

# LE NANOTECNOLOGIE E LE NANOSCIENZE IN PIEMONTE: INTRODUZIONE TEORICA E DATI

Nanotechnologies and nanosciences in Piedmont, Italy

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. As far as the research is concerned, it contains a bibliometric analysis of the scientific publications. On the side of technologies, this research report describes and analyses regional nanotechnology patents. A second paper will follow to fully describe the nanoscience research topics undertaken by the researchers of the public research bodies and a sample of firms (mainly micro and SMEs) and their potential of collaboration with research. At the end it will introduce Regional initiatives supporting research, innovation and technology transfer and will resume results and offer 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), 3-15. <http://dx.doi.org/10.23760/2499-6661.2019.001>

- 1 Introduzione
- 2 Inquadramento teorico
  - 2.1 Le NST in generale e nelle scienze sociali
  - 2.2 I sistemi di innovazione regionali: casi internazionali e italiani
  - 2.3 Le NST in Italia e in Piemonte
- 3 La ricerca piemontese: dati bibliometrici
  - 3.1 Metodologia
  - 3.2 Risultati
  - 3.3 Commento conclusivo
- 4 I brevetti nanotech piemontesi
  - 4.1 Introduzione
  - 4.2 Metodologia
  - 4.3 Risultati
  - 4.4 Commenti conclusivi
- 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 altresì 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

Le Nanotecnologie e le Nanoscienze (d'ora in poi abbreviate in NST) sono un settore scientifico – tecnologico emerso con prepotenza negli ultimi decenni del XX secolo. Sono in realtà un settore composito, che deriva la propria natura ed il proprio campo di azione da svariate altre aree tecnico scientifiche già storicamente affermate: la Chimica, la Fisica, la Biologia, l'Ingegneria, le Scienze dei Materiali. Nel caso delle NST esse si differenziano perché, nell'ambito di queste scienze, viene posta particolare attenzione ad una caratteristica specifica dell'oggetto dello studio: quella delle dimensioni. Infatti le NST sfruttano le peculiarità del comportamento che la materia assume quando viene dimensionata a livello di nanometri (un nanometro è pari ad un milionesimo di millimetro). Le nanoscienze di conseguenza studiano oggetti dalle dimensioni comprese approssimativamente tra 1 e 100 nm (nanometri): particelle sferiche o di varia forma, superfici di tale spessore, circuiti elettronici, macromolecole, oggetti di origine biologica... Le nanotecnologie a loro volta studiano l'applicazione tecnologica di questi oggetti derivanti dai risultati delle nanoscienze.

Le NST sono considerate come una tecnologia *disruptive e general purpose* (Finardi, 2012). Questo perché sono di utilizzo in numerosissimi settori industriali e sono estremamente promettenti dal punto di vista della modifica dei paradigmi tecnologici. Sono anche parte delle KETs, le *Key Enabling Technologies* che dovrebbero modificare pesantemente l'industria del prossimo futuro.

Dal punto di vista storico le NST si sono evolute a partire dalle prime scoperte e invenzioni degli anni '70 e '80. È indispensabile citare lo *Scanning tunneling microscope*, il Microscopio a effetto tunnel, l'invenzione che, secondo molti, segna l'effettivo inizio delle NST dal punto di vista pratico-applicativo, inventato nel 1981 dal tedesco Gerd Binnig e dallo svizzero Heinrich Rohrer. La scoperta varrà loro il Premio Nobel per la Fisica nel 1986. Lo stesso Binnig, con Calvin Quate e Christoph Gerber, inventerà l'AFM, il Microscopio a Forza Atomica. Tra le scoperte dei nano-oggetti sono fondamentali i nanotubi (da parte del fisico giapponese Sumio Iijima nel 1991) e i fullereni (nel 1985 da parte di Harold Kroto, James R. Heath, Sean O'Brien, Robert Curl e Richard Smalley; a Kroto, Curl e Smalley venne assegnato, per questa scoperta, il Premio Nobel per la Chimica nel 1996).

Numerosissimi lavori scientifici, altrettanto numerosi brevetti ed un numero crescente di prodotti industriali che le utilizzano testimoniano l'importanza delle nanotecnologie e delle nanoscienze per lo sviluppo e l'innovazione. Proprio il desiderio di valorizzare i risultati scientifici e applicativi delle NST è stato alla base del progetto di ricerca "Le Nanotecnologie in Piemonte: studio per la creazione di un osservatorio operativo regionale" nell'ambito del quale sono state condotte le ricerche che hanno portato alla realizzazione del presente rapporto di ricerca. Nelle pagine successive, dopo un breve inquadramento teorico, verranno descritte le caratteristiche del *cluster* NST Piemontese. In questo studio verrà presentata la prima parte dei risultati di un lavoro di ricerca teorico su pubblicazioni e brevetti. In uno studio successivo verrà delineato il panorama della ricerca pubblica e, in parte, privata e verrà descritto un campione significativo di imprese che utilizzano le NST nel loro processo produttivo, per poter giungere ad alcune considerazioni conclusive.

## 2 INQUADRAMENTO TEORICO

Per introdurre le principali tematiche di ricerca legate al presente rapporto di ricerca viene qui proposta una breve recensione di letteratura relativa a queste tematiche. Una prima sottosezione riguarda gli studi relativi alle NST sotto un punto di vista generale e più nello specifico nell'ambito delle scienze sociali ed economiche. Quindi verrà affrontato un tema importante per la trattazione che seguirà: quello della teoria dei sistemi di innovazione, con particolare atten-

zione al caso italiano. Infine verranno presentati i lavori che discutono l'argomento delle NST per quanto riguarda il contesto regionale piemontese, molti dei quali sono stati realizzati nell'ambito del presente progetto di ricerca.

