

2

I SETTORI SCIENTIFICI DI FORZA E DI DEBOLEZZA DELLA RICERCA ACCADEMICA ITALIANA

Giovanni Abramo e Ciriaco Andrea D'Angelo



SOMMARIO

La formulazione dei programmi nazionali della ricerca trarrebbe grande beneficio da un'analisi strategica affidabile, in grado di identificare i settori scientifici di forza e di debolezza del sistema ricerca paese. Gli approcci e gli indicatori finora proposti in letteratura non sono del tutto soddisfacenti, poiché non permettono di distinguere l'effetto della dimensione dei fattori produttivi da quello della loro qualità, in particolare quella inerente al lavoro. Per individuare i settori di forza e debolezza della ricerca universitaria italiana abbiamo concepito un nuovo approccio di tipo output su input. In ciascuno dei 218 settori scientifico disciplinari in cui la bibliometria può essere applicata, abbiamo identificato gli *highly cited article* 2012-2016 e i *top scientist* accademici italiani che li hanno realizzati, e li abbiamo rapportati alle spese in ricerca nei settori stessi. Abbiamo potuto quindi stilare diverse classifiche di performance a livello di area e settore disciplinare, in funzione di questi indicatori. I risultati possono essere utili per le decisioni di politica della scienza prese sia dal governo centrale che dalle singole università.

2.1 - Introduzione

Il rafforzamento dell'infrastruttura scientifica nazionale atta a sostenere la competitività e lo sviluppo sociale è divenuta una priorità in un numero crescente di paesi. I decisori politici perseguono l'obiettivo dell'efficacia del sistema ricerca attraverso l'identificazione e il sostegno dei settori scientifici a più elevato potenziale di ritorni socio-economici. L'efficienza viene perseguita attraverso l'assegnazione delle risorse ai migliori progetti o ricercatori in ciascun settore strategico.

Prima della formulazione di qualsiasi politica tesa a migliorare l'efficacia di un sistema ricerca nazionale, è raccomandabile condurre un'analisi strategica interna per identificare i settori scientifici forti e quelli deboli, e quindi formulare interventi appropriati sulla base del fatto che tali settori risultino più o meno strategici.

Le metodologie di analisi e gli indicatori proposti in letteratura per questo compito risultano insoddisfacenti. Per il caso italiano abbiamo quindi sviluppato un nuovo approccio, che si fonda sull'assioma che i settori scientifici più forti siano quelli che, a parità di risorse impiegate per la ricerca, mostrano un numero maggiore di risultati eccellenti a livello internazionale, che qui misuriamo sulla base delle citazioni ricevute dalla letteratura scientifica successiva (*highly cited article*, HCA), e di ricercatori in grado di produrli (*top scientist*, TS). Identificata la produzione scientifica 2012-2016 del sistema accademico italiano, nei 218 settori scientifici in cui l'analisi bibliometrica è rappresentativa e affidabile, la confronteremo con quella mondiale per individuare gli articoli più citati e i loro autori accademici italiani. Rapporteremo poi HCA e TS in ciascun settore per le spese in ricerca nel settore stesso. Il risultato rivelerà quali sono i settori scientifici di punta della ricerca accademica italiana e quelli in cui siamo dei *follower*.

Purtroppo non possiamo osservare l'intero sistema ricerca italiano, includendo nell'analisi i ricercatori degli enti pubblici di ricerca e quelli delle imprese, in quanto questi sono privi in genere di classificazione per settore scientifico disciplinare, oppure i dati bibliografici non risultano direttamente accessibili.

Il capitolo si articola come segue. Nel prossimo paragrafo passeremo in rassegna la letteratura sul tema della misurazione del rilievo scientifico delle nazioni per disciplina. Nel paragrafo 2.3 illustriamo la ratio e le caratteristiche principali della metodologia proposta. Nei paragrafi 2.4 e 2.5 presentiamo i risultati delle analisi condotte, rispettivamente a livello aggregato di area disciplinare e di settore scientifico. Il paragrafo conclusivo riassume i risultati del lavoro e indica le potenziali applicazioni del metodo proposto.

