecnologia del Farmaco, il Dipartimento di Scienze della Terra; i Dipartimenti di Chimica e Fisica sono ciascuno l'unione dei tre più tre Dipartimenti esistenti in precedenza. Svariate decine di professori e ricercatori, e numerosissimi Dottorandi, Assegnisti e borsisti afferiscono al Centro di Eccellenza.

Il ruolo del Centro di Eccellenza è cambiato nell'ambito dell'Ateneo negli ultimi anni, e particolarmente a seguito della riorganizzazione seguita alla riforma dell'Università attuata dalla legge 240/2010. Innanzi tutto il Centro non riceve più come in passato finanziamenti autonomi, e di conseguenza le attività del Centro sono principalmente culturali. Inoltre numerosi degli obiettivi e dei compiti che il Centro si era dato all'inizio della propria attività, e che costituivano una innovazione sostanziale del modo di fare ricerca, sono oggi compiti associati dei Dipartimenti, che sono assai più proattivi del passato. Di conseguenza iniziative quali la collaborazione scientifica interdisciplinare, la condivisione dei laboratori e delle strutture sono divenuti la normalità o sono addirittura sanciti dai regolamenti di Ateneo. Ad esempio i finanziamenti assegnati per l'acquisizione di strumentazione di ricerca comportano l'obbligo che gli strumenti vengano messi a disposizione di tutti i ricercatori dell'Ateneo, e di contraenti esterni quali le imprese.

Nonostante questi cambiamenti il Centro di Eccellenza NIS continua comunque ad avere un ruolo importante il collettore per le attività di ricerca NST nei Dipartimenti dell'Università: i professori e ricercatori coinvolti in queste linee di ricerca sono affiliati al NIS, che continua ad organizzare conferenze e seminari sotto la propria egida, e le pubblicazioni scientifiche NST continuano ad essere pubblicate con l'affiliazione NIS – Centre of Excellence.

UniTO è una Università generalista, impegnata in attività di ricerca in tutti i campi scientifici (esclusi quelli dell'Ingegneria e dell'Architettura). Questo fatto si riflette nei temi di ricerca NST principali che vengono sviluppati nei propri laboratori. Questi vengono quindi presentati nel dettaglio nella lista seguente.

- *Catalisi e materiali porosi.* Questo tema di ricerca comprende attività legate allo studio delle Zeoliti, dei MOFs (metallo-organic frameworks), così come quelle relative al tema, recentemente sviluppato, dei liquidi ionici porosi (liquidi organici ionici con svariate caratteristiche specifiche). Questi materiali vengono utilizzati come catalizzatori, per le loro caratteristiche di *gas trapping* ed anche per sintesi organiche selettive in processi di chimica verde. Altri argomenti sono quelli relativi alle proprietà della Silice funzionalizzata per applicazioni biomediche e dei coloranti intrappolati in zeoliti. Questi argomenti sono estremamente rilevanti non solo dal lato della ricerca di base ma anche per quanto riguarda i contratti industriali.
- *Fisica per le neuroscienze.* Questo tema di ricerca si occupa di realizzare, studiare e misurare la crescita di singoli neuroni o piccole reti neurali su supporti artificiali, occupandosi principalmente degli aspetti biochimici di base.
- *Fotocatalisi.* Le attività di ricerca nell'ambito della fotocatalisi sono orientate da un lato verso le applicazioni per il *water splitting* per la produzione di idrogeno, dall'altro all'abbattimento degli inquinanti. Un recente progetto realizzato con INRIM ha studiato la metrologia della fotocatalisi e la standardizzazione dei fotocatalizzatori.

<sup>1</sup> Vedi <http://www.nis.unito.it/> (link visitato a luglio 2019).

- *Hydrogen storage*. Nonostante sia diminuito l'interesse nei confronti dell'argomento per quanto riguarda l'industria dell'automotive, l'hydrogen storage continua ad essere un argomento estremamente rilevante principalmente grazie alle sue applicazioni nelle *fuel cells* ad idrogeno. A questo scopo nei laboratori UniTO continuano a venir studiati idruri di metalli leggeri.
- *Vetri metallici*. I vetri metallici, così come i metalli amorfi porosi, in particolare l'oro poroso ottenuto con tecniche di dealligazione, sono studiati per il loro utilizzo nei sensori, così come per materiali da utilizzare nelle tecniche spettroscopiche SERS (Surface Enhanced Raman Scattering).
- *Materiali termoelettrici*. Questo filone di ricerca comporta lo studio di giunzioni di materiali termoelettrici drogati con lo scopo del recupero di energia.
- *Nano-biochimica*. Sotto questa etichetta vengono riunite attività di ricerca che riguardano lo studio di enzimi modificati per la produzione di idrogeno e la realizzazione di celle fotoelettrochimiche.
- *Compositi caricati con carbonio*. In questa linea di ricerca vengono studiati e preparati polimeri isolanti caricati con materiali a base di carbonio con caratteristiche piezo resistive, ovvero la cui conduttività varia al variare della pressione. Questi materiali quindi vengono studiati per il loro uso nell'industria dell'automotive: questo campo ha una grande importanza sul lato della cooperazione industriale.
- *Altri materiali compositi*. Recentemente nell'ambito delle ricerche NST UniTO sono stati sviluppati nuovi materiali per l'industria aerospaziale.
- *Tecnologie del diamante*. Il diamante viene studiato sotto due profili: il primo è quello di supporto per studi di neuroscienze (vedi sopra); il secondo è quello legato alla creazione di nanodevices per fluidi. A questo scopo vengono creati nanocanali nella struttura del diamante utilizzando tecniche di bombardamento atomico.
- *Surfattanti e coloranti*. Surfattanti e coloranti vengono studiati per il loro impiego nelle celle fotovoltaiche, nello specifico in celle di Grätzel che utilizzano acqua come solvente. Questo filone di ricerca ha condotto recentemente ad importanti collaborazioni industriali.
- *Nanotecnologie per la farmaceutica e la cosmetica*. Quest'area di ricerca studia innanzi tutto la realizzazione di nuovi catalizzatori con nuove metodologie. Questi catalizzatori a loro volta sono basati su nanoparticelle ottenute con una combinazione di tecnologie a ultrasuoni e a microonde. Le nanoparticelle metalliche (in particolare nanoparticelle di Palladio, Nickel e Rame) possono venir disperse in matrici ossidiche quali Allumina o Ceria. Questo permette di ottenere aree superficiali molto maggiore ed una migliore attività del catalizzatore, utilizzato in tecniche di catalisi eterogenea per preparare farmaci e prodotti di chimica fine. Un'ulteriore linea di ricerca è relativa alla cristallizzazione modulata di molecole organiche, in particolare farmaci, per consentire una migliore biodisponibilità.

Tutte le infrastrutture di ricerca, come anche sopra ricordato, sono potenzialmente accessibili ad utenti esterni. Il sito internet del NIS nella sezione "Laboratories" dà la possibilità di prenotare gli strumenti, seguendo un apposito tariffario. Questo fatto è una delle conseguenze della politica "Open lab" di UniTO.

Il Centro di Eccellenza NIS è anche coinvolto in svariate collaborazioni e contratti di ricerca con imprese. Per alcuni di essi, in particolare quelli con gruppi industriali di maggiori dimensioni, si tratta di contratti pluriennali. Oltre a queste collaborazioni di maggiori dimensioni altri contratti di minore entità mirano alla soluzione di problemi produttivi e possono essere inquadrati come contratti di consulenza tecnico-scientifica. Infine è importante segnalare come nell'ambito di una di queste collaborazioni sta per essere costituito un laboratorio di ricerca condiviso Università-Impresa.

#### 2.1.2 Analisi qualitativa: interviste. Il Centro Interdipartimentale "Giovanni Scansetti" per gli studi sugli amianti e gli altri particolari tossici

Il Centro Interdipartimentale "Giovanni Scansetti" per gli Studi sugli Amianti e gli altri particolari tossici è stato fondato nel 2001. Il suo scopo è quello di promuovere (oltre ad altre attivi-

tà quali scuole, seminari o conferenze) progetti di ricerca, legati agli argomenti della salute e dei problemi ambientali causati dal particolato tossico respirabile<sup>2</sup>. I suoi membri appartengono a svariati Dipartimenti dell'Università, appartenenti sia all'area delle Scienze dure che a quella delle Scienze Mediche. Il Centro nelle sue attività di ricerca studia gli amianti, la silice e il quarzo, le fibre artificiali, le polveri metalliche, le nanoparticelle, così come materiali particolati generati dall'uomo. Più in generale gli oggetti della ricerca del Centro sono costituiti da qualsiasi materiale che potrebbe colpire l'apparato respiratorio quando inalato.

Tra i numerosi argomenti di ricerca studiati al momento dai ricercatori e dai docenti che appartengono al Centro alcuni sono direttamente legati alle NST. La maggior parte di queste ricerche è relativa ai temi della nanotossicologia e della sicurezza dei biomateriali, così come a quelli della nanomedicina. Più nello specifico tra gli argomenti di ricerca i più rilevanti sono:

- la sicurezza e le caratteristiche di patogenicità di nanoparticelle di diversa origine (quali amianti, metalli, ossidi metallici, Silice o Carbonio) così come dei nanotubi, con attenzione particolare agli effetti sull'apparato respiratorio e sulla pelle;
- la valutazione del rischio dei materiali nanostrutturati;
- la valutazione e la validazione di standard e test per la tossicologia dei nanomateriali;
- la realizzazione di corsi educativi e di aggiornamento per studenti e lavoratori sugli argomenti della nanosicurezza e della nanotossicità.

Alcuni dei ricercatori del Centro partecipano inoltre a progetti Europei relativi a questi argomenti.

### 2.1.3 Analisi bibliometrica quantitativa

Il *dataset* ottenuto con la metodologia sopra descritta conta per quanto riguarda UniTO un totale di 577 pubblicazioni. Queste sono state analizzate secondo diversi punti di vista. Il primo di questi è l'evoluzione temporale della produzione scientifica NST. Il primo è l'evoluzione temporale del numero di prodotti scientifici. Questi sono cresciuti in maniera sostanziale a partire dalla metà degli anni 2000 (il NIS è stato fondato nel 2004). La produzione ha un picco nel 2014, quindi scende lievemente.

Una seconda analisi è stata condotta sui nomi degli autori che hanno pubblicato i lavori scientifici nella lista. Senza scendere in dettagli è possibile dire che tutti gli autori dell'UniTO appartengono al Centro NIS, al Centro Scansetti o a entrambi.

Una terza analisi è stata condotta sulle "author keywords" dei lavori della lista, che sono state contate. È da tener presente che le "author keywords" non sono sempre riportate da Scopus. In totale le singole keywords erano oltre 1.200. Le più presenti nella lista sono (nell'ordine) Diamond, Thin films, Self-Assembly, Block Copolymers, Graphene, Quantum dots, Carbon nanotubes, Epitaxy, Ultrasound. Per la maggior parte quindi le keywords più rappresentate sono – come è ovvio – relative a temi di ricerca nanotech importanti. La maggior parte delle keywords più rappresentate (oltre a quelle sopra riportate) possono essere raggruppate sotto svariati dei temi di ricerca sopra descritti. Ad esempio le keywords relative alla Catalisi e ai materiali porosi sono Raman spectroscopy e X-ray diffraction come tecniche di studio adottate nel caso di questi materiali, e Nickel oxide e Titanium dioxide come materiali studiati. Ai temi della Fisica per le neuroscienze possiamo associare Diamond ed Epitaxy; alla fotocatalisi Titanium dioxide (il fotocatalizzatore più comune e importante); a Nano-biocmemistry Cancer, Drug delivery, Cytotoxicity; ai Carbon-loaded composites Graphene, Carbon nanotubes e Graphene oxide; alle nanotecnologie del Diamante ovviamente Diamond. Altri importanti nanomateriali come i Quantum dots e le nanoparticelle (Nanoparticles) sono ovviamente presenti nella lista.

Infine le fonti (le riviste scientifiche) che hanno pubblicato gli articoli della lista sono stati contati. La lista dei singoli journals è di quasi 300 titoli. Anche in questi casi i risultati riflettono i temi di ricerca sopra presentati. Un numero vasto di riviste sono legate alle scienze dei materiali

<sup>2</sup> Vedi <https://www.centrosansetti.unito.it/> (Link visitato a luglio 2019).

o alla chimica-fisica. Altre riviste appartengono ai campi della fisica e della farmacia, mentre sono presenti sia riviste chimiche generaliste che “*nano journals*” specifici.

## 2.2 Politecnico di Torino

Il Politecnico di Torino (PoliTO d’ora in poi) è la seconda università di Torino e del Piemonte. È stato fondato come tale nel primo quarto del XX secolo, ed è una università tecnologica, le cui attività di ricerca ed insegnamento sono unicamente nei campi dell’ingegneria e dell’architettura. Sia Rolfo e Finardi (2014) che Finardi & Breznitz (2017) ne hanno descritto in maniera estesa le attività ed il percorso storico, con un *focus* specifico sul trasferimento tecnologico. PoliTO conta al 2018 più di 33 mila studenti, e oltre 960 professori.

Le principali differenze rispetto ad UniTO sotto il punto di vista della presente analisi è il fatto che qui non esistono strutture allargate quali il Centro di Eccellenza NIS o il Centro Scansetti. Questo fatto, unito ad una struttura dei dipartimenti e dei gruppi di ricerca estremamente definita (come testimoniata anche dall’organizzazione del sito web ufficiale di PoliTO) comporta il fatto che un vasto numero di docenti e ricercatori è coinvolto, almeno in parte, in qualche genere di attività di ricerca nelle NST (con alcune sovrapposizioni tra tematiche di ricerca tra differenti gruppi e team di ricerca). Di conseguenza si è dovuto effettuare un numero molto vasto di interviste. In conclusione questa sezione è considerabilmente più lunga della precedente, nonostante entrambe le Università compiano estensivamente attività di ricerca nelle NST.