## 2.1 Le NST in generale e nelle scienze sociali

Le NST, come già sopra descritto, sono un'area scientifica-tecnologica-innovativa interdisciplinare che si è evoluta rapidamente a partire dagli ultimi anni del XX secolo (Roco, 2001). Esse si sono sviluppate a partire da numerosi campi scientifici più tradizionali quali la fisica e la chimica dei materiali, la biologia e la biotecnologia, e l'ingegneria dei materiali (Balzani, 2005). Si sono diffuse a livello mondiale assumendo un ruolo pervasivo in numerose industrie ed aree geografiche (Balzani et al., 2007; Wonglimpiyarat, 2005). Data però la intrinseca natura pervasiva delle NST è molto difficile, se non impossibile, misurare il loro impatto globale in termini di fatturato, numero di imprese, addetti, mentre risulta più facile descrivere casi specifici per mostrarne caratteristiche specifiche.

Ovviamente fin dall'insorgere delle NST le scienze sociali, in particolare quelle economiche, se ne sono occupate, anche a causa dell'importanza che hanno fin da subito avuto. Già al termine degli anni 2000 Shapira et al. (2010) erano in grado di studiare lo sviluppo degli studi sulle NST nell'ambito delle scienze sociali, mostrando come all'inizio gli studi si concentrassero sull'analisi della letteratura scientifica NST. In maniera simile Terekhov (2017) ha studiato il caso russo mostrandone le differenze rispetto ad altre aree geografiche (USA e UE). Altro studio rilevante in questo ambito è quello di Huang et al. (2011) che hanno raccolto oltre 120 studi di scienze sociali sulle NST, principalmente basati sullo studio di pubblicazioni e brevetti. Altri lavori simili sono quelli di Mogoutov & Kahane (2007), Arora et al. (2013), Porter et al. (2008). Più recentemente Stopar et al. (2016) hanno studiato l'interdisciplinarietà delle NST con una complessa analisi basata sulle citazioni, che è stata in grado di identificare quattro gruppi di letteratura: tra questi quello principale, nell'area dei materiali/fisica/chimica è anche quello meno interdisciplinare.

È poi importante ricordare il contributo di Bozeman et al. (2007) che hanno sostenuto il potenziale rivoluzionario delle NST. Miyazaki & Islam (2007) dal canto loro sono stati tra i primi a categorizzare i contributi delle diverse aree geografiche mondiali in termini quantitativi e di specifici argomenti. Un lavoro simile è stato svolto in tempi più recenti da Porter et al. (2018) che attraverso un metodo bibliometrico sono stati in grado di mostrare anche l'emergere di nuovi argomenti NST. Il clustering nelle NST è stato studiato da Robinson et al. (2007) che si sono focalizzati sui casi specifici di Twente e Grenoble. Il Minatec di Grenoble è stato studiato anche da Finardi (2013) e da Scaringella & Chanaron (2016). Infine Islam & Ozcan (2017) mostrano la crescita delle regioni Asiatiche in questo settore.

Passando invece allo studio della brevettazione nelle NST troviamo tra i primi contributi in ordine temporale quelli di Huang et al. (2003) (analisi dei brevetti USPTO tra il 2000 e il 2003, con la maggior parte dei brevetti assegnati a inventori US) e di Marinova & McAleer (2002) (anch'essi su brevetti USPTO dove gli indicatori mostrano una performance avanzata della Francia, seguita da Giappone e Canada). Finardi (2011) ha contribuito al dibattito sui brevetti NST studiando le citazioni dei lavori scientifici sui brevetti stessi. I risultati mostrano che rispetto ad aree scientifiche più tradizionali il numero di citazioni è molto maggiore e la distanza temporale tra articolo citato e brevetto citante è minore. Più recentemente Milanez et al., (2014) mostrano che la brevettazione NST dal 2010 è maggiormente orientata verso la chimica dei materiali e l'elettronica, mentre Zheng et al. (2014) mostrano, partendo dai brevetti USPTO, l'aumento di collaborazioni internazionali nei brevetti NST.

## 2.2 I sistemi di innovazione regionali: casi internazionali e italiani

Il concetto di sistema regionale di innovazione deve molto al lavoro di Cooke et al. (1997), che hanno esplorato per primi il concetto, e di Cooke (2001). Un contributo più recente sull'argomento, e relativo ad un caso di studio, è quello di Tödtling et al. (2012) che investigano gli effetti della distribuzione geografica nelle relazioni conoscenza-innovazione-industria utilizzando un caso di studio e mostrando l'importanza delle fonti di conoscenza regionali assieme a

quelle internazionali, mentre sono meno importanti quelle nazionali. In un altro caso di studio, questa volta basato sul sistema regionale scozzese, Brown (2016) sostiene l'inapplicabilità della "terza missione" delle Università in Scozia. Infine Todt et al. (2007) studiando le biotecnologie nella regione di Valencia mostrano il gap esistente tra le attività di ricerca e quelle applicative, e la presenza di relazioni predominanti al di fuori della Regione.

Venendo al caso italiano, un recente contributo è quello di Addie et al. (2018) che compara le aree di Napoli e quella di Newark (New Jersey, USA) per quanto riguarda lo sviluppo spaziale delle innovazioni di origine universitaria. I punti più rilevanti del caso napoletano sono le collaborazioni internazionali dell'Università Federico II e il ruolo dell'hub universitario San Giovanni. Un lavoro altrettanto recente è quello di Barra & Zotti (2018) che effettuano invece uno studio più generale sull'efficienza dei sistemi regionali di innovazione a livello italiano. I risultati sono a supporto degli investimenti in ricerca e sviluppo a livello tanto pubblico quanto privato.

### 2.3 Le NST in Italia e in Piemonte

I lavori che studiano le NST in Italia sono poco numerosi. Tra questi il meno recente è probabilmente quello di Escoffier (2007) che ha compiuto una rassegna delle attività NST esistenti ai tempi, mostrando tra le altre cose un maggior coinvolgimento degli enti pubblici rispetto a quelli privati, assieme a un numero di pubblicazioni sbilanciato a suo favore, ed una situazione opposta per quanto riguarda i brevetti. Anche Arnaldi (2008) ha studiato le NST assieme alle altre tecnologie NBIC (scienze nano-bio-informatiche e cognitive) mostrando una attitudine positiva da parte della stampa. La stessa attitudine è stata rilevata da Caputo et al. (2009) in un campione di intervistati. Ancora Arnaldi (2014; 2017) si è occupato di NST in tempi più recenti. Nel primo dei due lavori ha riportato le storie di alcuni scienziati, mentre nel secondo ha studiato leggi e regolamenti nazionali sulle NST.