2.2 - Misurazione del posizionamento scientifico a livello di settore disciplinare: analisi della letteratura

Definire, misurare e confrontare il “rilievo scientifico” di istituzioni o nazioni nei diversi settori scientifici è al tempo stesso difficile e stimolante per gli studiosi del settore, dato il carattere multidimensionale e altamente complesso del compito (Hauser e Zettelmeyer, 1997; Werner e Souder, 1997). Il “rilievo scientifico” ha un carattere comparativo, stando ad indicare “essere superiore a qualcosa o a qualcuno in qualità”, e gli elementi più importanti che lo sottendono sono la capacità di: i) produrre nuove conoscenze scientifiche e tecniche; ii) comunicarle alla comunità scientifica; iii) trasferirle agli utilizzatori (Tijssen, 2003).

In realtà, non esiste convergenza di opinioni sul significato di “rilievo scientifico”, tanto meno sugli indicatori atti alla sua misurazione. Tuttavia, c’è un generale consenso sul fatto che il rilievo scientifico ha un forte legame con la “qualità della ricerca” e con il suo “impatto”, anche se alcuni studiosi ritengono che l’impatto sia solo una delle dimensioni della qualità della ricerca (Boaz e Ashby, 2003; OECD, 1997), oltre all’importanza e il rigore della ricerca (Martin e Irvine, 1983). Altri studiosi ritengono che la qualità e l’impatto siano due diversi elementi del rilievo della ricerca (Grant, Brutscher, Kirk, Butler e Wooding, 2010), mentre altri ancora sostengono che la qualità e l’impatto siano, da un punto di vista tecnico, sinonimi (Abramo, 2018).

I rapidi progressi compiuti nell’ambito delle tecniche bibliometriche hanno sicuramente fornito una spinta significativa agli studi sulla misurazione del rilievo scientifico, condotta sia a livello di istituzioni che di sistemi nazio-

nali di ricerca. Una pietra miliare è senz'altro il lavoro di May (1997), che per primo ha misurato il posizionamento internazionale e il vantaggio comparato di 15 paesi in 20 discipline delle scienze, medicina e ingegneria.

Un anno dopo Adams (1998) ha pubblicato uno studio finalizzato a identificare i settori disciplinari di forza e di debolezza dell'Inghilterra. Le misure d'impatto della ricerca inglese in 47 discipline, in un periodo di 9 anni, sono state confrontate con quelle di altre sei nazioni.

King (2004) ha aggiornato al 2002 il lavoro originale di May (1997), estendendo il campo di osservazione a 31 paesi, eseguendo un'analisi longitudinale su due periodi di cinque anni, e introducendo ulteriori indicatori di misura del rilievo scientifico.

Più recentemente gli studi sul posizionamento delle nazioni hanno mostrato una tendenza a focalizzarsi sui risultati di ricerca eccellenti, ossia quella componente della letteratura scientifica che è più frequentemente citata in lavori successivi, gli HCA (Tijssen, Visser, e Van Leeuwen, 2002; Pislyakov e Shukshina, 2012). Questa scelta si basa su alcuni assiomi, che risultano ampiamente condivisi in letteratura:

- i. nelle scienze, la forma prevalente di codificazione dei risultati di ricerca è la pubblicazione in riviste *peer reviewed*, per cui risultati eccellenti sono veicolati da pubblicazioni eccellenti;
- ii. l'eccellenza di una pubblicazione è dimostrata dalla sua collocazione nelle posizioni più elevate della scala di valori condivisa dalla comunità scientifica internazionale di riferimento della specifica disciplina;
- iii. il valore di una pubblicazione è inteso come il suo impatto sul progresso scientifico e la quantificazione di questo impatto si può realizzare grazie a indicatori basati sulle citazioni.¹

Strumenti di visualizzazione spaziale (quali *Google Map*) sono stati adottati da Bornmann, et al. (2011) per mappare le città in cui si concentrano gli

¹ Abramo et al. (2019) hanno recentemente dimostrato che gli indicatori bibliometrici riescono a predire l'impatto di lungo termine delle pubblicazioni meglio della *peer-review*, già a partire da finestre citazionali di un anno.

HCA o, per ogni città, la differenza tra HCA prodotti e attesi (Bornmann e Leydesdorff, 2011).