### 2.2.1 Analisi qualitativa: interviste. DISAT – Dipartimento di Scienze Applicate e Tecnologia

Buona parte delle attività di ricerca NST al PoliTO sono svolte da numerosi laboratori di ricerca che appartengono al Dipartimento di Scienze Applicate e Tecnologia – DISAT. Le sottosezioni riportate di seguito descrivono le attività di ricerca dei differenti gruppi e team di ricerca, come sopra accennato. È importante notare come alcuni dei gruppi di ricerca di questo dipartimento utilizzino materiali nanostrutturati (quali ad esempi catalizzatori) per le loro attività di ricerca; tuttavia, una volta intervistati, hanno definito le loro ricerche come di per sé non-nanotech.

#### 2.2.1.1 CHENERGY – Gruppo di Ricerca Chimica e Tecnologie per l’Energia

Nel gruppo di ricerca CHENERGY diversi team di ricerca sono coinvolti in attività di ricerca NST. Qui di seguito si trova il dettaglio dei differenti temi di ricerca di ciascun team.

- *Team di ricerca Materiali applicati ed Elettrochimica*. I temi di ricerca centrali di questo team sono quelli dei materiali per nuovi sistemi di generazione di energia. Il primo argomento è quello dei materiali per batterie Li-ion, così come quello di nuovi sistemi di *storage* di energia basati sul Sodio e destinati ad impianti di energia solare. Più nello specifico il tema di ricerca è quello dei catodi nanostrutturati basati su Litio-Ferro e Fosfati (con caratteristiche di basso costo, basso impatto ambientale e alta capacità) e anodi basati su Titanio e Carbonio. Gli anodi di Carbonio vengono ottenuti da scarti alimentari. Un secondo tema di ricerca importante è quello dello studio di elettroliti solidi allo scopo di rimpiazzare i meno sicuri elettroliti liquidi. Per poter costruire questi sistemi il tema studia l’utilizzo di nanoparticelle di cellulosa per l’irrobustimento strutturale e di nanoparticelle ceramiche come elementi attivi con lo scopo di migliorare la conduttività ionica. Infine un terzo argomento di ricerca è quello delle celle solari *dye-sensitized* a basso costo e *environmentally-friendly*. In questo campo le attività di ricerca sono molteplici: nanoparticelle di idrogel di derivazione biologica; celle basate su perovskiti per sostituire il Silicio; nanofilm di polimeri migliorati con fluoro per migliorare le qualità autopulenti e di filtro UV del sistema; sostituzione di parti costose (come gli elettrodi in oro) con soluzioni a basso costo.
- *Team di ricerca Surf-Chem (Surface Chemistry of Materials)*. Le competenze principali del gruppo sono nell’ambito della Chimica di superficie. Una prima linea di ricerca è relativa all’utilizzo del biossido di Titanio (Titania) poroso, sia dopato sia in fase mista, ottenuto con tecniche sol-gel. La ricerca si occupa più nello specifico dello studio e del miglioramento delle proprietà fotocatalitiche del materiale. Una seconda linea di ricerca si occupa dello stu-

dio di catalizzatori a base di ossidi di Cobalto e di Manganese utilizzati per il *water splitting*, in particolare per l'ossidazione dell'acqua. Questi catalizzatori vengono studiati principalmente a causa del loro basso costo. Una terza linea di ricerca si occupa di microparticelle composite Silicio-metallo contenenti nanoparticelle metalliche magnetiche. Questi composti vengono ottenuti collassando termicamente zeoliti dopate con metalli, e vengono studiati per le loro proprietà meccaniche, così come in applicazioni biomediche. Una quarta linea di ricerca studia nanotubi ibridi organico-inorganico ottenuti modificando delle Imogoliti.

- *Team di ricerca Solar Fuels and Functional Materials for Smart Energy Systems*. Le attività di ricerca NST del team sono relative alla modificazione di polimeri attraverso l'aggiunta di nanoparticelle nella matrice polimerica. Nei primi anni in cui questa linea di ricerca è stata intrapresa i materiali venivano studiati allo scopo di migliorarne le proprietà meccaniche sia per l'utilizzo come barriere impermeabili al gas sia per la resistenza alla fiamma. In seguito la ricerca si è evoluta verso altre proprietà funzionali, che includono la conduttività termica ed elettrica, tipicamente con l'utilizzo di nanotubi di carbonio e materiali grafenici. In anni più recenti il team ha iniziato lo studio di *coatings* nanostrutturati su vari substrati polimerici, preparando *coatings monolayer* e *multilayer* con proprietà di resistenza alla fiamma, barriera ai gas o conduttività elettrica. Le principali applicazioni di questi materiali sono in ambito energetico, ivi inclusi i materiali studiati per realizzare scambiatori di calore operanti in ambienti altamente corrosivi, diffusori di calore flessibili e materiali leggeri per applicazioni nei trasporti. Una recente area di applicazioni per questi materiali nanostrutturati è nei sistemi di *storage* di energia termochimici. Questi vengono realizzati attraverso lo sfruttamento della deidratazione reversibile di Sali idrati. In questi sistemi la nanostrutturazione con materiali grafenici permette vantaggi nella fase attiva di assorbimento, che sfrutta il miglioramento della conduttività termica e della stabilità meccanica, così come negli scambiatori di calore in nanocomposito polimerico, accoppiando conducibilità termica con resistenza alla corrosione e facilità di realizzazione in forme complesse.
- *Team di ricerca Electrochemistry*. I principali temi di ricerca di questo team di ricerca sono legati alle problematiche relative alle batterie innovative, e ai materiali necessari per il loro sviluppo. Tali sistemi elettrochimici sono ovviamente in uno stadio di pre-commercializzazione, e sono principalmente batterie più avanzate di quelle Li-ion, quali ad esempio le batterie Litio-Zolfo o Litio-aria, che presentano densità energetica da 5 a 10 volte quella delle batterie Li-ion. La principale attività di ricerca è relativa al design delle celle e all'utilizzo di nuovi materiali che sfruttino la nanostrutturazione. Ad esempio il team utilizza nanoparticelle allo scopo di costruire elettrodi porosi per le batterie Litio-Zolfo (dato che lo Zolfo non è conduttivo e deve venire intrappolato in un ambiente specifico) o prepara rivestimenti nanodimensionati per migliorare la conduttività, o rivestimenti polimerici ibridi per proteggere il Litio dall'ambiente esterno a causa della sua elevata reattività. Lo studio dell'utilizzo di questi materiali nanostrutturati (così come la costruzione di batterie) permette di realizzare elettrodi su misura in modo estremamente specifico, allo scopo di ottenere sia alte capacità sia alte energie da batterie di nuovo disegno. Un ulteriore tema di ricerca è quello delle batterie auto-riparanti, ovvero batterie costruite con parti (quali le membrane) in grado di auto-rigenerarsi o che contengono sensori che permettono l'interazione con sistemi di sicurezza.

#### 2.2.1.2 Gruppo di ricerca CMPCS – Condensed matter physics and complex systems

Nell'ambito del gruppo di ricerca CMPS uno dei team, il tema di ricerca Nanophysics and quantum systems, si occupa di attività di ricerca NST. In generale le attività di ricerca del team sono principalmente legate a simulazioni teoriche, sebbene i ricercatori lavorino a stretto contatto con colleghi sperimentali. Il team ha iniziato circa 20 anni fa a lavorare su materiali basati su semiconduttori, e su materiali attivi otticamente quali l'Arseniuro di Gallio o altri materiali di sviluppo recente e sfruttati per applicazioni optoelettroniche, quali materiali a base di grafene. L'idea fondamentale che sottostà alle attività di ricerca è quella di simulare congegni optoelettronici, o transistori, rivelatori, laser di nuova generazione ed altri congegni studiati per le loro applicazioni nell'elettronica. Più nello specifico risultati importanti sono stati ottenuti nel campo

dei laser. I laser tradizionali sono basati su pozzi quantici (*quantum wells*), mentre recentemente sono stati utilizzati nuovi materiali, che emettono nel lontano infrarosso o che generano radiazione nel campo dei terahertz. Questo ha aiutato, verso la metà degli anni duemila, lo studio e poi la costruzione del primo laser a cascata quantica, che emette radiazioni in bande fino ad allora inesplorate. Il team di ricerca realizza simulazioni di diverso tipo (ad esempio utilizzando il metodo di Monte-Carlo) riproducendo con il calcolo ciò che accadrà nel congegno, e quindi raccogliendo risultati sulle sue proprietà. Lo studio è relativo sia allo stato stazionario sia al comportamento dipendente dal tempo. Più recentemente il team si è impegnato nello studio di materiali topologici (materiali che presentano proprietà superficiali diverse da quelle della struttura interna) e applicazioni legate ai computer quantici. Il team collabora con svariate istituzioni di ricerca nazionali ed internazionali, mentre le collaborazioni con le imprese sono meno sviluppate a causa della natura intrinseca dei temi di ricerca.

#### 2.2.1.3 Gruppo di ricerca GLANCE – Glasses Ceramics and Composites

Tra i diversi argomenti di ricerca del gruppo GLANCE quelli appartenenti alle diverse aree NST sono svariati. Il primo di questi è relativo ai biomateriali. Gli specifici argomenti di ricerca in questo ambito sono svariati: *layer* antimicrobici (basati su composti di nanocluster di Argento in matrice di Silice o superfici in leghe di Titanio nanostrutturate); nanoparticelle magnetiche multifunzionali per applicazioni medicali (generalmente realizzate con struttura nucleo-rivestimento); modifica superficiale di leghe di Titanio allo scopo di migliorare l'adesione di tessuti duri o molli; funzionalizzazione superficiale di svariati biomateriali con biomolecole; sintesi, caratterizzazione e test di vetri ceramici bioattivi e ferromagnetici contenenti cristalli magnetici nanometrici in matrice di vetro biocompatibile; realizzazione e studio di vetri a base di Silicio o vetroceramiche contenenti elementi antibatterici quali Argento, Rame o Zinco.

Una seconda area di ricerca NST del gruppo è quella dello *sputtering*. Le attività di ricerca in questo campo sono relative al design, alla produzione e alla caratterizzazione di film sottili e di rivestimenti *smart* per svariate applicazioni. Questi film e rivestimenti sono disegnati e prodotti per diverse applicazioni, quali quelle biomediche, ottiche, nell'energia, per la resistenza ad ambienti severi, così come per applicazioni estetiche.

#### 2.2.1.4 Gruppo di ricerca MPMNT - Materials and Processes for Micro & Nano Technologies

Il gruppo di ricerca MPMNST si occupa di svariati temi di ricerca NST; il gruppo è anche coinvolto nella sezione locale dell'IIT-Istituto Italiano di Tecnologia.

- *Biomedicale e alimentazione*. Questa linea di ricerca è legata a due temi principali: il rilevamento di biomolecole e la creazione di *smart scaffolds* per medicina di precisione. Quest'ultimo tema di ricerca prevede la costruzione di *scaffold* polimerici dove è possibile far crescere cellule tumorali in conformazione tridimensionale, ovvero simile a tessuti naturali. In questo modo è possibile testare su *avatar* di tumori serie di nuovi farmaci con lo scopo di realizzare tecniche di medicina personalizzata. Questi *scaffold* sono di per sé micrometrici ma sono nanostrutturati in modo da permettere l'adesione cellulare. Le loro strutture sono infatti simil-zeolitiche. Questa linea di ricerca è innovativa rispetto alla diagnostica tradizionale.
- *Industria 4.0*. Questa linea di ricerca è relativa principalmente alla stampa 3-D, in particolare di parti elettroniche e sensori realizzati in materiale polimerico. In questo campo il gruppo ha partecipato a bandi competitivi basati su fondi regionali.
- *Energia, sostenibilità e ambiente*. Le attività in quest'area scientifica sono focalizzate principalmente su: sensori per monitoraggio ambientale; membrane a base di grafene per filtrazione di acque; super-condensatori per lo *storage* di energia. In particolare quest'ultima linea di ricerca è finalizzata allo studio e alla produzione di super-condensatori alternativi e complementari alle batterie. Questi sono piccoli condensatori che presentano altissima capacità, principalmente realizzati in materiali polimerici e flessibili, e con un elettrolita a base acquosa. Il vantaggio di questi condensatori sono un utilizzo più facile e più ecologico delle batterie in termini di materiali utilizzati. In questi oggetti il lato nanotech della ricerca risiede nel-

lo studio e nella creazione della superficie degli elettrodi, che è nanostrutturata allo scopo di accrescere l'area superficiale, e realizzata con polimeri conduttivi a base grafitica.

- *Sostenibilità ed energia.* Questa linea di ricerca viene condotta assieme alla sezione locale dell'IIT, fortemente connessa al gruppo di ricerca. Le attività di ricerca in questo caso sono relative alla economia *low carbon*: intrappolamento di CO<sub>2</sub> mediante l'utilizzo di materiali nanostrutturati, filtri ionici, dendrimeri e catalizzatori nanostrutturati per la riduzione della CO<sub>2</sub>. Questi sono basati principalmente su ossidi metallici (come MnO<sub>x</sub>, SnO<sub>x</sub>, CuO<sub>x</sub>, TiO<sub>x</sub>, ZnO<sub>x</sub>) e grafene. Questi catalizzatori possono venir utilizzati anche per processi di elettrocatalisi e fotocatalisi per la riduzione di CO<sub>2</sub>. Lo scopo di questi processi è la trasformazione di CO<sub>2</sub> in materiali carboniosi. Un ulteriore punto di rilievo è un nuovo laboratorio di biocatalisi (completamente finanziato dal governo della Regione) dove verranno studiati batteri capaci di digerire la CO<sub>2</sub> e di trasformarla in idrocarburi, o di produrre biopolimeri biodegradabili.