Più in linea con i lavori riportati nella sezione precedente è l'articolo di Baglieri et al. (2012) che studiano i cluster NST, e nello specifico di quello siciliano di Catania e quello francese di Grenoble. Una visione più estesa è quella di Calignano & Quarta (2015) che basandosi sui dati dei Programmi Quadro Europei (FP6 e FP7) mostrano il consolidamento da parte delle NST del triangolo industriale insieme ad altre regioni – Emilia-Romagna, Veneto, Toscana.

Venendo al caso specifico del Piemonte esistono fino ad ora pochi studi in merito. Il primo in ordine temporale è quello di Finardi & Vitali (2009) che hanno descritto il sistema regionale delle ricerche NST assieme alle imprese, mostrando il fatto che il cluster presentava gli elementi tipici dei sistemi di innovazione. Più recentemente Finardi (2018a; 2018b; 2018c; 2019) ha proseguito l'analisi delle NST in ambito regionale, con attenzione rivolta tanto alla ricerca quanto al mondo dell'industria.

## 3 LA RICERCA PIEMONTESE: DATI BIBLIOMETRICI

Questa sezione descrive sinteticamente i risultati di una ricerca effettuata sulle pubblicazioni scientifiche NST prodotte negli enti di ricerca piemontesi. I risultati derivano da quelli, pubblicati per esteso, di Finardi (2018a) e di Finardi (2018c).

### 3.1 Metodologia

Questa sezione vuole descrivere la produzione scientifica NST degli enti di ricerca piemontesi. Si basa su dati ottenuti attraverso il database *online* di pubblicazioni scientifiche Scopus®<sup>1</sup>, un prodotto della casa editrice Elsevier particolarmente adatto a questo scopo. I dati sono ottenuti impostando una serie di *queries* sulla maschera di ricerca "Advanced" del database. A questo scopo si è utilizzata la metodologia proposta da Arora *et al.* (2013) che prevede una serie di *queries* preimpostate su un certo numero di argomenti e di parole chiave relative alle NST. Le ricerche sono state effettuate con una apposita chiave di ricerca su Titolo, parole chiave e *abstract* delle pubblicazioni presenti nel database.

---

<sup>1</sup> <http://www.scopus.com/home.url> (link visitato a luglio 2019).

Una volta ottenuti i risultati si è passato a selezionare l'Italia come Paese di origine delle pubblicazioni e, quindi, le *affiliations* relative agli enti piemontesi o che hanno sedi in Piemonte (quale il CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche). Una volta ottenute le serie di pubblicazioni relative alle diverse *queries* queste sono state unificate, i duplicati sono stati eliminati ed è infine stata effettuato un controllo manuale della lista.

Il risultato è stato un database di 288 prodotti scientifici. È da notare che la metodologia utilizzata è estremamente restrittiva e se, da un lato, ha permesso di ottenere senza alcun dubbi unicamente pubblicazioni scientifiche NST, dall'altro ha probabilmente eliminato un certo numero di pubblicazioni che sarebbero potute rientrare a pieno titolo nel database. Tuttavia in questo caso questo metodo è stato preferito proprio per la sua selettività.

Il database è stato analizzato sotto svariati profili, descritti nella seguente sezione.

### 3.2 Risultati

La prima analisi dei dati effettuata è stata quella relativa alla evoluzione nel tempo della produzione scientifica NST. I dati mostrano un andamento in crescita a partire dal 1996 (primo anno analizzato), con un leggero cambio di pendenza attorno al 2006. Il numero più alto di pubblicazioni (35) è quello relativo all'anno 2015.

I settori di ricerca sono stati analizzati attraverso le *Subject category* di Scopus. Le categorie più rappresentate sono "Materials Science" (109 prodotti scientifici), "Chemistry" (100) e "Physics and astronomy" (85), "Engineering" (67 prodotti scientifici, ovvero poco più della metà della prima). Le attività di ricerca paiono quindi fortemente polarizzate verso i nanomateriali, a scapito di altri settori.

Un ulteriore approfondimento è quello che viene dall'analisi delle parole del titolo e delle *author keywords*. Le *keywords* più rappresentate sono "self-assembly" (18), "Block copolymers" (9), "Carbon nanotubes" (8), "Graphene" (6), "Nanoparticles" (6): tutte queste possono essere messe in relazione con i nanomateriali. Le parole del titolo più rappresentate sono "quantum" (22), "surface" (21), "films" (20), "nanoparticles" (20), "self-assembled" (20), self-assembly (20), "magnetic" (16), "molecular" (16), "synthesis" (15). Anche qui le tematiche di ricerca sono molto vicine a quelle presentate dalle *subject area* e dalle *keywords*.

Infine si è studiata la distribuzione delle pubblicazioni a partire dagli autori. I dipartimenti più attivi sono risultati essere quello di Nanoscienze e materiali dell'INRIM, il DET (Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni) e il DISAT (Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia) del Politecnico di Torino, i Dipartimenti di Biotecnologie Molecolari e Scienze della Salute, di Chimica e di Scienza e Tecnologia del Farmaco dell'Università degli Studi di Torino e il DISIT (Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica) dell'Università del Piemonte Orientale "Amedeo Avogadro".

### 3.3 Commento conclusivo

I risultati sperimentali mostrano una certa proattività nell'ambito delle ricerche piemontesi NST. Le attività di ricerca sono distribuite sull'intero sistema della ricerca regionale, e sono in costante crescita negli ultimi decenni, pur se negli ultimi anni hanno visto una stabilizzazione. Per quanto riguarda le tematiche di ricerca è possibile vedere un certo sbilanciamento verso quelle legate ai nanomateriali. Tuttavia è anche possibile notare una certa varietà di argomenti all'interno di questo macrosettore.

## 4 I BREVETTI NANOTECH PIEMONTESE

Questa sezione descrive sinteticamente i risultati di una ricerca effettuata sui brevetti NST realizzati negli enti di ricerca e nelle imprese piemontesi. I risultati derivano da quelli pubblicati in Finardi (2018b).