Infine, da alcuni anni, gruppi di ricerca come il CWTS dell'Università di Leiden,² il gruppo SCImago³ e altri pubblicano online classifiche della performance di ricerca dei paesi, utilizzando solo indicatori di output quali il numero totale di pubblicazioni, le citazioni medie normalizzate per articolo e gli HCA.

Le maggiori riserve sugli approcci proposti finora in letteratura risiedono nel fatto che, per misurare la performance, essi non applicano affatto indicatori di efficienza produttiva del tipo output su input e, quando cercano di farlo, operano a livello aggregato, ignorando la diversa intensità di pubblicazione settoriale e ripartizione dei fattori produttivi fra i settori scientifici. La maggior parte degli studi, infatti, non riesce a mettere in relazione chiaramente gli input che ciascun paese impiega nei vari settori con gli output, quali pubblicazioni e citazioni, prodotti. In tutta la letteratura che adotta indicatori di (impropriamente detta) performance di ricerca, basati solo sull'output (numero e quota di pubblicazioni, citazioni e HCA), non sorprende quindi che gli Stati Uniti siano sempre al vertice in ogni settore scientifico.

Ma le performance degli Stati Uniti nelle varie discipline dipendono dall'entità delle spese destinate alla ricerca, superiori a quelle degli altri paesi, oppure da una migliore prestazione degli scienziati americani rispetto ai loro colleghi stranieri? I tentativi di rispondere a questa domanda, normalizzando output e impatto agli input, non sono risultati particolarmente efficaci in quanto, laddove disponibili, sono stati utilizzati i dati di input a livello aggregato e non per settore scientifico (Abramo e D'Angelo, 2007). Il motivo fondamentale è la non disponibilità di dati relativi al numero di ricercatori e spese di ricerca per settore nei singoli paesi che vengono confrontati.

Tra l'altro, alcuni degli indicatori utilizzati per l'output lasciano molto a desiderare. Il semplice conteggio delle pubblicazioni, ignorando la loro qualità (valore), può essere fuorviante come indicatore di forza scientifica: una nazione potrebbe avere molte più pubblicazioni di un'altra, ma di qualità nettamente inferiore.

2 <http://www.leidenranking.com/ranking>, ultimo accesso 27 Luglio, 2019.

3 <http://www.scimagojr.com/countryrank.php>, ultimo accesso 27 Luglio, 2019.

Inoltre, il tentativo di aggirare la mancanza di dati di input con indicatori indipendenti dalla dimensione (dei fattori produttivi), quali il numero di “citazioni medie per pubblicazione”, si rivela inefficace, in quanto tali indicatori non risultano appropriati per la misurazione della performance, violando un assioma fondamentale della teoria della produzione: all’aumentare dell’output, rimanendo gli input costanti, la performance non può diminuire (Abramo e D’Angelo, 2016a; Abramo e D’Angelo, 2016b). Utilizzando l’indicatore “citazioni medie per pubblicazione” questo può invece verificarsi, quando una nazione (e lo stesso vale per un’organizzazione o per un singolo individuo) produce una pubblicazione aggiuntiva, il cui numero di citazioni è inferiore al valore medio precedente.

In questo lavoro non ci proponiamo un confronto della performance di ricerca italiana con quella di altri paesi che, per assenza di dati di input per disciplina, riproporrebbe le distorsioni delle precedenti, bensì d’individuare i settori scientifici di forza e di debolezza interni al sistema della ricerca accademica italiana. Nel paragrafo successivo illustreremo il metodo utilizzato.

2.3 - Una nuova metodologia per identificare i punti di forza e di debolezza scientifici delle nazioni

La metodologia che proponiamo si basa sull’assioma che, a livello nazionale, un settore di ricerca è più “forte” di un altro se i ricercatori che vi afferiscono, a parità di input, producono più output, e quindi hanno una performance superiore. In termini molto semplificati, la performance di un sistema produttivo si misura attraverso il rapporto tra output e input. In un sistema che produce conoscenza, l’output è dato dall’impatto socio-economico dei risultati di ricerca. Poiché i tempi in cui tale impatto si realizza possono essere molto lunghi, e sicuramente superiori a quelli che il decisore politico può attendere per le proprie decisioni, quello che in realtà si misura è l’impatto dei risultati di ricerca sulla comunità scientifica⁴, attraverso le relative citazioni (Abramo, 2018). Un impatto maggiore si può ottenere, a parità di numero

4 È lecito attendersi una forte correlazione tra impatto scientifico ed economico sociale.

di pubblicazioni, con una qualità (citazioni) media per pubblicazione superiore, ovvero a parità di qualità, con un numero maggiore di pubblicazioni.