Le collaborazioni industriali sono legate ai diversi argomenti di ricerca. Nel biomedicale la maggior parte delle collaborazioni sono con imprese che puntano ad utilizzare i dati della medicina di precisione piuttosto che con quelle interessate allo sviluppo dell'hardware. Questo è dovuto alla struttura del settore industriale nella Regione. Per *l'agrifood* la presenza di un numero vasto di imprese rende le collaborazioni più facili, anche se la maggior parte delle imprese sono utilizzatori finali interessati a soluzioni tecnologiche per il monitoraggio della qualità dei cibi, ovvero nel controllo della presenza di batteri, antibiotici, steroidi anabolizzanti, etc. Anche in questo caso i produttori di tecnologia sono assenti nell'ambiente industriale della Regione. L'industria 4.0 è di interesse per diversi settori, e svariate imprese desiderano innovare le loro linee di produzione. La ricerca in questo ambito persegue la creazione di hardware non standard realizzato con nanoelettronica *ad hoc*, più nello specifico per risolvere problemi di miniaturizzazione ad esempio per la misurazione di parametri. La collaborazione nel campo dell'energia e dell'ambiente coinvolge la gestione e la produzione dell'energia, grandi attori e imprese interessate al monitoraggio ambientale, nella gestione delle acque e del gas che hanno bisogno di verificare l'integrità delle loro reti di distribuzione, l'inquinamento. Per questo scopo necessitano quindi di sensori da integrare nelle loro strutture. Svariate grandi attori mostrano infine grande interesse nei confronti dell'abbattimento e del riutilizzo di CO<sub>2</sub>. Lo scopo è di produrre congegni che spesso necessitano materiali nanostrutturati specifici per la loro realizzazione.

#### 2.2.1.5 Gruppo di ricerca MUSYCHEN – Multiphase systems and chemical engineering

Nel gruppo di ricerca MUSYCHEN svariati team di ricerca sono coinvolti in attività di ricerca NST. qui di seguito si trova un dettaglio dei diversi temi di ricerca.

- *Team di ricerca Process system engineering.* Il principale interesse del gruppo in ambito NST è la produzione di nanoparticelle polimeriche utilizzate come *carrier*. La principale applicazione studiata fino ad ora è l'utilizzo quale *carrier* di dsRNA in applicazioni di agropatologia e come *carrier* di antibiotici. Le nanoparticelle sono prodotte e caratterizzate in termini di distribuzione di dimensioni e di potenziale elettrico superficiale; quest'ultima caratteristica è essenziale in quanto la presenza di cariche superficiali negative/positive evita effetti di coalescenza tra le particelle; inoltre, in alcuni casi, è indispensabile avere una carica superficiale positiva o negativa per permettere che la particella interagisca col tessuto bersaglio. Una volta che le particelle sono state prodotte e il principio attivo è stato introdotto nelle particelle che dovranno trasportarlo, si effettua una titolazione del contenuto per via spettrofotometrica. Una parte rilevante dell'attività di ricerca è dedicata allo studio e all'applicazione delle migliori condizioni di produzione di nanoparticelle per questo scopo e per permettere la miglior concentrazione possibile del principio attivo nelle nanoparticelle, così come anche del rilascio dello stesso in condizioni di laboratorio. Una ulteriore sotto-tematica di ricerca è quella della conservazione nel tempo delle nanoparticelle, che devono essere stabili per un certo periodo di tempo tra la preparazione e l'uso. Le nanoparticelle sono quindi liofilizzate, e il processo produttivo è ottimizzato anche in termini del miglior tem-

po di conservazione. La ricerca è ovviamente condotta con dipartimenti ed istituti interessati nell'utilizzo delle particelle che vengono prodotte.

- *Team di ricerca Molecular Engineering Lab (MOLE)*. Tra gli svariati temi di ricerca del MOLE Lab due sono pienamente nanotecnologici. Il primo di questi è legato allo studio e alla realizzazione di nanoparticelle polimeriche utilizzate come *nanocarriers* per utilizzi farmaceutici. Queste nanoparticelle sono prodotte utilizzando svariate tecniche di fotopolimerizzazione: minimulsione, aerosol e microfluidica. Ciascuna tecnica determina la produzione di una diversa fase dispersa precursore della formazione di nanoparticelle. La attività sperimentale è relativa anche al controllo della struttura delle nanoparticelle. È possibile infatti ottenere quattro diversi tipi di strutture di nanoparticelle: piene, capsule, porose e capsule porose. Oltre all'attività sperimentale in laboratorio vengono realizzate anche simulazioni computazionali aventi lo scopo di meglio studiare e definire le proprietà di trasporto delle nanoparticelle. Una seconda linea di ricerca studia l'utilizzo di micro- e nanoparticelle per l'incapsulamento di gas Etilene per applicazioni di rilascio controllato nell'industria alimentare. Nello specifico l'Etilene viene utilizzato nelle soluzioni di *packaging* per la frutta come agente di promozione della maturazione. In questo caso le nanoparticelle sono realizzate utilizzando complessi di estrusione di Cicloestrine: il gas viene intrappolato nei cristalli di Cicloestrina e il suo rilascio controllato permette di controllare la velocità di maturazione.
- *Team di ricerca POLILATT (Textile Research & Process Engineering)*. Il principale tema di ricerca NST del team di ricerca POLILATT è legato alla funzionalizzazione dei tessili. In particolare la principale competenza NST del team è nella produzione di nanoparticelle polimeriche contenenti principi attivi, e il loro deposito sulla superficie di materiali tessili per applicazioni farmacologiche, para-farmacologiche o cosmetiche. Le nanoparticelle legate alla superficie rilasciano ingredienti attivi per applicazione transdermiche (ad esempio per dare sollievo al dolore della pelle in determinate condizioni). I materiali tessili possono essere garze ospedaliere o indumenti, a seconda della specifica applicazione. Un ulteriore linea di ricerca è quella della funzionalizzazione superficiale di fibre sintetiche (specificatamente poliesteri) con polimeri idrofilici (quali PEDGA o METAC). I rivestimenti nanodimensionati, ottenuti polimerizzando i monomeri direttamente sulla superficie della fibra, conferiscono proprietà idrofiliche capaci di imitare il comportamento del cotone. Infine una terza linea di ricerca NST è quella della modificazione con plasma della superficie di fibre tessili allo scopo di modificare le caratteristiche superficiali o di preparare le fibre per un successivo grip-paggio.

#### 2.2.1.6 Gruppo di ricerca SIMTI – Materials Science and Engineering for Innovative Technologies

All'interno del gruppo di ricerca SIMTI svariati team di ricerca sono coinvolti in attività di ricerca NST. qui di seguito si trova il dettaglio dei differenti argomenti.

- *Team di ricerca ALL-POLYMER*. L'argomento di ricerca principale del team è legato alla modificazione dei polimeri per mezzo di materiali nanostrutturati o di rivestimenti per applicazioni di diverso tipo. I polimeri, sia termoplastici che termoindurenti, sono caricati con diversi materiali nanostrutturati quali materiali carboniosi (come il grafene e i nanotubi di carbonio), argille nanostrutturate o piezoceramici. Per quanto riguarda questi ultimi materiali l'obiettivo è quello di migliorare la conduttività termo-meccanica o elettrica della matrice polimerica, o di ottenere materiali con proprietà *energy harvesting* o piezoelettriche. I nanorivestimenti sono ottenuti utilizzando sia sub-micro-particelle sia nanoparticelle. Vengono utilizzati anche altri sistemi bottom-up (nello specifico i processi sol-gel) per ottenere superfici a ritardo di fiamma: strati ceramizzati, ottenuti depositando precursori nanodimensionati, conferiscono proprietà di ritardo di fiamma ai polimeri. Un ulteriore processo studiato prevede l'applicazione strato-su-strato di strati nanometrici (quasi monomolecolari) su tessuti o film, sfruttando l'interazione ionica del substrato. Infatti l'interazione elettrostatica permette di applicare strato sopra strato di uno specifico *nanofiller*, conferendo quindi proprietà di ritardo di fiamma senza cambiamenti esteriori del tessuto. Infine un ulteriore pro-

cesso che viene studiato è quello della dispersione di nanocariche in una matrice polimerica termoplastica di origine biologica. Le nanocariche sono disperse a bassa concentrazione (fino al 4-5 %) e quindi la massa viene estrusa o mescolata. L'obiettivo di questa tecnologia prevede applicazioni nell'industria *automotive* dove i polimeri di origine biologica permettono di ottenere un più alto grado di riciclabilità in una visione di economia circolare.

- *Team di ricerca Biomateriali.* Tra i diversi temi di ricerca del team uno è di particolare rilevanza per le NST. Questa ricerca è finalizzata alla preparazione di materiali per la rigenerazione di tessuti vivi, più nello specifico per promuovere l'osteogenesi e per guarire ferite croniche. A questo fine il gruppo utilizza specifiche micro/nanoparticelle nanostrutturate (di diametri attorno ai 100 nanometri) chiamate vetri mesoporosi, che possiedono nanostrutturazione interna. Questi vetri mesoporosi sono a base silicea e contengono ioni quali Calcio, Stronzio, Rame e Argento. L'utilizzo di un agente templante permette di modulare la struttura interna dei nanopori delle particelle. Una volta preparate le nanoparticelle la loro superficie può venir modificata per il *grafting* di anticorpi o di fattori di crescita. Le micro/nanoparticelle, a causa della loro nanostrutturazione, possiedono un'elevata area superficiale, e sono quindi adatte al rilascio di molecole o ioni (ad esempio ioni che possiedono caratteristiche di promozione di osteogenesi, antibatteriche o di promozione di angiogenesi). Un ulteriore argomento studiato è quello del rilascio controllato di farmaci, dal momento che le nanoparticelle possono venir caricate con farmaci, e il rilascio cinetico di queste molecole può venir controllato.
- *Team di ricerca Materiali ceramici.* Il team di ricerca studia materiali ceramici per svariate applicazioni. Quelle principali sono tuttavia in ambito biomedico. I ceramici Allumina-Zirconia sono studiati per produrre protesi di teste femorali, o protesi dentali e spinali; tali materiali presentano elevate proprietà meccaniche di resistenza alle fratture e di biocompatibilità. I ceramici non strutturali, basati su Fosfati di Calcio, vengono studiati come sostituti ossei. Questi materiali porosi infatti presentano proprietà meccaniche meno marcate ma in cambio sono in grado di indurre e stimolare la crescita spontanea del tessuto osseo quando vengono impiantati nel corpo umano, e sono quindi riassorbiti dal corpo stesso. La nanostrutturazione di questi materiali è fondamentale dal momento che lavorare con ceramici a grana estremamente fine permette di massimizzare le proprietà meccaniche e produrre materiali di maggior durata. Altre linee di ricerca studiano materiali ceramici monofasici o compositi che presentano caratteristiche di elevata resistenza agli shock termici e meccanici, e che vengono preparati per l'utilizzo nella produzione di utensili da taglio. Di nuovo l'utilizzo di polveri nanometriche permette l'ottenimento di più elevate proprietà. Un ulteriore tema è quello dei ceramici trasparenti, in grado di unire la trasparenza (propria dei vetri di Silice amorfa) con le proprietà meccaniche dei materiali ceramici. In questo caso la tecnologia prevede l'utilizzo di Allumina o di Spinelli dalla struttura cubica; specifiche tecniche di sinterizzazione (sinterizzazione ad alta pressione o a pulsazione elettrica) vengono utilizzate in questo caso.
- *Team di ricerca Materiali per alte temperature e nanocompositi.* L'interesse di ricerca principale di questo team di ricerca è legato alla realizzazione e allo studio di polimeri funzionalizzati mediante l'utilizzo di nanotubi di Carbonio o di Grafene. Un recente progetto di ricerca prevede da parte del team la valutazione dei trattamenti termici e delle caratteristiche di *creep* dei materiali prodotti. Un'ulteriore attività è quella legata all'utilizzo del Grafene e dei nanotubi di Carbonio, anche in unione ad altri *filler*, per conferire conduttività elettrica alle matrici polimeriche. Nanoparticelle, nanotubi e grafene vengono utilizzati anche per ottenere polimeri adatti alla lavorazione con raggi laser per ottenere tracce conduttive via pirolisi locale. La linea di ricerca più recente è dedicata allo studio del manufacturing additivo di polimeri modificati con *filler* nanostrutturati. Lo scopo in questo caso è lo studio dell'utilizzo di polimeri carichi con nanocariche come materiali da utilizzare in processi di additive manufacturing. I polimeri utilizzati come matrici in tutti i processi sopra descritti sono sia termoplastici che termoindurenti. Oltre ai compositi polimerici un'ulteriore linea di ricerca comporta l'utilizzo di nanoparticelle ceramiche (Allumina o nitruri di Alluminio) per migliorare le caratteristiche meccaniche delle leghe di Alluminio.

### 2.2.1.7 Gruppo di ricerca SMAC – Supercritical Fluids and Materials Chemistry

Il gruppo di ricerca SMAC – Fluidi supercritici e chimica dei materiali – unisce competenze in ambito Chimico (chimica delle superfici e chimica dello stato solido) e in Ingegneria Chimica (fluidi supercritici). Due dei principali argomenti di ricerca del gruppo sono legati alle NST. Il primo è relativo alla sintesi di aerogeli nanoporosi per mezzo di Biossido di carbonio supercritico. Per costruire questi aerogeli vengono utilizzati Silice e precursori organici. La seconda linea di ricerca (che al momento presente è la principale del gruppo) persegue lo studio di materiali nanostrutturati per il *drug delivery*. A questo scopo vengono prodotti e studiati due tipi di materiali inorganici. Il primo sono classici materiali mesoporosi a base di Silice, la cui nanoporosità può venir controllata durante la produzione. Un secondo materiale è l'Ossido di Zinco nanostrutturato. Questo materiale deriva dall'aggregazione di nanoparticelle di Ossido di Zinco, e presenta una porosità disordinata. Il vantaggio derivante dall'utilizzo di materiali a base di Ossido di Zinco per il *drug delivery* è legato alla sua attività antibatterica intrinseca (che deriva a sua volta dalla presenza di ioni Zinco). Assieme a materiali prodotti in laboratorio viene studiata anche una Silice mesoporosa commerciale, registrata come eccipiente farmacologico. Questa è utilizzata nei passi successivi dell'attività di ricerca, che sono nell'ordine l'inserimento dei farmaci, ottenuto mediante l'utilizzo di Biossido di Carbonio supercritico, e il successivo studio del rilascio dei farmaci in sistemi che simulano in reale ambiente biologico.