#### 4.1 Introduzione

I brevetti per invenzione sono di gran lunga lo strumento più rilevante posto a protezione di una tecnologia o, più in generale, di una conoscenza che sia utilizzabile per scopi pratici. L'analisi brevettuale è considerata da tempo uno degli strumenti più rilevanti per la comprensione della scoperta, pubblicazione, sfruttamento ed utilizzo produttivo delle tecnologie. L'analisi brevettuale può anche far luce su come e quanto le tecnologie si diffondono tra regioni e Paesi (Bacchiocchi & Montobbio, 2009; Breschi & Catalini, 2010; Schmoch, 1993).

Questa ricerca ha lo scopo di approfondire le caratteristiche dei brevetti del *cluster* NST della Regione Piemonte. È importante segnalare che questo argomento, ed in particolare le problematiche relative alla brevettazione in questo contesto regionale, sono state fino ad ora poco o nulla trattate nella ricerca socioeconomica. Data l'importanza del contesto regionale Piemontese in termini di industrializzazione e di sistema della ricerca, il caso sembra essere rilevante, tanto più che l'importanza dei brevetti è sostanziale per poter approfondire a sufficienza il *cluster* NST stesso. Le sezioni successive presentano la metodologia adottata, i risultati e alcune brevi commenti conclusivi.

#### 4.2 Metodologia

I brevetti NST sono stati reperiti sul database pubblico dell'EPO – European Patent Office (Ufficio Brevetti Europeo), Espacenet<sup>2</sup>. I dati sono stati raccolti a giugno 2018. I brevetti tenuti in considerazione sono quelli nella classe brevettuale CPC (Collaborative Patent Classification) B82 (Nanotechnologies). La classificazione brevettuale CPC è entrata in vigore il 1 gennaio 2013, ed è stata sviluppata congiuntamente dall'EPO e dall'USPTO – United States Patent and Trademark Office (l'Ufficio brevetti statunitense). È stata progettata per consentire una ricerca efficiente, ed è sottoposta a revisione da entrambi gli uffici: a causa di questo i brevetti possono venir riclassificati. La classificazione CPC è il principale sistema di classificazione dell'EPO.

I brevetti presi in esame sono quelli registrati in Italia: si tratta quindi o di brevetti italiani o di estensioni italiane di brevetti stranieri. La *query* di selezione dei brevetti B82 infatti è stata effettuata su Espacenet selezionando il solo database Italiano.

La *query* ha reso come risultato un totale di 368 brevetti B82 Italiani. Di conseguenza è stata effettuata una ulteriore selezione sulla lista allo scopo di identificare i brevetti relativi ad *applicant* Piemontesi. Sono quindi stati adottati i seguenti criteri: gli *applicant* dei brevetti scelti erano o imprese o altri tipi di enti situati in Piemonte, o la sede locale di un ente o impresa diffusa a livello nazionale. A questo scopo è stata effettuata una ricerca analitica approfondita utilizzando anche i nomi degli inventori (selezionando i brevetti relativi a quelli residenti in Piemonte) per controllare se il brevetto era stato registrato da una sede piemontese di un grande gruppo industriale o ente. Al termine del processo è stata ottenuta una lista di 43 brevetti NST relativi al Piemonte.

Su questa lista sono state condotte le analisi delle varie caratteristiche. La prima è stata ovviamente quella relativa all'anno di brevettazione. Quindi si sono contati i brevetti secondo le varie tipologie di *applicant* (imprese o enti pubblici) e le loro dimensioni (piccole, medie e grandi imprese).

Una ulteriore analisi è stata quella relativa alle classi brevettuali accessorie dei brevetti. È noto infatti come un brevetto possa essere classificato sotto più di una classe brevettuale a seconda del suo contenuto tecnologico. Ciascun brevetto quindi porta con sé, al di là della classe brevettuale che viene cercata (B82 nel nostro caso) anche una (o più) ulteriore classe brevettuale. Questa metodologia viene utilizzata dagli Uffici brevetti allo scopo di meglio specificare il contenuto tecnologico dei brevetti stessi. Inoltre i brevetti possono venir riclassificati dopo la loro pubblicazioni, aggiungendo nuove classi a quelle assegnate in precedenza. Questo è accaduto senza ombra di dubbio per la maggior parte dei brevetti qui analizzati, che sono stati pubblicati prima dell'introduzione della classe B82. La metodologia dello studio delle classi brevettuali accessorie è stata utilizzata anche a causa delle specifiche caratteristiche di interdisciplinarietà delle NST. L'analisi delle classi brevettuali secondarie, infatti, permette di meglio com-

---

<sup>2</sup> <https://it.espacenet.com/> (link visitato a luglio 2019).

prendere le specifiche sottoaree dei brevetti. Questa analisi è stata condotta più nello specifico anche per i tre *assignees* più rilevanti della lista.

Infinte è stato realizzato uno studio sulle parole presenti nei titoli dei brevetti. Dai titoli infatti è stata creata una lista di parole significative e descrittive. Questa analisi tuttavia è solo stata abbozzata a causa del numero relativamente basso di brevetti.

#### 4.3 Risultati

L'evoluzione temporale dei brevetti è descritta nella tabella 1. Dato il numero relativamente basso di brevetti questi sono stati raggruppati per decenni. Il brevetto più vecchio risale al 1976. I risultati mostrano una lieve crescita col tempo dell'attività brevettuale NST. La decade più popolata è quella dal 2001 al 2010. Più in particolare la maggiore attività si è avuta nel lustro 2001-2005, con una media di 2.2 brevetti anno. Come è facile pensare la maggior parte dei brevetti presenti nel database sono stati riclassificati come B82 dopo l'introduzione della classe CPC.

**Tabella 1** – Evoluzione nel tempo del numero di brevetti

ANNO	BREVETTI	BREVETTI/ANNO
Fino al 1980	4	
1981-1990	7	0.7
1991-2000	9	0.9
2001-2010	16	1.6
2011-2018	7	0.9
<b>TOTALE</b>	<b>43</b>	

Fonte: elaborazione su dati Espacenet.