Poiché la produzione scientifica (numero medio annuo di pubblicazioni) varia in funzione del settore considerato (D'Angelo e Abramo, 2015), il confronto diretto di performance tra settori favorirebbe quelli caratterizzati da una maggiore intensità di pubblicazione, con distorsioni significative nei risultati (Abramo, Cicero, e D'Angelo, 2013). Per individuare i settori scientifici con performance relativa più alta, bisognerebbe quindi confrontare la performance media dei ricercatori italiani con quella dei ricercatori di altri paesi nel medesimo settore, stilare le relative classifiche settoriali e successivamente confrontare le posizioni dei settori italiani nelle classifiche mondiali di performance.

L'indicatore ideale per misurare e confrontare le performance tra settori è la produttività di ricerca, definita come il rapporto tra l'impatto totale dei risultati e il costo dei fattori produttivi, assumendo che questi ultimi concorrano in maniera eguale alla produzione dell'output. Per calcolare tale indicatore è necessario conoscere il numero di ricercatori in ciascun settore e la loro produzione scientifica, nonché le spese in ricerca (Abramo e D'Angelo, 2014). Sfortunatamente, negli altri paesi non esistono basi di dati centralizzate con i dati bibliografici dei ricercatori e la loro classificazione settoriale⁵.

Non potendo misurare la produttività settoriale della ricerca degli altri paesi, al fine di un confronto con quella italiana, in un nostro precedente lavoro (Abramo e D'Angelo, 2014) abbiamo proposto un metodo alternativo basato sugli HCA. Tale metodologia presentava tuttavia una forte limitazione, data dal fatto che i confronti erano possibili solo per quei settori aventi intensità di pubblicazione comparabili. In questo studio superiamo quel limite come illustrato nel seguito.

Per meglio cogliere l'idea di fondo che sottende la metodologia proposta ricorriamo a una analogia sportiva. È noto agli appassionati di sport che l'Italia è indiscutibilmente più forte nella scherma che non nel baseball. Come è maturata questa convinzione? Evidentemente le nostre squadre di scherma hanno vinto più trofei mondiali di quanto non abbiano fatto quelle

⁵ Uniche sole eccezioni, per quanto di nostra conoscenza, Italia e Norvegia. Per questi due paesi è stato realizzato un confronto di performance a livello individuale, settoriale e disciplinare (Abramo, Aksnes e D'Angelo, 2019).

di baseball. Lo stesso vale nella ricerca, più un settore scientifico annovera pubblicazioni tra le più citate al mondo e ricercatori in grado di produrle, più quel settore è forte.

Un confronto rigoroso tra settori richiede, però, degli accorgimenti tecnici di misurazione la cui interpretazione potrebbe risultare ostica ai non addetti ai lavori. Riportiamo la descrizione tecnica del metodo e degli indicatori nel box 2.1. Di seguito invece presentiamo una descrizione semplificata.

Definiamo HCA quelle pubblicazioni mondiali che si collocano al top 5%, $HCA_{(5\%)}$, oppure 10%, $HCA_{(10\%)}$, per numero di citazioni rispetto a quelle dello stesso settore e anno di pubblicazione. Il ricorso a due categorie di HCA è utile ai fini della sintesi dei risultati perché, come le elaborazioni dimostreranno, i settori di forza e di debolezza possono variare in funzione dell'HCA scelto. Combinando i due HCA si avranno quindi risultati più affidabili e robusti. Definiamo FHCA un HCA diviso per il numero dei suoi co-autori. Definiamo TS un ricercatore che in un certo periodo di tempo abbia prodotto un numero di FHCA superiore a una certa soglia.