### 2.2.1.8 Gruppo di ricerca SMIM – Superconductivity and Magnetism in Innovative Materials

Entrambi i team di ricerca del gruppo di ricerca SMIM sono coinvolti in attività di ricerca NST. Il gruppo di ricerca si occupa i problemi scientifico-tecnologici legati alla superconduttività. Una parte degli argomenti di ricerca possono venir riuniti sotto l'egida "nanotecnologia" mentre i rimanenti sono meglio descritti come "nanoscienza". Nello studio della superconduttività i ricercatori traggono vantaggio dalla generazione alla nanoscala del fenomeno. Il team maggiormente coinvolto nella ricerca nanoscientifica di base persegue principalmente la realizzazione e lo studio di nuovi materiali superconduttori, sia migliorando materiali esistenti che studiandone di nuovi mai studiati come superconduttori. La ricerca prevede, tra le altre tecniche, l'utilizzo della *Scanning tunnelling spectroscopy* per caratterizzare i materiali e l'introduzione di difetti nei superconduttori utilizzando campi elettrici forti allo scopo di ottenere semiconduttori-superconduttori. Il secondo team si occupa principalmente di argomenti maggiormente applicativi quali la caratterizzazione di cavi superconduttori o di rivelatori di singolo fotone basati su superconduttori.

### 2.2.2 Analisi qualitativa: interviste. DIATI – Dipartimento di Ingegneria Ambientale, Territorio e Infrastrutture

Presso il DIATI (più nello specifico nel gruppo di Ricerca di Ingegneria Sanitaria-Ambientale) viene svolta una importante linea di ricerca che utilizza materiali nanostrutturati. Questa attività di ricerca si occupa dell'utilizzo di grandi quantità di nanoparticelle per realizzare attività di bonifica e di decontaminazione. L'importanza di questa ricerca è principalmente dovuta all'elevato numero di siti contaminati esistenti: questi sono circa 1 milione 200 mila secondo una ricerca del JRC. Si dovrebbe infatti considerare il fatto che fiumi e laghi sono un metro 1 % del totale delle acque dolci, mentre il 30 % di queste è costituito da acque di falda (il resto del totale è presente nei ghiacci polari). È inoltre importante tener presente che le acque dolci sono solo il 3 % della quantità totale di acqua presente sul pianeta.

Il problema principale che questa tecnologia mira a risolvere è quello dei composti organici clorati come il Tricloroetilene. Questi composti sono usati diffusamente come solventi in ambito chimico e meccanico, così come nella pulizia a secco. Non sono miscibili con l'acqua e sono più densi, e di conseguenza migrano nel sottosuolo come fase separata fino a che non raggiungono uno strato impermeabile. Qui essi migrano lentamente inquinando l'acqua di falda, dato che il continuo contatto tra la fase inquinante e l'acqua che fluisce lentamente provoca un fenomeno di *stripping* dell'inquinante da parte dell'acqua di falda stessa.

In passato sono state studiate diverse tecniche per rimediare a questo problema, quali tecniche di pompaggio e successivo trattamento, di *stripping* dei contaminanti con vapore, di degradazione microbica, eccetera. Nondimeno nessuna di queste tecniche è soddisfacente, o per i risultati ottenibili o per i problemi di sicurezza sul lavoro che comporta.

Il metodo studiato in passato dal gruppo di ricerca è quello delle Barriere Reattive Permeabili. Questa tecnologia consiste nello scavare una trincea spessa circa 50 centimetri e nello riempirla con una polvere di un agente ossidante capace di ridurre le molecole clorate. Questa reazione è più efficiente di quella di biodegradazione. L'agente ossidante comunemente utilizzato è il Ferro metallico. La barriera viene installata attraverso il flusso di acque di falda e, essendo permeabile, permette il passaggio delle acque e la loro reazione con l'agente ossidante.

La naturale evoluzione di questa tecnologia è stato il passaggio da particelle millimetriche alle nanoparticelle. Dato che le cinetiche di reazione sono ovviamente influenzate dalla superficie specifica dell'agente ossidante, l'utilizzo delle nanoparticelle – di dimensioni attorno agli 80 nanometri – permette una efficienza molto maggiore. Inoltre in questo caso è possibile l'iniezione delle Nanoparticelle di ferro forando il suolo e raggiungendo direttamente la fase inquinata. La tecnologia permette di raggiungere profondità fino ai 15 metri, e le quantità di nanoparticelle impiegate sono solitamente attorno alle 10 tonnellate.

L'interesse di ricerca, dal punto di vista ingegneristico, è quello relativo al dimensionamento dell'intervento: dove e quante volte si dovrebbe perforare il suolo, a che distanza possono arrivare le nanoparticelle di ferro, che quantità si dovrebbe utilizzare, eccetera. In questo risiede la conoscenza specifica del gruppo di ricerca. Le nanoparticelle presentano un problema tecnologico rilevante: a causa del loro peculiare comportamento magnetico, tendono a coalescere e, quindi, a non diffondersi nella fase inquinata e nella corrente inquinata. Dopo numerosi test si è evinto che la migliore soluzione atta a stabilizzare le nanoparticelle di Ferro è l'utilizzo di polimeri surfattanti in grado di stabilizzare le nanoparticelle. Tali polimeri sono biodegradabili e vengono utilizzati anche per le lavorazioni in campo alimentare. Le nanoparticelle vengono quindi stabilizzate prima della loro iniezione, permettendo di utilizzare pressioni minori. Questa tecnologia ha permesso di raggiungere distanze record per quanto riguarda la diffusione delle nanoparticelle. Dopo una serie di test di laboratorio la tecnologia è stata scalata ed è stata implementata in una serie di progetti di ricerca Europei. L'ultimo di questi prevede l'utilizzo di Ossidi di Ferro con lo scopo di interagire con metalli. Le attività di ricerca hanno generato anche un certo numero di recenti brevetti, così come di collaborazioni scientifiche internazionali.

### 2.2.3 Analisi qualitative: interviste. DIMEAS – Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale

Il gruppo di ricerca “Materiali per le Bionanotecnologie e laboratorio biomedico” del DIMEAS sviluppa biomateriali degradabili di origine sintetica e naturale per applicazioni biomediche. Per quanto riguarda le applicazioni NST il gruppo disegna materiali sintetici che vengono processati in forma di nanoparticelle nel *range* dimensionale del centinaio di nanometri, utilizzando metodologie di precipitazione o emulsione. L'applicazione principale è in utilizzi di *drug delivery* per la cura dei tumori, dove le nanoparticelle tendono preferenzialmente ad accumularsi. Il gruppo ha testato a questo scopo sia polimeri commerciali sia autoprodotti. Una ulteriore linea di ricerca si occupa dell'incapsulamento di nanoparticelle di Ossido di Ferro Magnetico per ottenere nanomedicine multifunzionali. Questi sistemi possono essere diretti verso il target applicando un campo magnetico esterno e, seguentemente, generare calore per danneggiare le cellule tumorali, o possono venire utilizzate come agente di contrasto per la risonanza magnetica. Le nanoparticelle possono anche venir decorate in superficie per ottenere circolazione specifica o caratteristiche di riconoscimento del target. Ad esempio anticorpi specifici con affinità per i recettori o le cellule cancerose possono essere legati alle loro superfici. Queste attività vengono condotte in collaborazioni con ospedali nazionali ed internazionali, allo scopo di investigare le loro possibili applicazioni in ambito clinico.

#### 2.2.4 Analisi qualitativa: interviste. DET – Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

Alcuni dei gruppi di ricerca del DET svolgono attività di ricerca NST. Questo fatto è testimoniato anche dalla notevole produzione scientifica NST dei Docenti e Ricercatori del Dipartimento. Le sottosezioni qui di seguito descrivono le attività di ricerca dei diversi gruppi di ricerca coinvolti.

##### 2.2.4.1 Gruppo di Ricerca Linear and nonlinear circuits and systems (LINCS)

Il gruppo di ricerca LINCS svolge ricerche nell'ambito dello sviluppo di modelli di circuiti di nano-dispositivi. L'uso della modellizzazione ha lo scopo di progettare sistemi di calcolo biologicamente ispirati, quali reti neurali o memorie associative. Negli ultimi tre anni i nano-dispositivi maggiormente studiati sono stati i memoristor (*memory resistor*). Queste sono memorie RAM basate su resistori. L'interesse principale del gruppo è nell'estrazione di modelli funzionali aventi lo scopo di modellare sistemi partendo dalle caratteristiche fisiche della materia e dalla caratterizzazione elettrica. Parte delle attività di ricerca sono a "basso livello", ovvero al livello del dispositivo, dove si cerca di comprendere i problemi fisici che sono alla base del funzionamento del dispositivo e che permettono di stabilire le principali caratteristiche di funzionamento. Ad esempio i memoristor sono in grado di memorizzare informazioni modificando il loro stato resistivo a seguito di impulsi elettrici. Una volta che un modello di circuito viene sviluppato questo viene inserito in un modello più complesso, portando l'interesse a livello di circuito, dove le caratteristiche di quest'ultimo vengono sviluppate, studiando il comportamento dinamico di circuiti non lineari. A questo scopo vengono sfruttate diverse tecniche basate su equazioni differenziali non lineari allo scopo di comprendere comportamenti non stazionari, oscillatori o anche caotici. A questo stadio le unità di calcolo vengono quindi collegate allo scopo di costruire una rete, sfruttando i sopra descritti comportamenti dinamici, e provando a comprendere come le unità dovrebbero essere connesse per realizzare operazioni utili. A seconda dello scopo possono venir sfruttati svariati comportamenti e diverse operazioni devono essere combinate per generare un algoritmo. Ciò che è maggiormente rilevante dal punto di vista delle NST è al livello della modellizzazione dei dispositivi. Dato che il gruppo effettua unicamente studi teorici, è interfacciato con laboratori che costruiscono i dispositivi a partire dalle misure che vengono effettuate, e che realizzano l'integrazione dei diversi circuiti e congegni.

##### 2.2.4.2 Gruppo di ricerca VLSI Theory, Design and Applications (VLSILAB)

I temi di ricerca NST nell'ambito del VLSILAB sono essenzialmente due, oltre ad alcuni di minore importanza. Un primo tema di ricerca è legato al *nanocomputing*, dove il gruppo lavora per sfruttare le NST per realizzare elaborazioni non convenzionali. I transistori di Silicio sono oggi di fronte ad una barriera fisica, dato che le loro dimensioni (che sono al momento attorno ai 10 nanometri) non possono venir scalate al di sotto di questo livello di miniaturizzazione. Di conseguenza è indispensabile seguire nuove strade. Il gruppo investiga tecnologie emergenti che non utilizzano transistor MOS, che sono al momento quelli utilizzati nei circuiti integrati. In specifico il gruppo studia l'applicazione di nanomagneti alla elaborazione dell'informazione. I nanomagneti possono essere utilizzati come mattoni elementari di calcolatori in svariati diversi modi. In generale il meccanismo è quello di trasmettere informazione attraverso il magnetismo e non attraverso impulsi elettrici. Una seconda linea di ricerca è relativa a dispositivi molecolari, che utilizzano molecole con forme specifiche che li rendono capaci di trasmettere informazione attraverso accoppiamento elettrostatico. Questa seconda linea di ricerca è ancor più avanzata della precedente. Infine una terza, più classica, linea di ricerca ha lo scopo di migliorare tecnologie basate sul Silicio attraverso tecniche NST, ad esempio utilizzando nanotubi o nanofili. Una ultima linea di ricerca è legata ai sensori, con lo scopo di produrre sensori sofisticati e miniaturizzati. Le principali collaborazioni industriali del gruppo sono al di fuori dell'Italia.

##### 2.2.4.3 Gruppo di ricerca Semiconductor integrated optoelectronics and photonics (SIOP)

Una delle numerose linee di ricerca del gruppo – principalmente legate all'optoelettronica e alle microonde – è in ambito NST. Il gruppo è stato coinvolto negli ultimi dieci anni nello stu-

dio teoretico dell'uso di quantum dot semiconduttori per le loro applicazioni in dispositivi fotonici, in particolare in laser per la trasmissione di informazione. Il gruppo ha realizzato la modellizzazione di dispositivi che incorporano quantum dot, partendo dalle loro proprietà e da altri dati sperimentali. Una volta studiato un modello teoretico la progettazione e la produzione dei dispositivi sono stati studiati al di fuori. Negli ultimi anni l'esperienza acquisita nella modellizzazione dell'utilizzo dei quantum dot è stata sfruttata anche per quanto riguarda il loro uso nelle celle fotovoltaiche.

### 2.2.5 Analisi bibliometrica quantitativa

Il *dataset* ottenuto seguendo la metodologia sopra descritta contiene, nel caso di PoliTO, un totale di 1.177 pubblicazioni. Anche in questo caso queste pubblicazioni sono state analizzate sotto i medesimi punti di vista. Per quanto riguarda l'evoluzione temporale della produzione scientifica NST i risultati mostrano che la crescita (a partire dal 1996) del numero di pubblicazioni inizia prima rispetto al caso precedente, anche se è meno regolare. La presenza di alti e bassi potrebbe dipendere ad esempio dalla presenza o meno di finanziamenti derivanti da progetti di ricerca competitivi.

L'analisi dei nomi degli autori mostra una buona conformità con i dati ottenuti attraverso l'analisi qualitativa. Tutti i ricercatori e docenti di PoliTO maggiormente produttivi in ambito NST sono tra coloro che sono stati intervistati per la stessa analisi qualitativa.

La lista delle *keyword* presenti nei prodotti scientifici di PoliTO è abbastanza lunga; questo è comprensibile dato il numero abbastanza ampio di temi di ricerca descritti nella precedente sezione. La *keyword* con il maggior numero di presenze è Graphene con 63 presenze (insieme a "Graphene nanoplatelets" e "Graphene oxide"). È seguita da "Quantum dot(s)" con 33 presenze e "Dye-sensitized solar cell(s)" con 31. Il grafene è allo stato attuale delle cose un argomento di tendenza, trattandosi di un materiale utilizzabile per numerose applicazioni, per cui la sua presenza in cima alla lista non è una sorpresa. Anche i quantum dot possono venire utilizzati per molti scopi, nondimeno il numero di presenze nella lista è poco più della metà del precedente. Più in generale le *keyword* della lista riflettono i temi di ricerca descritti nella precedente analisi qualitativa. È interessante notare come le *keyword* relative alle attività di ricerca in nanoelettronica siano rappresentate in misura minore nella lista ("Semiconductor lasers", quella più presente, si trova dieci volte). Per contro alcuni dei giornali di ambito elettronico – quali "IEEE Journal of Quantum Electronics", o "Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering" – sono in cima alla lista delle fonti. Più in generale quest'ultima lista mostra l'ampio numero di aree scientifiche toccate dalla ricerca NST di PoliTO.