Una seconda analisi è stata effettuata sugli *applicants* dei brevetti allo scopo di delineare le loro caratteristiche. Il risultato di questa analisi è stato di 38 brevetti assegnati a imprese o laboratori di ricerca privati, e 5 ad attori pubblici. La tabella 2 presenta la lista dei più importanti *assignees*, mentre la tabella 3 mostra l'evoluzione temporale dei loro brevetti.

L'*assignee* più attivo risulta essere Montedison SpA. Montedison è stato uno dei più grandi gruppi industriali italiani nell'ambito della chimica, e ha cessato le proprie attività come tale nel primo decennio del XXI secolo. Tutti i brevetti Montedison risalgono agli anni precedenti al 1990, e sono ovviamente stati riclassificati come B82 in seguito.

Il secondo *assignee* in termini numeri è FIAT. Uno di questi brevetti è assegnato a FIAT Auto, mentre gli altri sei al Centro ricerche FIAT.

Il terzo *assignee* della lista, CSELT, è un ulteriore centro di ricerca privato. CSELT non esiste più come tale. Venne fondato nel 1961 dalle compagnie telefoniche STIPEL e STET come centro di ricerche sulle telecomunicazioni. Secondo Bonaccorsi (2000) lo CSELT era ai tempi uno dei più rilevanti *assignees* di brevetti italiani: nonostante i brevetti fossero meno numerosi di quelli di altre imprese italiane, la qualità brevettuale, sempre secondo Bonaccorsi (2000) era decisamente alta, con un elevato numero di citazioni e un ciclo tecnologico molto rapido. CSELT ha infatti sempre avuto un portfolio brevettuale importante. I brevetti del database risalgono agli anni 1990. CSELT è in gran parte confluito nel 2001 nel nuovo centro ricerche TIIlab di Telecom Italia.

L'unico ente pubblico della lista è il Politecnico di Torino. I suoi tre brevetti sono relativamente recenti: datano infatti a dopo il 2006, probabilmente grazie alle politiche di incentivo alla brevettazione e al trasferimento tecnologico.

Bracco SpA, presente con tre brevetti pubblicati tra il 1991 e il 2005, è un gruppo industriale farmaceutico, mentre l'Istituto Donegani (due brevetti prima del 2000) è un importante centro di ricerche chimiche appartenente al gruppo ENI (Ente Nazionale Idrocarburi). I rimanenti 12 bre-

vetti sono assegnati a 9 imprese, 2 enti di ricerca pubblici e una fondazione negli anni che vanno dal 1991 al 2010.

**Tabella 2** – Lista dei più importanti *assignees*

ASSIGNEE	TIPO	NOTE
Montedison SpA	Gruppo industriale	Montedison non esiste più come tale dall'inizio degli anni 2010.
FIAT	Gruppo industriale	FIAT è oggi parte di FCA – Fiat Chrysler Automobiles
CSELT	Centro di ricerca privato	CSELT è stato ridotto in dimensioni all'inizio degli anni 2000 ed è poi confluito nel TILab di Telecom Italia
Politecnico di Torino	Università	
Bracco SpA	Grande impresa	
Istituto Donegani	Centro di ricerca privato	L'Istituto Donegani fa parte di ENI – Ente Nazionale Idrocarburi
Tecnocarbon ANT Srl	Media impresa	

Fonte: elaborazione su dati Espacenet.

**Tabella 3** – Evoluzione temporale dei brevetti dei più importanti *assignees*

ASSIGNEE	BREVETTI	NOTE	Fino 1990	1991-2000	2001-2005	2006-2010	Dal 2011
Montedison SpA	10		10				
FIAT	7	1 come FIAT Auto, 6 come FIAT Ricerche		1	5		1
CSELT	4			4			
Politecnico di Torino	3	1 con l'Università di Torino				2	1
Bracco SpA	3			2	1		
Istituto Donegani	2		1	1			
Tecnocarbon ANT Srl	2						2
Altri	12	9 imprese, 2 enti di ricerca pubblici, 1 fondazione		1	5	3	3
<b>TOTALE</b>	<b>43</b>		<b>11</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

Fonte: elaborazione su dati Espacenet.

Un ulteriore punto analizzato è quello relativo alle classi brevettuali accessorie. Come sopra citato un brevetto può essere classificato sotto diverse classi brevettuali in modo da meglio specificare il suo contenuto, facilitarne il ritrovamento e proteggere l'invenzione. Di conseguenza l'analisi delle classi brevettuali oltre rispetto alla B2 è in grado di fornire ulteriori informazioni sulla natura delle invenzioni protette. Questa analisi è stata effettuata sia a livello generale che per i tre *assignees* principali, considerando classi brevettuali con più di 10 presenze nel database. L'analisi è stata effettuata al secondo livello (classi a 4 cifre) omettendo le sottoclassi. I risultati sono presentati in tabella 4 (classi più popolate) e tabella 5 (dettaglio dei tre *assignees* principali).



**Tabella 4** – Descrizione delle più rilevanti classi brevettuali accessorie presenti nel database.

CLASSE CPC	BREVETTI	DESCRIZIONE DAL CPC
C01P	81	INDEXING SCHEME RELATING TO STRUCTURAL AND PHYSICAL ASPECTS OF SOLID INORGANIC COMPOUNDS
<b>B82Y</b>	<b>46</b>	<b>SPECIFIC USES OR APPLICATIONS OF NANOSTRUCTURES; MEASUREMENT OR ANALYSIS OF NANOSTRUCTURES; MANUFACTURE OR TREATMENT OF NANOSTRUCTURES</b>
A61K	42	PREPARATIONS FOR MEDICAL, DENTAL, OR TOILET PURPOSES
G02F	19	DEVICES OR ARRANGEMENTS, THE OPTICAL OPERATION OF WHICH IS MODIFIED BY CHANGING THE OPTICAL PROPERTIES OF THE MEDIUM OF THE DEVICES OR ARRANGEMENTS FOR THE CONTROL OF THE INTENSITY, COLOUR, PHASE, POLARISATION OR DIRECTION OF LIGHT, e.g. SWITCHING, GATING, MODULATING OR DEMODULATING; TECHNIQUES OR PROCEDURES FOR THE OPERATION THEREOF; FREQUENCY-CHANGING; NON-LINEAR OPTICS; OPTICAL LOGIC ELEMENTS; OPTICAL ANALOGUE/DIGITAL CONVERTERS
C04B	14	LIME, MAGNESIA; SLAG; CEMENTS; COMPOSITIONS THEREOF, e.g. MORTARS, CONCRETE OR LIKE BUILDING MATERIALS; ARTIFICIAL STONE {(roofing granules E04D 7/005)}; CERAMICS (devitrified glass-ceramics C03C 10/00); REFRACTORIES; TREATMENT OF NATURAL STONE
C08J	13	WORKING-UP; GENERAL PROCESSES OF COMPOUNDING; AFTER-TREATMENT NOT COVERED BY SUBCLASSES

Fonte: elaborazione su dati Espacenet.