Per misurare la forza scientifica di un settore ricorriamo a due indicatori. Un indicatore, denominato FSS_{TS} , *Fractional Scientific Strength* (Forza Scientifica Frazionaria) di un settore, è definito come numero medio annuo di TS per unità di spesa di ricerca nel settore. L'altro indicatore, denominato FSS_{FHCA} , è misurato dal numero medio annuo di FHCA per unità di spesa di ricerca nel settore. Il primo indicatore misura quanto è diffusa, tra gli scienziati di un settore, la capacità di avanzare in maniera significativa le frontiere della conoscenza; il secondo misura l'entità di tale contributo eccezionale.

Di seguito applicheremo i due indicatori, per $HCA_{(5\%)}$ e $HCA_{(10\%)}$, per l'identificazione dei punti di forza e di debolezza della ricerca accademica italiana. Il periodo di osservazione è il 2012-2016 e le citazioni sono conteggiate al 30 ottobre 2018. I dati relativi al personale accademico italiano sono estratti dal database del personale universitario, gestito dal MIUR. Per ciascun docente questo database fornisce informazioni sul nome e cognome, sesso, affiliazione, classificazione settoriale e rango accademico, al 31/12 di ciascun anno⁶. A partire dalla classificazione di tutti i ricercatori italiani nei loro settori scientifico disciplinari di ricerca e dai dati grezzi delle pubblicazioni

6 <http://cercauniversita.cineca.it/php5/docenti/cerca.php>. Ultimo accesso 27 Luglio, 2019.

di WoS nel periodo 2012-2016, e applicando un algoritmo per la riconciliazione delle diverse denominazioni della medesima affiliazione dell'autore e la disambiguazione della loro precisa identità, si attribuisce ciascuna pubblicazione al ricercatore⁷ universitario che l'ha prodotta⁸ (D'Angelo, Giuffrida, e Abramo, 2011). Identifichiamo successivamente tutti gli HCA e dividiamo ciascuno di essi per il numero di autori, per ottenere il valore FHCA per ogni HCA.

Relativamente alla spesa in ricerca, consideriamo sia il costo del lavoro che quello del capitale. Per il primo, le informazioni sui singoli stipendi non sono disponibili, ma sono pubblicati i valori stipendiali per rango e anzianità⁹. Possiamo quindi approssimare lo stipendio di ogni ricercatore mediante il valore medio nazionale del corrispondente rango accademico. Il costo del capitale per R&S per persona/anno non è disponibile in Italia ma lo è in Norvegia, dove ammonta in media a 42.693 euro PPP. Assumiamo quindi che tutti i ricercatori italiani possano contare sulla stessa quantità di risorse per condurre la propria attività di ricerca. L'ulteriore ipotesi è che il capitale sia disponibile in egual misura per ciascun ricercatore, indipendentemente dal rango accademico, dal SSD¹⁰ e dall'università.

La nostra metodologia si avvale di una caratteristica distintiva del sistema della ricerca italiano, in cui ogni accademico è ufficialmente classificato in un unico settore scientifico, denominato "Settore scientifico disciplinare" (SSD). Il sistema accademico nazionale è composto da 370 SSD, raggruppati in 14 "Aree Disciplinari Universitarie" (ADU).

Per ragioni di robustezza, questo studio è limitato a quei settori in cui l'analisi bibliometrica può essere considerata significativa, quali le scienze propriamente dette e le scienze sociali. Escludiamo le discipline artistiche, giuridiche e umanistiche, per le quali la copertura delle pubblicazioni in WoS è troppo limitata per garantire risultati robusti. Analizzeremo quindi 218 SSD,

7 Con il termine ricercatore indichiamo tutto il personale di ricerca delle università di ogni ordine e grado (ricercatori, professori associati e ordinari).

8 La media armonica di precisione e richiamo (F-measure) delle associazioni pubblicazione-autore disambiguate dal nostro algoritmo è circa del 97% (margine d'errore del 2%, intervallo di confidenza del 98%).