## 2.3 Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro"

L'Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro" (UniUPO d'ora in poi) è stata fondata nel 1998. Questo è dovuto al fatto che fin dagli anni '60 del XX secolo l'Università di Torino aveva attivato corsi di studio nelle città del Piemonte orientale di Novara e Vercelli e, successivamente, di Alessandria. In seguito a questo fatto vennero create delle sedi distaccate dell'Ateneo in queste città, a cui seguì come naturale conseguenza la creazione di una nuova università indipendente. UniUPO conta a tutto il 2018 quasi 13 mila studenti e più di 370 professori.

### 2.3.1 Analisi qualitativa: interviste

Le ricerche NST ad UniUPO sono concentrate fondamentalmente al DISIT – Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica. Nello specifico sono due i gruppi di ricerca coinvolti nelle NST: il gruppo SusMat (Sustainable development of materials), che è anche legato al Centro Interdisciplinare per le nanoscienze e lo sviluppo tecnologico dei materiali "nano-Sistemi" e il Macrogroup (chimica macromolecolare).

### 2.3.1.1 Gruppo di ricerca SusMat e Centro Interdisciplinare per le nanoscienze e lo sviluppo tecnologico dei materiali “nano-Sistemi”

In dettaglio i temi di ricerca NST di questo gruppo sono:

- *Materiali per lo storage di gas.* Questi materiali sono studiati sia per il contenimento della CO<sub>2</sub> in applicazioni ambientali e per lo *storage* di metano. A questo scopo vengono studiati materiali porosi quali i PAF (Polymeric aromatic frameworks). Tali materiali possiedono aree superficiali superiori ai 3000 metri quadrati per grammo e sono di conseguenza estremamente promettenti in termini di possibilità di immagazzinamento di gas. Il gruppo ha rilevanti collaborazioni industriali in questo settore.
- *Materiali per la decontaminazione ambientale.* In questo ambito il gruppo è attivo nella sintesi e caratterizzazione di svariate tipologie di materiali: sistemi nanoporosi, zeoliti, materiali multistratificati sono tutti studiati ai fini di rimozione di metalli pesanti dalle acque, così come per la decontaminazione di gas nervini.
- *Catalizzatori ibridi.* Il gruppo studia catalizzatori ibridi organici/inorganici che permettono di realizzare processi industriali basati sulla catalisi eterogenea piuttosto che sulla catalisi omogenea del legame carbonio-carbonio, principalmente legati ai processi delle industrie della chimica fine e della farmaceutica. Questi processi sono meno inquinanti di quelli finora realizzati, motivo che guida la realizzazione di questi catalizzatori. Il gruppo è coinvolto in un vasto progetto Europeo che raggruppa anche utilizzatori finali dei processi e dei materiali.
- *Nanotecnologie per la nanomedicina.* Lo studio di applicazioni medicali nanotech è basato sull'utilizzo di nanoparticelle in applicazioni di imaging ottico o per la terapia fotodinamica multidimensionale, in cui le nanoparticelle sono in grado di rilasciare ossigeno molecolare allo stato di singoletto, che ha caratteristiche di citotossicità.

### 2.3.1.2 Gruppo di ricerca Macrogroup

I temi di ricerca NST del Gruppo di ricerca Macrogroup sono:

- *Preparazioni di copolimeri a blocchi per la realizzazione di superfici nanostrutturate.* Queste superfici sono sfruttate per diverse applicazioni, quali quelle di nanolitografia per la realizzazione di microelettronica e come maschere per il dopaggio di Silicio. Queste tecnologie permettono di realizzare circuiti alla scala dei 10 nanometri.
- *Copolimeri a blocchi per la produzione di nanosfere.* Questa attività è condotta in collaborazione con INRIM (vedi sotto).

### 2.3.2 Analisi bibliometrica quantitativa

I dati per le pubblicazioni UniUPO indicano un numero totale di 155 pubblicazioni scientifiche. Il primo anno presente è il 1999, appena dopo la costituzione dell'Ateneo. Il numero di pubblicazioni cresce lentamente ma costantemente, anche se non sempre regolarmente. L'anno con il maggior numero di pubblicazioni è il 2015 con 20, seguito dal 2012 e dal 2018 con 18 ciascuno, quindi dal 2014 con 17. Le *keywords* più utilizzate sono strettamente connesse con le attività di ricerca sopra presentate: “Self-assembly”, “Block copolymer(s)”, “PS-b-PMMA”, “Polymers”, “PTFE” sono legate alla ricerca sui copolimeri a blocchi, “Raman spectroscopy” e “X-ray diffraction” sono tecniche investigative comunemente utilizzate per i nanomateriali, “Biomaterials” e “Cytotoxicity” sono *keywords* strettamente legate con la ricerca in nanomedicina, infine “Nanoparticles” e “Graphene” sono ben noti oggetti nanostrutturati. Per quanto riguarda le riviste scientifiche, quelle più presenti sono “ACS Applied Materials” e “Interfaces”; queste ed altre riviste presenti nella lista sono perfettamente in linea con gli argomenti di ricerca sopra descritti.

## 2.4 INRIM – Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica

L'INRIM – Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica è stato fondato nel 2006, unendo due istituti di ricerca precedentemente esistenti: l'Istituto Elettrotecnico Nazionale “Galileo Ferraris” e l'Istituto di Metrologia del CNR “Gustavo Colonnetti”. La sua principale missione è quella di realizzare, mantenere e sviluppare i riferimenti nazionali standard di tutte le unità di misura. L'attività metrologica è potenziata da attività di ricerca applicata e *target free* in numerosi campi scientifici: le scienze dei materiali, l'ottica, la fisica. Tra questi ovviamente esistono svariati filoni di ricerca legati alle NST.

### 2.4.1 Analisi qualitativa: interviste

Negli ultimi decenni le attività di ricerca dei ricercatori dell'INRIM hanno riguardato svariati argomenti legati alle NST, che hanno peraltro sempre tenuto in considerazione applicazioni metrologiche. In particolare, negli anni appena precedenti e immediatamente successivo alla fondazione dell'Ente (anni 2000-2007, quindi quando esistevano, o erano appena confluiti nell'INRIM, l'Istituto Galileo Ferraris e l'Istituto Gustavo Colonnetti) i temi di ricerca principali erano quelli relativi: alle applicazioni del Silicio poroso nella fotonica e nella sensoristica per i gas, in particolare nelle interazioni con NO<sub>2</sub> ed altri gas; ai semiconduttori nanostrutturati; ai materiali magnetici; ai superconduttori e alle giunzioni Josephson. I primi laboratori dotati di *clean room* furono fondati negli anni 1990 e permisero fin d'allora la produzione e lo studio di questi materiali e di questi congegni. Inoltre all'inizio degli anni 2000 è stata iniziata una nuova linea di ricerca sulla nanolitografia.

Questi temi di ricerca hanno continuato ad essere perseguiti fino a che, verso la fine degli anni 2000, l'INRIM ricevette dalla Compagnia di San Paolo un consistente finanziamento per sostenere la creazione di un laboratorio di nanofabbricazione, la “Nanofacility INRIM”. Gli strumenti presenti in questo laboratorio – principalmente microscopi elettronici – hanno quindi permesso l'utilizzo di svariate tecniche di nano-manifattura quali la focalizzazione di raggi ionici, la nanomanipolazione, le nanolitografie ioniche ed elettroniche. È da notare come la strumentazione della *nanofacility* possa essere messa a disposizione di utenti esterni.

Al di là di questi argomenti i temi di ricerca principali sono attualmente (a partire dalla seconda metà degli anni 2000):

- *Litografia con nanosfere*, realizzata a partire dall'auto assemblaggio di nanosfere di polistirene o silice, e di copolimeri a blocchi. Queste nanosfere vengono depositate su superfici di silicio da soluzione con svariati approcci, come i metodi di Langmuir-Blodgett o lo *spin coating*. Le nanosfere di polistirene hanno dimensioni che vanno da pochi micrometri a 100 nanometri, mentre per raggiungere dimensioni tra i 50 e i 10 nanometri si utilizzano morfologie di copolimeri a blocchi (tipicamente in polistirene più polimetil metacrilato).
- *Metamateriali*. Questi materiali possiedono proprietà ottiche peculiari; presentano infatti effetti simili a quelli dei cristalli fotonici in sistemi con spessori di pochi strati atomici.

Le collaborazioni scientifiche dell'INRIM spaziano verso diversi enti di ricerca europei e italiani, con un *focus* specifico sulla metrologia; la presenza di un laboratorio di nanofabbricazione in un ente di ricerca metrologica è praticamente un unicum in Europa. Le collaborazioni industriali coinvolgono grandi gruppi industriali legati alla microelettronica e all'aerospazio, così come imprese di altre tipologie.

### 2.4.2 Analisi bibliometrica quantitativa.

L'analisi quantitativa è stata effettuata utilizzando la medesima metodologia utilizzate per le Università. Il database contiene un totale di 168 pubblicazioni. I dati iniziano ovviamente dal 2006, anno di fondazione dell'INRIM. Il numero di pubblicazioni cresce lievemente con il tempo, nonostante inevitabili alti e bassi. Il 2015 è l'anno col maggior numero di pubblicazioni

(23). Anche le *keywords* più presenti (Self-assembly/assembling con 10 presenze, Thin film con 10 e Magnetic thin film con 9) sono in linea con l'analisi qualitativa sopra riportata. Questo vale anche per le riviste scientifiche (la più presente è il Journal of Magnetism and Magnetic Materials con 10 articoli).

## 2.5 CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche

Il CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche è il più vasto e importante ente di ricerca pubblico italiano. Gli oltre 90 istituti che formano la sua rete di ricerca, ciascuno presente in diverse articolazioni territoriali, sono presenti su tutta la superficie del territorio italiano (oltre che in alcuni casi all'estero) e svolgono attività di ricerca in tutti i campi della conoscenza. Alcune di queste articolazioni territoriali sono situate in Piemonte, e tra queste alcune svolgono attività di ricerca nelle NST. Queste attività sono qui sotto descritte.

### 2.5.1 Analisi qualitativa: interviste

#### 2.5.1.1 CNR-IMEM

Una piccola sezione territoriale del CNR-IMEM, l'Istituto dei Materiali per l'Elettronica e il Magnetismo del CNR, è ospitata presso il Politecnico di Torino. Più nello specifico le sue attività sono collegate a quelle del laboratorio di ricerca ChiLab, che viene gestito dai ricercatori del CNR<sup>3</sup>. Le attività di ricerca del gruppo spaziano dalle micro- alle nanotecnologie. I temi di ricerca NST sono svariati e sono sintetizzati nella lista seguente.

- *Congegni microfluidici e Lab-on-Chip per l'assistenza sanitaria, il monitoraggio ambientale e le applicazioni industriali.* In questa linea di ricerca viene studiata la fabbricazione di congegni microfluidici, provvisti di funzionalizzazioni *custom* e integrati con materiali micro- e nanostrutturati e sensori per svariati campi di applicazione.
- *Biosensing elettronico.* Quest'area di ricerca punta allo sviluppo di nuove tipologie di transistor come i Transistor Organici Elettrochimici (OECT), i Transistor in Grafene ad Effetto di Campo (G-FET) e i Transistor Organici a Effetto di Campo con Gate Elettrolitico (EGO-FET), sia attraverso lo sviluppo di nuovi processi in camera bianca o con l'uso di grafene o materiali polimerici.
- *Supercapacitori.* In questo campo vengono studiate diverse tipologie di elettrodi nanostrutturati a base di carbonio allo scopo di accrescere la *performance* dei supercapacitori.
- *Tecnologie di stampaggio 3D.* Questa attività di ricerca ha lo scopo di sviluppare un sistema multi-scala (da micro a nano) e multifunzionale per la creazione di prototipi di micro e nanooggetti. Questo sistema dovrebbe essere basato su materiali polimerici che dovrebbero garantire l'integrazione delle nanostrutture in parti e componenti di micro manifattura.

#### 2.5.1.2 CNR-IMAMOTER

L'IMAMOTER, l'Istituto di Ricerca per le Macchine Agricole e Movimento terra del CNR, ha una sezione ospitata dall'Area della Ricerca di Torino. Un gruppo di ricercatori della sezione svolge attività di ricerca nelle NST seguendo due principali filoni di ricerca.

- *Materiali per applicazioni biomediche.* Questo filone di ricerca riguarda lo studio delle caratteristiche di materiali a base di nanoparticelle di Allumina o Zirconia in matrice polimerica. Questi materiali sono studiati per i loro possibili utilizzi in ambito biomedicale. Il gruppo di ricerca dell'IMAMOTER ha il compito di sintetizzare i materiali e di effettuare i test meccanici e le analisi chimico-fisiche. La ricerca è condotta in colla-

---

<sup>3</sup> Si vedano le pagine web <https://areeweb.polito.it/ricerca/micronanotech/main-page> e [http://www.disat.polito.it/the\\_department/internal\\_structures/department\\_labs/laboratori\\_area\\_fisica\\_e\\_fisica\\_della\\_materia/chilab\\_laboratory\\_chivasso](http://www.disat.polito.it/the_department/internal_structures/department_labs/laboratori_area_fisica_e_fisica_della_materia/chilab_laboratory_chivasso) (link visitato a luglio 2019).

borazione con ricercatori del Politecnico di Torino (sede di Alessandria) e della Dental School dell'Università degli Studi di Torino.

- *Materiali d'attrito per l'automotive*. L'argomento di questo filone di ricerca sono le nanoparticelle di varia natura, che vengono studiate per l'influenza che possono avere sul comportamento all'attrito delle parti meccaniche. Questa attività viene condotta in collaborazione con il Centro di Eccellenza NIS dell'Università di Torino e con un'impresa che opera nel campo dei materiali per attrito per l'automotive.