**Tabella 5** – Classi brevettuali accessorie dei tre più importanti *assignee*

Classe CPC	BREVETTI	Montedison	FIAT	CSELT
<i>C01P</i>	<i>81</i>	<i>64</i>		
<b>B82Y</b>	<b>46</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	
A61K	42			
G02F	19		11	8
C04B	14			
C08J	13		3	

Fonte: elaborazione su dati Espacenet.

È importante notare innanzitutto come tutti i brevetti B82 siano B82Y (“SPECIFIC USES OR APPLICATIONS OF NANOSTRUCTURES; MEASUREMENT OR ANALYSIS OF NANOSTRUCTURES; MANUFACTURE OR TREATMENT OF NANOSTRUCTURES”) e non vi siano invece brevetti B82B (“NANOSTRUCTURES FORMED BY MANIPULATION OF INDIVIDUAL ATOMS, MOLECULES, OR LIMITED COLLECTIONS OF ATOMS OR MOLECULES AS DISCRETE UNITS; MANUFACTURE OR TREATMENT THEREOF”). Nessun brevetto di conseguenza comporta la “manipulation of individual atoms or molecules”. Le 46 presente nella lista significano ovviamente che in tre casi erano presenti due sottoclassi della B82Y.

Nondimeno la classe brevettuale più popolata è la C01P, con 81 presenze. Di queste 64 sono relative ai 10 brevetti Montedison. Questo fatto è spiegabile facilmente con il fatto che Montedison era una multinazionale della chimica. Gli altri casi, distribuiti tra gli altri brevetti, mostrano comunque un certo interesse verso la chimica nanotech.

La terza classe brevettuale accessoria della lista, A61K, non è presente nella lista dei tre principali *assignees*: dei 7 brevetti in cui è presente 6 sono assegnati a imprese biomedicali ed uno al Politecnico of Torino. Esiste quindi un interesse diffuso verso le applicazioni biomedicali delle NST.

La quarta classe, la G02F, è presente in meno della metà dei casi della precedente, tutti relativi a brevetti di FIAT Ricerche e CSELT: a questi due enti di conseguenza va imputato l'interesse verso le applicazioni ottiche ed optoelettroniche delle NST.

La quinta classe brevettuale, C04B, è relativa a materiali inorganici sfruttati principalmente nell'industria delle costruzioni (quali cemento, pietre artificiali, ceramiche, materiali refrattari, trattamenti della pietra naturale...): questo fatto potrebbe lasciar pensare ad un interesse nei confronti di queste applicazioni NST. Uno sguardo più ravvicinato ai dati, tuttavia, mostra che i 14 casi in cui la classe è presente sono tutti relativi a numerose sottoclassi di un singolo brevetto, relativo ad un metodo per la preparazione di materiali ceramici nanostrutturati, assegnato all'INSTM – Consorzio Interuniversitario per la Scienza e la Tecnologia dei Materiali, i cui inventori sono un gruppo di ricercatori torinesi appartenenti allo stesso consorzio.

La sesta ed ultima classe della lista, C08J, è presente tre volte in un brevetto FIAT, ed in altri quattro brevetti del database.

L'ultima analisi effettuata, quella relativa alle parole del titolo dei brevetti, è stata solo abbozzata a causa del numero relativamente basso di dati, che non ha permesso raggruppamenti di parole sufficientemente significativi. La parola più presente nei titoli è "MATERIALI" presente 7 volte. Al secondo posto si trovano "PARTICELLE" e "SFERICHE" con 5 presenze ciascuna, e quattro parole presenti tre volte ciascuna nei titoli dei brevetti: "ALLUMINA", "CARBONIO", "LASER", "MAGNETITE". Questa lista di parole lascia pensare che i materiali nanostrutturati siano probabilmente l'argomento più presente in questo gruppo di brevetti.

#### 4.4 Commenti conclusivi

L'analisi dei brevetti nanotech piemontesi mostra innanzi tutto una scansione temporale che parte da prima degli anni '90 del XX secolo. Questo comporta che gran parte dei brevetti B82 sono stati riclassificati come tali in seguito. Tuttavia le attività brevettuali sono continuate in maniera abbastanza stabile fino agli anni 2010, con un picco di produttività negli anni 2001-2005. Tuttavia la diminuzione in anni più recenti potrebbe avere come concausa i tempi tecnici necessari per ottenere un brevetto per invenzione.

La maggior parte dei brevetti sono assegnati a grandi gruppi industriali o ai loro centri di ricerca, mentre i brevetti assegnati a enti pubblici o fondazioni è di poco sotto il 15 per cento. Come è ovvio esiste un interesse maggiore verso la brevettazione nanotech da parte del privato; è inoltre importante notare che molti brevetti (in particolare quelli più datati) sono assegnati ad imprese oggi non più esistenti, mostrando un certo declino della ricerca privata a livello regionale. I brevetti più recenti sono invece relativi anche ad enti pubblici e a piccole imprese.