9 CINECA-Dalia, https://dalia.cineca.it/php4/inizio_access_cnvsu.php. Ultimo accesso 27 Luglio, 2019.

10 È noto che alcuni settori di ricerca richiedono molto più capitale di altri (vedi ad esempio fisica rispetto a matematica), ma in assenza del costo del capitale pro capite in ciascun settore, si riduce comunque l'errore della misura considerando un costo medio uguale in tutti i settori, piuttosto che omettendolo del tutto.

appartenenti a 11 ADU. I 218 SSD coinvolgono circa 39.000 ricercatori, in ruolo per almeno tre anni nel periodo 2012-2016¹¹, che hanno prodotto oltre 300.000 pubblicazioni indicizzate in WoS.

Box 2.1 - Gli indicatori di misura della forza scientifica dei settori

La formulazione degli indicatori di misura ha richiesto alcuni accorgimenti tecnici, al fine di limitare distorsioni dovute alle diverse caratteristiche strutturali dei settori scientifici. In primis, poiché l'intensità di pubblicazione varia tra settori, a parità di risorse, i settori ove si pubblica di più hanno probabilità più alta di produrre HCA e di avere un maggior numero di ricercatori che li producono. Anche l'intensità di collaborazione tra ricercatori varia considerevolmente tra settori, per cui i settori che presentano un numero medio di co-autori più alto, hanno maggiore probabilità di registrare un più elevato numero di HCA e di ricercatori che li producono.

Onde evitare le suddette distorsioni adottiamo due accorgimenti. Per controllare la diversa intensità di collaborazione di ricerca tra settori (Abramo, D'Angelo, e Murgia, 2013), adottiamo il metodo di conteggio cosiddetto *fractional counting* (conteggio frazionario), per cui ad ogni autore, per ogni HCA prodotto, viene attribuito il suo reale contributo all'articolo, pari all'inverso del numero di co-autori, che denominiamo FHCA. Per controllare la diversa intensità di pubblicazione nei settori, normalizziamo i FHCA in un settore mediante l'intensità di pubblicazione in quel settore degli autori di HCA.

Abbiamo definito TS, che saranno denominati $TS_{(5\%)}$ o $TS_{(10\%)}$ a seconda dell'HCA considerato, i ricercatori che hanno prodotto una quantità di FHCA superiore ad una certa soglia, caratteristica del settore. La soglia adottata è $Q3 + 1,5 \times IQR$.¹²

L'indicatore FSS_{TS} , definito come numero medio annuo di TS per unità di spesa della ricerca nel SSD, è espresso in formule:

$$FSS_{TS} = \frac{1}{t} \cdot \frac{TS}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{W_r}{2} + k \right)} \quad [1]$$

11 Si veda Abramo, D'Angelo, e Cicero (2012) per i dettagli relativi a questa scelta.

12 $Q3$ è il valore corrispondente al terzo quartile della distribuzione di FHCA nel settore, mentre IQR è uguale alla differenza tra i valori $Q3$ e $Q1$. Questa soglia è generalmente utilizzata per identificare i veri *outlier* nel box-plot per le distribuzioni non normali. Ovviamente la soglia può essere modificata per adattarsi a contesti differenti. Nel nostro caso, abbiamo verificato che aiuta a ridurre drasticamente la correlazione tra numero di TS e intensità di pubblicazioni frazionarie in ogni settore.

ove:

TS = numero di ricercatori nel SSD con una produzione di FHCA superiore alla soglia, nel periodo in osservazione;

w_r = stipendio medio annuo del ricercatore di rango accademico r;

k = capitale annuale disponibile per la ricerca per ciascun ricercatore, indipendentemente dal rango accademico;

t = numero di anni di lavoro del ricercatore nel periodo in osservazione;

N = numero di ricercatori nel SSD nel periodo in osservazione.

Dimezziamo il costo del lavoro, perché ipotizziamo che il 50% del tempo dei docenti universitari sia destinato ad attività (insegnamento, trasferimento tecnologico, amministrazione) diverse dalla ricerca.

In Tabella 2.1 sono riepilogati i dati relativi al costo del lavoro, al costo del capitale e al fattore di normalizzazione del costo totale in corrispondenza a ciascun rango accademico. Nel seguito, useremo quest'ultimo dato per le misure di produttività.