### 2.5.1.3 CNR-STIIMA

Il CNR-STIIMA (l'Istituto di Sistemi e Tecnologie Industriali per il Manifatturiero Avanzato) ha una sede a Biella. Questa sezione dell'Istituto si dedica ad attività di ricerca legate ai materiali tessili. Tra i numerosi temi di ricerca ne esiste uno legato alle NST. Le attività di ricerca in questo caso sono relative alla fabbricazione di nanofibre a partire da polimeri naturali. Le nanofibre sono prodotte a partire da soluzioni di polimero utilizzando una metodologia di *elettr spinning*. I materiali di partenza più importanti per questa fabbricazione, legati alle proprietà finali del prodotto, sono le cheratine, la proteina della lana. Nondimeno qualsiasi polimero solubile in un solvente volatile può essere trattato in questo modo, ad esempio la poliammide o miscele di polimeri. Le nanofibre dopo il processo di *elettr spinning* si auto-organizzano in strutture casuali producendo delle membrane. Questo materiale è compatto alla vista, ma è formato da nanofibre di circa 100 nanometri di diametro (il lavoro sperimentale è al momento indirizzato all'ottenimento di nanofibre di diametro inferiore). Queste membrane composte di nanofibre hanno svariate applicazioni. La prima di queste è per la filtrazione. Le membrane sono filtri meccanici, adatti alla filtrazione di particelle estremamente piccole. D'altro lato la loro superficie specifica è molto alta, e di conseguenza è possibile migliorare le proprietà di scambio di materia e di adsorbimento. I filtri possono quindi venir utilizzati per rimuovere ioni di metalli pesanti e coloranti dalle acque, o formaldeide e VOC dall'aria, grazie alla formazione di legami covalenti e alle proprietà chelanti della cheratina. Altre applicazioni sono in ambito biomedico. La nanostruttura mima quella dei tessuti umani, e i biopolimeri e la cheratina promuovono la crescita cellulare. Di conseguenza potrebbero venir utilizzati come *scaffolds* per creare in vitro culture cellulari o come impianti per guarire le ferite da ustione. Le nanofibre potrebbero anche venire funzionalizzate con nanoparticelle (ad esempio nanoparticelle di Argento per effetti antibatterici) o medicinali, o con nanoparticelle di biossido di Titanio per applicazioni fotocatalitiche. Il gruppo sta studiando al momento applicazioni in ambito dentistico.

### 2.5.2 Analisi bibliometrica quantitativa

Nel caso degli istituti CNR le pubblicazioni sono generalmente riportate sotto l'affiliazione generale del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Di conseguenza non è stato possibile effettuare una attività di ricerca bibliometrica utilizzando la medesima metodologia utilizzata per le precedenti istituzioni di ricerca. Quindi la ricerca bibliometrica è stata realizzata cercando nei database i nomi dei ricercatori coinvolti nelle attività di ricerca sopra descritte, e quindi applicando le queries già utilizzate.

Il dataset ottenuto contiene un totale di 32 prodotti scientifici. Le pubblicazioni per anno sono, come si può immaginare, mediamente molto poche, anche se si ha un notevole picco nel 2018 con 6 prodotti scientifici. Le keywords più presenti (Microcantilever con 4 presenze e Biosensor e Graphene con 3) sono in linea con quanto sopra descritto nell'analisi qualitativa. Per quanto riguarda le riviste la più presente è Biosensors and Bioelectronics con 3 articoli pubblicati nel corso degli anni.

### 2.6 Commenti conclusivi

I risultati di questa vasta analisi della ricerca piemontese nell'ambito delle nanotecnologie e delle nanoscienze mostra uno stato dell'arte notevolmente vario e complesso. Nella Regione le istituzioni di ricerca pubbliche (tre Università e due Enti di Ricerca pubblici) formano una rete vasta sia in termini geografici che di ambiti di ricerca. Nonostante Torino sia – ovviamente – po-

sta al centro di questa rete, e sia l'area più popolata in termini di istituzioni, anche l'Università del Piemonte Orientale rientra a pieno titolo in questa rete con importanti attività di ricerca.

I temi di ricerca presentati nella sezione precedente sono stati riassunti e sintetizzati in tabella 8. Questo è stato fatto con lo scopo di mostrare la complessità e l'estensione delle aree di ricerca NST toccate dagli enti presenti nella Regione. La tabella è stata costruita seguendo la classificazione empirica realizzata da (Islam and Miyazaki, 2010). Gli argomenti di ricerca NST sono divisi in quattro diverse categorie: Bionanotecnologie, Nanoelettronica, *Nanomanufacturing* e strumenti, Nanomateriali. È importante notare una differenza nel riportare gli argomenti di ricerca esistente tra PoliTO e gli altri enti di ricerca. Gli argomenti nelle colonne relative a PoliTO sono stati fusi e riportati una volta sola in caso di duplicazioni. Questo fatto è dovuto essenzialmente ad una certa frammentazione delle attività di ricerca NST in svariati gruppi e team di ricerca. Le altre istituzioni invece sono o più piccole (INRIM, UniUPO, istituti del CNR) o con una organizzazione centrale per quanto riguarda le NST (UniTO). Questi fatti hanno come conseguenza la necessità di riorganizzare per PoliTO i temi di ricerca in modo da evitare duplicazioni. È facile notare come le quattro categorie non siano equamente popolate. L'unica delle quattro ad essere presente in tutte gli enti sono i Nanomateriali. I temi di ricerca seguiti da più di una istituzione di ricerca sono diversi. Ad essere studiati in maniera estesa sono sia i nanomateriali strutturali sia quelli funzionali.

Anche le Bionanotecnologie sono studiate in maniera estesa nella Regione. In questo caso le linee di ricerca presentano una minore sovrapposizione rispetto al caso precedente, e il profilo di ricerca di ciascun Ente è più definito. Al contrario il *Nanomanufacturing* è dominio unico di PoliTO e degli Istituti CNR. In questo caso esiste un certo grado di sovrapposizione; questo potrebbe essere dovuto al fatto che uno degli Istituti CNR è situato fisicamente all'interno delle strutture di PoliTO e collabora intensivamente con uno dei suoi gruppi di ricerca. È importante inoltre notare come alcuni degli argomenti della categoria *Nanomanufacturing* siano molto vicini, o potrebbero essere condivisi con, la quarta ed ultima delle categorie: Nanoelettronica. A parte i temi "condivisi" con il CNR (come i supercapacitori) la Nanoelettronica è dominio unico di PoliTO.

La ricerca NST in Piemonte è quindi ben rappresentata in tutte gli enti di ricerca del Sistema Regionale dell'Innovazione. Il numero di pubblicazioni è cresciuto stabilmente con l'andar del tempo, anche se si è verificata una lieve decrescita negli ultimi due-tre anni. Tutti gli enti di ricerca collaborano in maniera bilanciata alla produzione scientifica Regionale.

La lista dei temi di ricerca NST quindi mostra un'ampia varietà di attività di ricerca, pur con qualche sovrapposizione tra i diversi enti. Tutte e quattro le categorie sono rappresentate nel sistema della Ricerca regionale, ciascuna con svariati diversi temi. Allo scopo di aggiungere maggior dettaglio alla descrizione delle attività di ricerca, le *keywords* relative agli enti di ricerca piemontesi sono state raggruppate e sintetizzate secondo quanto riportato in tabella 7.

Anche le *keywords* mostrano un panorama della ricerca quanto mai variegato e significativo *a livello regionale*. Questo potrebbe permettere a numerosissime imprese di reperire sul territorio possibilità di cooperazione e quindi di innovazione.

La cooperazione, anche nell'ambito regionale piemontese, deve ovviamente scontare i problemi classici della relazione ricerca-impresa che storicamente rendono complessa la relazione innovativa (Bruneel et al., 2010). Sotto questo punto di vista è importante ricordare le già esistenti iniziative regionali di supporto all'innovazione. La più nota è quella dei Poli di Innovazione<sup>4</sup>. I sette Poli di Innovazione regionali sono raggruppamenti di imprese (sia Piccole e Medie che grandi imprese, così come start up innovative) ed enti di ricerca impegnati ed attivi in uno specifico ambito tecnologico o applicativo. Il modello dei Poli di Innovazione è quello dei "distretti tecnologici" o dei "cluster innovativi" (Bertamino et al., 2017; Finardi, 2013). I loro scopi sono la promozione del technology transfer, la diffusione di servizi legati all'innovazione presso imprese (in particolare le PMI), la promozione della condivisione di strutture, conoscenze e competenze.

---

<sup>4</sup> Si veda <https://www.regione.piemonte.it/web/temi/fondi-progetti-europei/fondo-europeo-sviluppo-regionale-fesr/sistema-dei-poli-innovazione-regionali> (link visitato a giugno 2019).

Più recentemente alcune strutture di ricerca legate alle NST sono state finanziate e stanno per essere realizzate. Nel corso del 2018 la Regione Piemonte ha finanziato il progetto PiqueT – Piemonte Quantum Enabling Technology. Si tratta di un progetto molto ambizioso per la realizzazione di un nuovo centro di micro- e nanofabbricazione che concentra tutte le risorse umane e tecnologiche dedicate della ricerca pubblica piemontese (Enti di ricerca e Università). Il nuovo centro coinvolge l'INRIM assieme a dipartimenti di PoliTO e UniTO. La nuova infrastruttura unirà ricerca e impresa, con la presenza di impianti pilota di produzione. Le infrastrutture di ricerca saranno potenziate e condivise tra le istituzioni, con lo scopo di ottenere una maggiore “massa critica” di ricerca. Nel centro saranno presenti camere bianche (circa 1.000 metri quadrati di camere bianche, oltre a 1.500 metri quadrati di uffici ed altri laboratori), così come *facilities* di microscopia elettronica ed altre infrastrutture.

Un secondo importante progetto, anch'esso finanziato dalla Regione Piemonte è il progetto SAX – Advanced Instrumentations for Complex Systems. Questo progetto coinvolge UniTO e PoliTO, e nello specifico il Centro di Eccellenza NIS e il DISAT. Lo scopo del progetto è quello di creare un *open lab* attraverso l'acquisizione di una serie di strumenti di alto livello, quali un FEG-SEM, un diffrattometro a raggi X, un apparecchio per la micro-tomografia a raggi X. L'*open lab* dovrebbe essere una struttura capace di realizzare studi in grado di migliorare la spinta innovativa regionale e, potenzialmente, anche nazionale. Questi strumenti sono infatti apparecchi di rilevanza scientifico-tecnologica a livello Europeo. Il progetto inoltre vuole incentivare la rete di collaborazioni esistente tra l'università e i loro Incubatori d'impresa, aprendo la strada ad un Centro di Competenza regionale. È facile comprendere come questi progetti contribuiscano ad una immagine di un *cluster* regionale della ricerca NST vivo ed attivo, e particolarmente desideroso di contatti con le imprese ed il mondo industriale.

**Tabella 7.** Keywords Piemontesi

| KEYWORD                                   | N° |
|---|----|
| Graphene (nanoplatelets; oxide; transfer) | 91 |
| Quantum-dot (cellular automata)           | 48 |
| Thin film(s)                              | 47 |
| Dye-sensitized solar cell(s)              | 40 |
| Self-assembly(ng)                         | 34 |
| Carbon nanotubes                          | 27 |
| UV-curing                                 | 22 |
| Photopolymerization                       | 20 |
| Block Copolymers                          | 19 |
| Coating                                   | 17 |
| Nanocomposites                            | 17 |
| X-ray diffraction                         | 17 |
| Diamond                                   | 16 |
| Polymer electrolyte                       | 16 |
| Raman spectroscopy                        | 16 |
| Semiconductor lasers                      | 16 |
| Zinc oxide                                | 16 |
| Mechanical properties                     | 15 |
| Microcantilever                           | 14 |
| Rapid thermal processing (RTP)            | 13 |
| Thermal conductivity                      | 13 |
| XPS                                       | 13 |
| Electrochemical impedance spectroscopy    | 12 |
| Reduced graphene oxide                    | 12 |
| Nanoparticles                             | 11 |
| Sol-gel                                   | 11 |
| PS-b-PMMA                                 | 10 |

Fonte: Elaborazione di dati Scopus.

**Tabella 8.** Temi della ricerca pubblica Piemontese nel campo delle NST

|               | Bionanotecnologie  | Nanoelettronica  | Nanomanufacturing e strumenti  | Nanomateriali  |
|---------------|--|--|--|--|
| <b>UniTO</b>  | Nano-biochimica;<br>Nanotecnologie per la farmaceutica e la cosmesi.<br>Nanotossicologia;<br>Nanosicurezza;<br>Nanomedicina.   |  |  | Catalisi e materiali porosi;<br>Fotocatalisi;<br>Fisica per le neuroscienze;<br><i>Storage</i> di idrogeno;<br>Vetri metallici;<br>Materiali termoelettrici;<br>Materiali composite, composti <i>carbon-loaded</i> ;<br>Nanotecnologie del diamante;<br>Surfattanti e coloranti.   |
| <b>PoliTO</b> | Bionanomateriali, bionanomateriali degradabili;<br>Rilevamento di biomolecole;<br><i>Smart scaffolds</i> per la medicina di precisione;<br>Nanoparticelle polimeriche <i>carrier</i> ;<br>Materiali per la rigenerazione di tessuti vivi;<br>Materiali nanostrutturati per il <i>drug delivery</i> . | Modelli di circuiti per <i>nanodevices (memristors)</i> ;<br>Tecnologie emergenti per il <i>nanocomputing</i> (nanomageti, apparati molecolari);<br>Applicazioni dei <i>Quantum dots</i> in congegni fotonici. | Simulazione di materiali basati su semiconduttori;<br>Stampa 3-D;<br>Sensori;<br>Membrane a base di Grafene per la filtrazione dell'acqua;<br>Supercapacitori per lo <i>storage</i> di energia;<br>Soluzioni per l'economia <i>low carbon</i> ;<br>Nanoparticelle per l'industria alimentare;<br>Funzionalizzazione di tessuti;<br>Nanoparticelle per la <i>remediation</i> delle acque. | Materiali per sistemi energetici di nuova generazione e <i>smart</i> e per batterie innovative;<br>Modifica e funzionalizzazione di polimeri per mezzo di materiali nanostrutturati;<br>Nuovi catalizzatori e fotocatalizzatori;<br>Materiali ceramici per applicazioni biomediche e meccaniche;<br>Aerogeli nanoporosi;<br>Materiali superconduttori. |
| <b>UniUPO</b> | Nanoparticelle per <i>imaging</i> ottico e terapia fotodinamica.   |  |  | Materiali per il <i>gas storage</i> ;<br>Materiali per la decontaminazione ambientale;<br>Catalizzatori ibridi;<br>Copolimeri a blocchi per la realizzazione di superfici nanostrutturate e nanosfere.   |
| <b>INRIM</b>  |  |  |  | Litografia basata su nanosfere;<br>Metamateriali.  |
| <b>CNR</b>    | Biosensori elettronici;<br>Materiali per applicazioni biomedicali.   |  | Supercapacitori;<br>Stampa 3-D;<br>Congegni microfluidici and <i>Lab-On-Chip</i> per applicazioni sanitarie, per il monitoraggio ambientale e per applicazioni industriali;<br>Fabbricazione di nanofibre per applicazioni di filtraggio.  | Materiali di attrito per l'automotive.   |

Fonte: interviste.