L'interdisciplinarietà delle NST, e delle loro applicazioni nel contesto regionale, è ben evidenziata dallo studio delle categorie brevettuali accessorie dei brevetti presenti nel database. I risultati infatti mostrano la presenza di un insieme estremamente differenziato di classi accessorie assieme alla classe B82. Se si considera questo fatto insieme alla evoluzione temporale delle classi brevettuali accessorie (mostrato in tabella 6) si ha una migliore visione di questi fatti. La stragrande maggioranza delle presenze della classe C01P si verifica negli anni precedenti al 1990, ovverosia al culmine delle attività brevettuali di Montedison. In anni più recenti si ha una evoluzione delle altre classi brevettuali. In particolare le classi C04B e C08J sono presenti solo dopo il 2001, mentre (come sopra riportato) le C04B appartengono ad un unico brevetto accademico. Da questo punto di vista è necessario notare quanto viene riportato da Finardi (2018c) e Finardi (2018a): le più importanti aree di ricerca NST in Piemonte sono quelle legate alle scienze dei materiali nanostrutturati. Questa ipotesi è sostenuta anche dalla analisi delle parole dei titoli sopra riportata.

**Tabella 6** – Evoluzione temporale delle classi brevettuali accessorie

	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2018	TOTAL
<b>C01P</b>	71	5		5	<b>81</b>
<b>B82Y</b>	7	9	19	7	<b>42</b>
<b>A61K</b>		11	11	21	<b>43</b>
<b>G02F</b>		8		11	<b>19</b>
<b>C04B</b>			14		<b>14</b>
<b>C08J</b>			8	5	<b>13</b>
<b>TOTAL</b>	<b>78</b>	<b>33</b>	<b>52</b>	<b>49</b>	

Fonte: elaborazione su dati Espacenet.

Un altro punto rilevante è quello relativo alle classi A61K e G02F. La prima delle due è presente nel database in tre decenni, mostrando un certo interesse dell'industria biofarmaceutica nei confronti delle NST. La seconda è anch'essa presente in un ampio raggio di tempo; in questo caso gli *assignees* sono lo CSELT e il Centro Ricerche Fiat che, come sopra segnalato, sono evidentemente stati attivi nelle applicazioni ottiche ed optoelettroniche delle NST.

Come è evidente questa analisi soffre di qualche limitazione, a partire dal fatto che non sono state considerate le estensioni internazionali dei brevetti, e nemmeno eventuali brevetti internazionali di *assignees* piemontesi. Purtroppo il fatto che tutti gli *assignees* della lista siano piemontesi lascia pensare che questo non sia un limite rilevante.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- Addie, J.-P. D., Angrisani, M., & De Falco, S. (2018). University-led innovation in and for peripheral urban areas: new approaches in Naples, Italy and Newark, NJ, US. *European Planning Studies*, 26(6), 1181–1201. <https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1459505>
- Arnaldi, S. (2008). Converging technologies in the Italian daily press 2002–2006: preliminary results of an ongoing research project. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 21(1), 87–94. <https://doi.org/10.1080/13511610802002304>
- Arnaldi, S. (2014). Exploring imaginative geographies of nanotechnologies in news media images of Italian nanoscientists. *Technology in Society*, 37, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2013.10.005>
- Arnaldi, S. (2017). Changing Me Softly: Making Sense of Soft Regulation and Compliance in the Italian Nanotechnology Sector. *NanoEthics*, 11(1), 3–16. <https://doi.org/10.1007/s11569-017-0286-5>
- Arora, S. K., Porter, A. L., Youtie, J., & Shapira, P. (2013). Capturing new developments in an emerging technology: an updated search strategy for identifying nanotechnology research outputs. *Scientometrics*, 95(1), 351–370. <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0903-6>
- Bacchiocchi, E., & Montobbio, F. (2009). Knowledge diffusion from university and public research. A comparison between US, Japan and Europe using patent citations. *The Journal of Technology Transfer*, 34(2), 169–181. <https://doi.org/10.1007/s10961-007-9070-y>
- Baglieri, D., Cinici, M. C., & Mangematin, V. (2012). Rejuvenating clusters with 'sleeping anchors': The case of nanoclusters. *Technovation*, 32(3), 245–256. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.09.003>
- Balzani, V. (2005). Nanoscience and Nanotechnology: A Personal View of a Chemist. *Small*, 1(3), 278–283. <https://doi.org/10.1002/sml.200400010>
- Balzani, V., Credi, A., & Venturi, M. (2007). Molecular devices and machines. *Nano Today*, 2(2), 18–25. [https://doi.org/10.1016/S1748-0132\(07\)70055-5](https://doi.org/10.1016/S1748-0132(07)70055-5)
- Barra, C., & Zotti, R. (2018). The contribution of university, private and public sector resources to Italian regional innovation system (in)efficiency. *The Journal of Technology Transfer*, 43(2), 432–457. <https://doi.org/10.1007/s10961-016-9539-7>
- Bonaccorsi, A. (2000). *La scienza come impresa. Contributi all'analisi economica della scienza e dei sistemi nazionali di ricerca*. Franco Angeli.