### 3 LE IMPRESE PIEMONTESE ATTIVE NELLE NANOTECNOLOGIE

A differenza di quanto realizzato per gli enti di ricerca, la mappatura delle imprese in qualche modo legate alle NST è stata realizzata con una certa difficoltà. Questo fatto è dovuto ad una molteplicità di cause. Innanzi tutto esiste una palese difficoltà di identificazione della presenza di applicazioni NST nell'ambito del processo produttivo. Identificare questa presenza è relativamente facile solo nel caso di piccole startup o spin-off, o comunque di micro imprese basate sostanzialmente su brevetti o che hanno come *core business* la produzione di pochissimi tipi di prodotto o la fornitura di un numero molto ristretto di servizi. Nel caso di imprese di dimensioni maggiori definire la presenza o meno di applicazioni delle NST nell'ambito del pro-

cesso produttivo è ovviamente molto più complicato. Innanzi tutto perché le NST potrebbero essere presenti in fase di ricerca e sviluppo preproduttivo e quindi risultare invisibili se non attraverso un contatto diretto con le persone che si occupano specificatamente di questo argomento. In questo caso, inoltre, è altamente probabile che motivazioni di segretezza industriale renderebbero inaccessibile l'informazione. Inoltre nel caso di una impresa con un numero molto vasto di prodotti o servizi forniti può essere notevolmente difficile riuscire a rilevare la presenza di applicazioni NST nella quantità delle produzioni stesse.

Di conseguenza quello presentato nelle pagine seguenti può essere definito come un campione significativo di imprese. Questo perché, nonostante il lavoro di ricerca sia stato intenso e articolato, non sarebbe scientificamente accettabile definirlo come *survey* completa delle imprese piemontesi impegnate nelle NST. Tuttavia grazie alla metodologia di ricerca adottata il campione può appunto essere definito come altamente significativo.

### 3.1 Metodologia di reperimento delle informazioni

Le imprese sono state selezionate attraverso una metodologia complessa che ha previsto l'utilizzo di numerose serie di dati. La prima fonte sono stati i Poli di Innovazione regionali<sup>5</sup>. I Poli di Innovazione, finanziati attraverso i fondi POR-FESR, sono raggruppamenti di imprese (sia PMI e startup innovative che grandi imprese) ed enti di ricerca che svolgono le loro attività in specifiche aree di applicazione delle tecnologie. Sono stati ideati e costituiti seguendo i modelli dei "Cluster innovativi", dei distretti tecnologici e degli Innovation Hub. Gli scopi dei Poli di Innovazione piemontesi sono il trasferimento tecnologico, la diffusione dei servizi legati all'innovazione e il sostegno alla condivisione di strutture, conoscenze e competenze.

Proprio a causa della loro struttura e dei loro scopi i Poli di Innovazione sono stati la prima fonte di informazione considerata. Infatti era molto alta la probabilità di reperire al loro interno imprese ad elevato contenuto tecnologico, ad alta intensità di R&D o comunque proattive nei confronti delle nuove tecnologie. Nel caso di tre dei Poli di Innovazione (MESAP, Biomed e Clever) è stata richiesta direttamente a dirigenti del Polo una lista di imprese potenzialmente attive in ambito NST. Nel caso di altri tre Poli (Agrifood, Green chemistry e Pointex) si è invece effettuata una scansione delle imprese aderenti utilizzando i siti web dei Poli stessi. Grazie anche all'utilizzo di database specifici di imprese si è provveduto ad identificare quelle potenzialmente attive in ambito NST. Si è portata particolare attenzione alle imprese attive nei campi dei nuovi materiali, della produzione di circuiti elettronici, delle biotecnologie o della fabbricazione innovativa.

Una ulteriore fonte di informazione sono stati i siti web dei tre incubatori di impresa degli Atenei Piemontesi<sup>6</sup>. Le liste delle imprese – sia quelle attualmente incubate sia quelle incubate in passato – sono state scansionate con i medesimi criteri delle precedenti in modo da identificare imprese potenzialmente attive nelle NST.

Alcune imprese sono poi state reperite attraverso l'ultimo Censimento Italiano delle Nanotecnologie realizzato nel 2011 da AIRI – Associazione Italiana Ricerca Industriale<sup>7</sup>. Nonostante non sia più aggiornato il Censimento rimane comunque una fonte utile di informazione in questo senso.

La lista dei brevetti nanotech piemontesi utilizzata nello studio di Finardi (2018b) comprende inoltre alcuni brevetti registrati a nome di imprese piemontesi.

Infine alcune imprese considerate sono quelle che hanno partecipato al progetto Nanomat nel 2007-2008. Nonostante il progetto dati ad oltre un decennio fa le imprese sono state comunque prese in considerazione data l'importanza che ha avuto l'iniziativa per le nanotecnologie nell'ambito regionale.

Una volta individuata una lista di possibili candidati ad entrare nel database sono state seguite sostanzialmente due strade per poter completare l'informazione rispetto alla presenza o meno dell'utilizzo delle NST nel processo produttivo. Nel caso fossero disponibili indicazioni precise

<sup>5</sup> Vedi <https://www.regione.piemonte.it/web/temi/fondi-progetti-europei/fondo-europeo-sviluppo-regionale-fesr/sistema-dei-poli-innovazione-regionali> (link visitato a luglio 2019).

<sup>6</sup> <http://www.2i3t.it/>; <https://www.i3p.it/>; <http://www.enne3.it/> (link visitato a luglio 2019).

<sup>7</sup> Vedi <https://www.airi.it/2011/10/census-nano-2003-2006-2011/> (link visitato a luglio 2019).

di persone di contatto si è ovviamente provveduto a contattarle direttamente. Queste indicazioni sono state reperite o attraverso i Poli di Innovazione che hanno risposto alla richiesta di dati, o attraverso i siti web delle imprese, o attraverso i dati di database specializzati. Solitamente si è trattato di persone impegnate in ambito R&D (per quanto riguarda le imprese medio-grandi) o di uno degli imprenditori nel caso di imprese piccole o micro, tendenzialmente ad alto contenuto di conoscenza. A queste persone è stato chiesto esplicitamente di descrivere brevemente la (eventuale) presenza di applicazioni delle NST nell'ambito delle operazioni dell'impresa.

Nel caso non fossero presenti nominativi di riferimento il processo è stato ovviamente più complesso. In questo ovviamente non è stato possibile ottenere informazioni di prima mano, data la difficoltà di contattare direttamente le imprese senza il nominativo di una persona di riferimento. In questo caso ci si è riferiti direttamente ai siti web o ad informazioni terze.

Una volta reperiti i dati sulle attività NST delle imprese questi sono stati analizzati come sotto descritto.

### 3.2 Analisi

Una prima analisi effettuata è quella relativa alle dimensioni di impresa. A questo scopo ci si è riferiti alla definizione di micro/piccola/media/grande impresa data dall'Unione Europea secondo quanto segue<sup>8</sup>:

- microimpresa: meno di 10 dipendenti e un fatturato [...] o bilancio [...] annuo inferiore ai 2 milioni di euro;
- piccola impresa: meno di 50 dipendenti e un fatturato o bilancio annuo inferiore a 10 milioni di euro;
- media impresa: meno di 250 dipendenti e un fatturato annuo inferiore a 50 milioni di euro o un bilancio inferiore a 43 milioni di euro.

Un gruppo numericamente abbastanza consistente di imprese fa parte delle microimprese. Di queste sono state intervistate o comunque reperite 11 imprese che a vario titolo, attualmente o nel recente passato, si sono occupate di NST. La tabella 9 riporta una breve descrizione delle attività produttive NST di queste micro imprese. Per ciascuna impresa sono indicati il settore ATECO di riferimento (in modo da inquadrare l'impresa nel proprio settore industriale) e il Codice di avviamento postale della sede allo scopo di dare un'indicazione della distribuzione geografica delle imprese stesse.

Altre imprese appartengono ai gruppi delle piccole o medie imprese. Queste sono riportate con le medesime modalità in tabella 10.

Oltre alle micro imprese e alle PMI anche alcuni gruppi industriali si sono occupati in passato di NST o hanno produzioni in qualche modo riconducibili ad esse. Nel caso delle grandi imprese non è stato possibile reperire contatti di riferimento, per cui non viene realizzata una analisi dettagliata come quella precedente.

Il campione di imprese impegnate a vario titolo in ambito NST mostra una notevole differenziazione di ambiti produttivi. Il fatto di maggiore interesse è probabilmente che solo una parte delle imprese del campione lavorano in ambiti strettamente hi-tech e legati alla ricerca scientifico-tecnologica. Una parte delle imprese, anche se non maggioritaria, tenta di inserire ritrovati o processi NST nelle proprie attività produttive per realizzare vere e proprie innovazioni.

Se da un lato la scarsità numerica del campione (che peraltro risente delle problematiche oggettive sopra esposte) è un indice di bassa proattività nei confronti delle nuove tecnologie, è importante sottolineare come proprio la varietà di settori industriali presenti nella lista sia invece un indice positivo. Considerando infatti l'imprenditoria locale a livello generale questo fatto mostra un interesse diffuso verso le NST. Lo stesso si può dire considerando i CAP delle imprese, che mostrano una diffusione geografica abbastanza varia.

---

<sup>8</sup> Si veda [http://publications.europa.eu/resource/cellar/1bd0c013-0ba3-4549-b879-0ed797389fa1.0010.02/DOC\\_2](http://publications.europa.eu/resource/cellar/1bd0c013-0ba3-4549-b879-0ed797389fa1.0010.02/DOC_2) (link visitato a luglio 2019).

**Tabella 9.** Attività produttive NST delle micro imprese piemontesi campionate

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| <b>1</b>   | <b>ATECO 721909; CAP 28100</b> |
| L'impresa 1 si occupa principalmente di formulazioni ad alto valore aggiunto, inizialmente in ambito farmaceutico per poi spostarsi anche ad altri settori. In ambito NST vengono realizzati nanosistemi omogenei ad alta pressione, realizzando nanosospensioni e nanoemulsioni.  |                                |
| <b>2</b>   | <b>ATECO 261109; CAP 10139</b> |
| L'impresa 2 si occupa di processi laser per texturing superficiale o per realizzare strutture al confine tra le micro e le nanotecnologie. In particolare produce laser utilizzati per incidere microcanali attraverso i quali è possibile veicolare nanoparticelle. Gli utilizzi sono legati a vari campi quali la farmaceutica, la cosmesi o il biomedicale. Ad esempio in ambito cosmetico si possono con questi metodi miscelare proteine da veicolare. Oppure è possibile realizzare canali che contengono una matrice acquosa che permette di rilevare metalli in applicazioni ambientali.         |                                |
| <b>3</b>   | <b>ATECO 721000; CAP 10144</b> |
| L'impresa 3 è attiva nell'ambito della nanomedicina e del drug delivery. Produce carrier lipidici caricati con farmaci, principi attivi o cosmetici. Le lavorazioni sono al confine tra micro- e nanotecnologie.   |                                |
| <b>4</b>   | <b>ATECO 721909; CAP 10121</b> |
| L'impresa 4 si occupa di diverse tematiche NST al confine tra produzione e ricerca. Ad esempio vengono studiati e realizzati film sottili che vengono poi nanolavorati (ad esempio con tecniche di etching) per scopi legati all'energia, o al biomedicale. In alcuni casi le superfici vengono funzionalizzate. Le collaborazioni con altre imprese ed enti di ricerca sono numerose.   |                                |
| <b>5</b>   | <b>ATECO 303009; CAP 10122</b> |
| L'impresa 5 si è occupata in passato di applicazioni aerospaziali delle nanotecnologie. Un primo tema di ricerca era quello dei polimeri (polipropilene) caricati con nanoargille per risolvere problemi di infiammabilità in ambito aerospaziale. Un secondo argomento era quello relativo allo sviluppo di inchiostri basati su nanoparticelle conduttive con lo scopo di stampare circuiti elettrici su superfici di oggetti. In questo tipo di lavorazione le nanoparticelle metalliche erano diluite in solventi che una volta evaporati lasciavano il circuito stampato sulla superficie stampata. |                                |
| <b>6</b>   | <b>ATECO 721909; CAP 28100</b> |
| L'impresa 6 si occupa di accompagnare altre imprese verso l'utilizzo di nanomateriali per scopi industriali. Di conseguenza realizza test e prove in scala ed è in grado di fornire piccole produzioni di nanomateriali (nell'ambito dimensionale dei kg). Nello specifico produce argille lamellari e nanotubi. Inoltre effettua caratterizzazioni chimico-fisiche, meccaniche, microscopiche per controllo di qualità o simili, e sviluppa nuovi dispositivi per realizzare test.  |                                |
| <b>7</b>   | <b>ATECO 289999; CAP 10121</b> |
| L'impresa 7 realizza materiali microincapsulati per scopi di gestione della termoregolazione. Le produzioni si situano al confine tra le micro- e le nanotecnologie.   |                                |
| <b>8</b>   | <b>ATECO 712010; CAP 10135</b> |
| L'impresa 8 lavora nell'ambito delle analisi scientifiche e delle ricerche legate ai beni culturali e alle tecnologie dei materiali. A questo scopo ha realizzato una linea di materiali che prevedono tra le altre l'utilizzo di soluzioni NST per scopi di restauro e conservazione.   |                                |
| <b>9</b>   | <b>ATECO 303009; CAP 10040</b> |
| L'impresa 9 lavora nell'ambito dell'aerospazio e si è occupata nell'ambito delle proprie produzioni di spalmature di tessuti caricate con nanoparticelle. Lo scopo era quello di ottenere materiali con una migliore impermeabilità ai gas.  |                                |
| <b>10</b>  | <b>ATECO 325020; CAP 10148</b> |
| L'impresa 10 lavora nell'ambito della produzione di protesi dentarie. Ha partecipato a progetti europei legati all'innovazione nella protesica e nell'ortopedia, allo scopo di studiare materiali ceramici nanostrutturati da utilizzare nelle proprie produzioni.   |                                |
| <b>11</b>  | <b>ATECO 749093; CAP 10121</b> |
| L'impresa 11 produce sistemi per la stampa inkjet. In questo ambito ha partecipato ad un progetto europeo per lo sviluppo di formulazioni di inchiostri a base di nanoparticelle per l'utilizzo in applicazioni di stampa.   |                                |