- Bozeman, B., Laredo, P., & Mangematin, V. (2007). Understanding the emergence and deployment of “nano” S&T. *Research Policy*, 36(6), 807–812. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.02.010>
- Breschi, S., & Catalini, C. (2010). Tracing the links between science and technology: An exploratory analysis of scientists’ and inventors’ networks. *Research Policy*, 39(1), 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.11.004>
- Brown, R. (2016). Mission impossible? Entrepreneurial universities and peripheral regional innovation systems. *Industry and Innovation*, 23(2), 189–205. <https://doi.org/10.1080/13662716.2016.1145575>
- Calignano, G., & Quarta, C. A. (2015). The persistence of regional disparities in Italy through the lens of the European Union nanotechnology network. *Regional Studies, Regional Science*, 2(1), 470–479. <https://doi.org/10.1080/21681376.2015.1075898>
- Caputo, G., Cortese, G. C., Emanuel, F., Finardi, U., Ghislieri, C., & Coluccia, S. (2009). *Nanotecnologie: cosa sono e come ce le immaginiamo - Nanotechnologies: what they are and how we do imagine them*. Araba Fenice.
- Cooke, P. (2001). Regional Innovation Systems, Clusters, and the Knowledge Economy. *Industrial and Corporate Change*, 10(4), 945–974. <https://doi.org/10.1093/icc/10.4.945>
- Cooke, Philip, Gomez Uranga, M., & Etxebarria, G. (1997). Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research Policy*, 26(4–5), 475–491. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(97\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(97)00025-5)
- Escoffier, L. (2007). A Brief Review of Nanotechnology Related Activities in Italy. *Nanotechnology Law & Business*, 4, 385.
- Finardi, U. (2019). Research topics in Nanotechnologies and Nanosciences: an analysis of Piedmont research system. *Working Paper IRCrES*, 2019(5), 1–36.
- Finardi, U., & Vitali, G. (2009). Il cluster delle nanotecnologie in Piemonte [Nanotech cluster in Piedmont]. *Working Paper CERIS*, 2009(10), 1–28.
- Finardi, Ugo. (2011). Time relations between scientific production and patenting of knowledge: the case of nanotechnologies. *Scientometrics*, 89(1), 37. <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0443-5>
- Finardi, Ugo. (2012). Nanosciences and Nanotechnologies: Evolution Trajectories and Disruptive Features [Chapter]. Recuperato 4 dicembre 2018, da <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-4666-0134-5.ch007> website: <https://www.igi-global.com/gateway/chapter/63827>
- 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. (2018a). La ricerca nelle nanotecnologie in Piemonte: casi di enti pubblici e privati. *Quaderni IRCRES*, 3(5), 3–12. <https://doi.org/10.23760/2499-6661.2018.018>
- 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. (2018c). Public research in Nanotechnology in Piedmont (Italy). *Working Paper IRCrES*, 4(5/2018), 1–14. <https://doi.org/10.23760/2421-7158.2018.005>
- Huang, C., Notten, A., & Rasters, N. (2011). Nanoscience and technology publications and patents: a review of social science studies and search strategies. *The Journal of Technology Transfer*, 36(2), 145–172. <https://doi.org/10.1007/s10961-009-9149-8>
- Huang, Z., Chen, H., Yip, A., Ng, G., Guo, F., Chen, Z.-K., & Roco, M. C. (2003). Longitudinal Patent Analysis for Nanoscale Science and Engineering: Country, Institution and Technology Field. *Journal of Nanoparticle Research*, 5(3), 333–363. <https://doi.org/10.1023/A:1025556800994>
- Islam, N., & Ozcan, S. (2017). The management of nanotechnology: analysis of technology linkages and the regional nanotechnology competencies: Management of nanotechnology. *R&D Management*, 47(1), 111–126. <https://doi.org/10.1111/radm.12161>
- Marinova, D., & McAleer, M. (2002). Nanotechnology strength indicators: international rankings based on US patents. *Nanotechnology*, 14(1), R1–R7. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/14/1/201>
- Milanez, D. H., de Faria, L. I. L., do Amaral, R. M., Leiva, D. R., & Gregolin, J. A. R. (2014). Patents in nanotechnology: an analysis using macro-indicators and forecasting curves. *Scientometrics*, 101(2), 1097–1112. <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1244-4>

- Miyazaki, K., & Islam, N. (2007). Nanotechnology systems of innovation—An analysis of industry and academia research activities. *Technovation*, 27(11), 661–675. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2007.05.009>
- Mogoutov, A., & Kahane, B. (2007). Data search strategy for science and technology emergence: A scalable and evolutionary query for nanotechnology tracking. *Research Policy*, 36(6), 893–903. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.02.005>
- Porter, A. L., Garner, J., Newman, N. C., Carley, S. F., Youtie, J., Kwon, S., & Li, Y. (2018). National nanotechnology research prominence. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/09537325.2018.1480013>
- Porter, A. L., Youtie, J., Shapira, P., & Schoeneck, D. J. (2008). Refining search terms for nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 10(5), 715–728. <https://doi.org/10.1007/s11051-007-9266-y>
- Robinson, D. K. R., Rip, A., & Mangematin, V. (2007). Technological agglomeration and the emergence of clusters and networks in nanotechnology. *Research Policy*, 36(6), 871–879. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.02.003>
- Roco, M. C. (2001). From Vision to the Implementation of the U.S. National Nanotechnology Initiative. *Journal of Nanoparticle Research*, 3(1), 5–11. <https://doi.org/10.1023/A:1011429917892>
- Scaringella, L., & Chanaron, J.-J. (2016). Grenoble–GIANT Territorial Innovation Models: Are investments in research infrastructures worthwhile? *Technological Forecasting and Social Change*, 112, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.05.026>
- Schmoch, U. (1993). Tracing the knowledge transfer from science to technology as reflected in patent indicators. *Scientometrics*, 26(1), 193–211. <https://doi.org/10.1007/BF02016800>
- Shapira, P., Youtie, J., & Porter, A. L. (2010). The emergence of social science research on nanotechnology. *Scientometrics*, 85(2), 595–611. <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0204-x>
- Stopar, K., Drobne, D., Eler, K., & Bartol, T. (2016). Citation analysis and mapping of nanoscience and nanotechnology: identifying the scope and interdisciplinarity of research. *Scientometrics*, 106(2), 563–581. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1797-x>
- Terekhov, A. I. (2017). Bibliometric spectroscopy of Russia's nanotechnology: 2000–2014. *Scientometrics*, 110(3), 1217–1242. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2234-5>
- Todt, O., Gutiérrez-Gracia, A., Lucio, I. F. de, & Castro-Martínez, E. (2007). The regional dimension of innovation and the globalization of science: the case of biotechnology in a peripheral region of the European Union. *R&D Management*, 37(1), 65–74. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2007.00452.x>
- Tödtling, F., Grillitsch, M., & Höglinger, C. (2012). Knowledge Sourcing and Innovation in Austrian ICT Companies—How Does Geography Matter? *Industry and Innovation*, 19(4), 327–348. <https://doi.org/10.1080/13662716.2012.694678>
- Wonglimpiyarat, J. (2005). The nano-revolution of Schumpeter's Kondratieff cycle. *Technovation*, 25(11), 1349–1354. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.07.002>
- Zheng, J., Zhao, Z., Zhang, X., Chen, D., & Huang, M. (2014). International collaboration development in nanotechnology: a perspective of patent network analysis. *Scientometrics*, 98(1), 683–702. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1081-x>