**Tabella 10.** Attività produttive NST delle piccole e medie imprese piemontesi campionate

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| <b>12</b>   | <b>ATECO 270000; CAP 15033</b> |
| L'impresa 12, nata nell'ambito della componentistica per elettrodomestici, è entrata negli anni 2000 nell'industria biomedicale. In ambito nanotech lavora in due aree prevalenti: quella dei nanomateriali, ingegnerizzando materiali innovativi, e quella delle bionanotecnologie, principalmente a scopi diagnostici, di sensoristica e altri. |                                |
| <b>13</b>   | <b>ATECO 721909; CAP 14037</b> |
| L'impresa 13 opera in ambito del biomedico, realizzando applicazioni cliniche delle nanotecnologie: strati nanometrici legati per protesi dentarie, funzionalizzazioni con biomolecole, nanoparticelle per uso biologico.   |                                |
| <b>14</b>   | <b>ATECO 467620; CAP 10126</b> |
| L'impresa 14 è attiva nel campo dei materiali plastici, con un ampio spettro di produzioni. Tra i vari prodotti trovano posto anche nanocompositi (con filler silicei) e compositi conduttivi che utilizzano nanotubi come filler.  |                                |
| <b>15</b>   | <b>ATECO 256100; CAP 10060</b> |
| L'impresa 15 sviluppa tra le altre produzioni tecnologie al plasma e deposizioni per il trattamento superficiale di materiali di vario tipo: tessili (cotone, lana, sintetico), parti metalliche, introducendo modifiche nanodimensionate in modo da conferire proprietà di vario tipo alle superfici trattate.                                   |                                |

#### 4 COMMENTI CONCLUSIVI: IL SISTEMA PIEMONTESE DELLE NANOTECNOLOGIE

Questo rapporto di ricerca riassume parte dei risultati del progetto “Le Nanotecnologie in Piemonte: studio per la creazione di un osservatorio operativo regionale”. In particolare vuole descrivere il sistema piemontese delle nanotecnologie e delle nanoscienze.

A questo scopo è bene premettere una serie di dati e di considerazioni di carattere più generale. Infatti il contesto regionale del Piemonte è quanto mai articolato e vasto anche per quanto riguarda il panorama dell'industria, così come quello della ricerca. Il Piemonte è una regione popolosa (4.375.865 abitanti al 2017) e relativamente ricca<sup>9</sup>. Il Prodotto Interno Lordo pro capite era nel 2016 di 29.487,7 € all'anno, contro una media nazionale di 27.718,8 €. Sotto questo punto di vista tuttavia è importante ricordare che il Prodotto Interno Lordo pro capite del Piemonte è il più basso del nord Italia. Per le altre Regioni infatti i valori sono i seguenti: Valle d'Aosta 34.949,0 €, Liguria 31.060,0 €, Lombardia 36.807,1 €, Trentino-Alto Adige 38.676,1 €, Veneto 31.730,4 €, Friuli-Venezia Giulia 30.322,1 €, Emilia-Romagna 34.602,0 €. Questo dato relativo al Prodotto Interno Lordo può essere letto in unione a quello relativo al numero delle imprese registrate sul territorio regionale. Queste erano 133.279 in 2017, ma erano 136.612 nel 2015. Questi valori indicano un calo del 2,4 % in due anni. Un tale valore può venir ritenuto fisiologico, ma impone comunque un minimo di attenzione alle problematiche dello sviluppo industriale e commerciale.

Altri dati importanti da considerare sono quelli relativi alla ricerca e alle imprese innovative. Per quanto riguarda il primo argomento possiamo riferirci alle unità di personale impiegate in questo ambito. In Piemonte il personale impiegato in attività di ricerca era nel 2016 di 40.654 unità (delle quali 30.001, il 73,8 %, erano impiegati in imprese del settore privato). Il totale per l'Italia era di 435.283, di cui 234.902 in imprese private (il 54 %). Quindi in Piemonte risulta impiegato nella ricerca lo 0,93 % della popolazione, mentre su tutto il territorio nazionale la percentuale era dello 0,72 %. La differenza è del 22,5 % a favore del Piemonte. Questi dati sono estremamente significativi. Innanzi tutto la percentuale di ricercatori sulla popolazione, nettamente più alta che nel resto d'Italia, mostra una attenzione alla ricerca scientifica e tecnologica superiore alla media nazionale. Inoltre il fatto che la percentuale di ricercatori nel settore privato

<sup>9</sup> Questi dati e i seguenti sono presenti nella pagina web «I numeri del Piemonte» Annuario Statistico Regionale, <https://www.regione.piemonte.it/web/amministrazione/finanza-programmazione-statistica/statistica/numeri-piemonte-annuario-statistico-regionale> (link visitato a luglio 2019).

piemontese sia nettamente più alta di quella nazionale lascia pensare ad una certa proattività delle imprese nei confronti delle attività di R&D.

Un altro dato significativo è quello relativo alle start-up e alle PMI innovative registrate presso il Registro delle Imprese delle Camere di Commercio e del Ministero dello Sviluppo Economico<sup>10</sup>. Nell'elenco delle start-up innovative figurano nel 2019 534 imprese sul territorio piemontese, mentre il totale per l'Italia è di 10.178 start-up innovative. Di conseguenza risultano essere presenti in Piemonte una start-up innovativa ogni 8.194 abitanti, mentre se si guarda al valore nazionale questo è di una start-up ogni 5.942 abitanti. Per quanto riguarda le PMI Innovative quelle registrate per il Piemonte sono 93, mentre in Italia risultano esserne registrate 1.093. questo significa quindi che in Piemonte le imprese sono una ogni 47.052, mentre in Italia una ogni 55.337. Di conseguenza questi dati mostrano dei valori in controtendenza: in Piemonte le PMI Innovative sono mediamente più rispetto al resto d'Italia, mentre le start-up innovative sono meno.

In definitiva è possibile affermare in linea generale che i dati mostrano un contesto da un lato proattivo verso la Ricerca e lo Sviluppo ma dall'altro con qualche difficoltà: PIL pro capite più basso delle Regioni circostanti, numero di imprese in lieve decrescita, mentre le startup/PMI innovative sono molte ma il dato è dubbio rispetto a quello nazionale. In questo contesto è importante che le imprese provvedano ad innovare sia dal punto di vista del prodotto che da quello del processo<sup>11</sup>.

L'analisi del sistema della ricerca NST regionale presenta un quadro quanto mai attivo e complesso. Tutti gli enti di ricerca presenti sul territorio (EPR ed Università) sono impegnati nelle varie aree di ricerca NST, come mostrato dalle tabelle sopra riportate. Le pubblicazioni scientifiche sono in crescita in ognuno degli enti e delle Università, pur ovviamente con le dovute differenze. Già le pubblicazioni mostrano un discreto *range* di argomenti scientifico-tecnologici trattati nell'ambito NST in Piemonte.

La brevettazione è meno diffusa, come è facile immaginare date le intrinseche difficoltà tecniche ed economiche legate alla presentazione e all'ottenimento di un brevetto. Inoltre il dataset scelto è abbastanza specifico. Tuttavia anche in questo caso il "sistema" piemontese NST è attivo sia per quanto riguarda le imprese (come è ovvio) sia per la ricerca.

Proprio la ricerca (principalmente pubblica, ma anche relativa ad alcuni importanti attori privati) è lo snodo focale delle NST piemontesi. La lunga disamina degli argomenti di ricerca seguiti dai ricercatori piemontesi si presta ad alcune considerazioni. La prima è quella relativa alla evidente proattività della ricerca piemontese nell'ambito delle NST, considerazione parallela a quella appena fatta a margine del commento sui dati bibliometrici. È però più importante notare che gli argomenti di ricerca NST sono quanto mai vari e diversificati tra loro. Conseguenza di questo fatto è che il bacino di imprese piemontesi che possono trovare a distanza relativamente breve collaborazioni scientifico-tecnologiche NST è potenzialmente molto vasto. La tabella 7 – che riassume e sintetizza le interviste ai ricercatori piemontesi - testimonia questa vastità di argomenti.

Questo risultato è senza dubbio il più significativo di questo studio. Deve inoltre essere letto in parallelo ad un altro dato: quello relativo ai codici ATECO del campione di imprese "nanotech" sopra descritto. La tabella 11 sintetizza il numero di imprese per ciascun ATECO, a cui è affiancata la descrizione. Esiste nel campione di imprese un significativo sbilanciamento verso i settori ATECO relativi alla Ricerca e sviluppo. Ben 6 imprese su 15 infatti sono registrate nel macrosettore 72 – Ricerca scientifica e sviluppo. Tuttavia è importante notare anche come le 15 imprese siano comunque distribuite in 10 diversi sottosectori ATECO di aree diverse. Diventa quindi evidente come probabilmente da entrambi i lati della (possibile) collaborazione ricerca-impresa sia presente una pluralità di offerte.

Al tempo stesso è necessario comunque essere realisti sulle possibilità attuali di trasferimento tecnologico che il "sistema NST piemontese" può permettere. Infatti è bene tenere presente

<sup>10</sup> Vedi <http://startup.registroimprese.it/isin/home> (link visitato a luglio 2019).

<sup>11</sup> Per una descrizione dei vari tipi di innovazione si veda ad esempio "The UAE Innovation Guide for Companies towards UAE Vision 2021", [http://www.economy.gov.ae/Publications/180207%20-UAE%20Innovation%20Guide\\_ENG-V12.pdf](http://www.economy.gov.ae/Publications/180207%20-UAE%20Innovation%20Guide_ENG-V12.pdf) (link visitato a luglio 2019).

che il trasferimento tecnologico sottostà ad una serie di condizioni vincolanti ben conosciute nella letteratura scientifica sull'argomento. Queste possono venir sintetizzate nei classici problemi legati alla diversa modalità comunicativa e ai diversi obiettivi esistenti tra ricerca e impresa, e alle difficoltà da parte delle imprese nel trovare una giusta *partnership* in grado di fornire conoscenze e strumenti per risolvere problemi legati al proprio business o per sviluppare nuovi prodotti, processi o servizi.

Il progetto "Le Nanotecnologie in Piemonte: studio per la creazione di un osservatorio operativo regionale" si inserisce in questo panorama proprio per cercare di studiare strumenti atti a risolvere almeno parzialmente questi problemi. L'analisi presentata in questo rapporto di ricerca costituisce l'inquadramento dello *status quo*.

**Tabella 11.** Numero di imprese per codice ATECO nel campione nanotech

| ATECO  | DESCRIZIONE   | N° |
|--------|---|----|
| 721909 | R&S sperimentale nel campo delle altre scienze naturali e dell'ingegneria   | 4  |
| 303009 | Fabbricazione di aeromobili, di veicoli spaziali e dei relativi dispositivi | 2  |
| 721000 | R&S sperimentale nel campo delle scienze naturali e dell'ingegneria         | 2  |
| 256100 | Trattamento e rivestimento dei metalli                                      | 1  |
| 261109 | Fabbricazione di altri componenti elettronici                               | 1  |
| 289999 | Fabbricazione di altre macchine ed attrezzature per impieghi speciali       | 1  |
| 325020 | Fabbricazione di protesi dentarie   | 1  |
| 467620 | Commercio di gomma e materie plastiche                                      | 1  |
| 712010 | Collaudi e analisi tecniche di prodotti                                     | 1  |
| 749093 | Altre attività di consulenza tecnica  | 1  |

## 5 BIBLIOGRAFIA

- Bertamino, F., Bronzini, R., Maggio, M. D., & Revelli, D. (2017). Regional policies for innovation: the case of technology districts in Italy. *Regional Studies*, 51(12), 1826–1839.  
<https://doi.org/10.1080/00343404.2016.1255321>
- Bruneel, J., D'Este, P., & Salter, A. (2010). Investigating the factors that diminish the barriers to university–industry collaboration. *Research Policy*, 39(7), 858–868.  
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.03.006>
- Finardi, U. (2019). Research topics in Nanotechnologies and Nanosciences: an analysis of Piedmont research system. *Working Paper IRCrES*, 2019(5), 1–36.
- Finardi, Ugo. (2013). Clustering Research, Education, and Entrepreneurship: Nanotech Innovation at MINATEC in Grenoble. *Research-Technology Management*, 56(1), 16–20.  
<https://doi.org/10.5437/08956308X5601040>
- Finardi, Ugo. (2018b). Nanotechnology patenting in Piedmont: analysis and links with research and industrial environment in the Region. *Working Paper IRCrES*, 4(8/2018), 1–15.  
<https://doi.org/10.23760/2421-7158.2018.008>
- Finardi, Ugo, & Breznitz, S. M. (2017). Factors affecting university commercialization: evidence from Italy. *Ekonomiaz: Revista Vasca de Economía*, (92), 222–245.
- Islam, N., & Miyazaki, K. (2010). An empirical analysis of nanotechnology research domains. *Technovation*, 30(4), 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2009.10.002>
- Rolfo, S., & Finardi, U. (2014). University Third mission in Italy: organization, faculty attitude and academic specialization. *The Journal of Technology Transfer*, 39(3), 472–486.  
<https://doi.org/10.1007/s10961-012-9284-5>