Tabella 2.1 - Costo dei fattori di produzione (in euro) per rango accademico

Rango accademico	w_r	k	$\frac{w_r}{2} + k$	Costo totale fattore di normalizzazione
Ricercatore	54.628	42.693	70.007	1
Professore associato	66.821	42.693	76.104	1.09
Professore ordinario	101.301	42.693	93.344	1.23

Legenda: w_r stipendio medio annuo dei ricercatori di rango accademico r; k = capitale medio annuo disponibile per la ricerca per ciascun ricercatore, indipendentemente dal rango accademico.

Similmente, l'indicatore FSS_{FHCA} misurato dal numero medio annuo di FHCA per unità di spesa della ricerca nel SSD, è espresso in formule:

$$FSS_{FHCA} = \frac{1}{t} \cdot \frac{FHCA^R}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{w_r}{2} + k \right)} \quad [2]$$

ove:

$FHCA^R$ = numero totale di FHCA pubblicati da ricercatori nel SSD nel periodo in osservazione, riscaldati mediante la media delle pubblicazioni frazionarie prodotte da ricercatori autori di HCA, nel SSD.

Entrambi gli indicatori a livello fine di SSD possono essere successivamente aggregati a livello di ADU, ponderando ciascun SSD per le sue dimensioni, espresse in termini di spesa totale in R&S nel SSD.

La Tabella 2.2 riporta la distribuzione degli SSD, ricercatori e pubblicazioni in corrispondenza a ciascuna ADU. I dati mostrano il predominio quantitativo delle Scienze mediche in tutte le dimensioni considerate. I ricercatori di questa disciplina rappresentano da soli il 24,4% del totale, producono il 31,5% delle pubblicazioni, con il 34,8% degli $HCA_{(5\%)}$ totali e il 33,1% degli $HCA_{(10\%)}$. Sia gli $HCA_{(5\%)}$ che gli $HCA_{(10\%)}$ risultano abbondantemente superiori alle attese. Per quanto riguarda gli $HCA_{(5\%)}$, si osserva che rappresentano l'8,0% delle pubblicazioni totali presenti nel dataset, con picchi in Scienze fisiche (10,8%), Scienze psicologiche e pedagogiche¹³ (9,1%), Scienze mediche e Ingegneria industriale e dell'informazione (entrambi con l'8,8%). Considerando invece gli $HCA_{(10\%)}$ (che rappresentano complessivamente il 15,5% delle pubblicazioni totali), l'ADU con la più alta incidenza rimane Scienze fisiche (19,6%), seguita da Scienze psicologiche e pedagogiche (18,2%) e Scienze chimiche (17,2%).

13 Poiché di questa ADU consideriamo solo gli SSD afferenti alle Scienze psicologiche e pedagogiche, nel seguito la denomineremo come tale.

Tabella 2.2 - Dataset di analisi, per Aree Disciplinari Universitarie (ADU), 2012-2016

ADU	Numero di SSD	Numero di ricercatori	Pubblicazioni	HCA _(5%)	HCA _(10%)
Scienze matematiche e informatiche	10	3.125	21.090	1.148 (5,4%)	2.132 (10,1%)
Scienze fisiche	8	2.215	27.232	2.928 (10,8%)	5.350 (19,6%)
Scienze chimiche	11	2.887	29.678	2.274 (7,7%)	5.093 (17,2%)
Scienze della terra	12	1.042	8.300	464 (5,6%)	1.070 (12,9%)
Scienze biologiche	19	4.803	39.854	3.246 (8,1%)	6.699 (16,8%)
Scienze mediche	50	9.637	94.491	8.332 (8,8%)	15.403 (16,3%)
Scienze agrarie e veterinarie	30	2.998	19.690	972 (4,9%)	2.257 (11,5%)
Ingegneria civile e architettura	9	1.510	11.959	908 (7,6%)	1.866 (15,6%)
Ingegneria industriale e dell'informazione	42	5.245	65.781	5.774 (8,8%)	10.804 (16,4%)
Scienze psicologiche e pedagogiche	10	1.410	9.687	884 (9,1%)	1.765 (18,2%)
Scienze economiche e statistiche	17	4.549	13.302	841 (6,3%)	1.573 (11,8%)
Totale	218	39.421	300.274[†]	23.917[†] (8,0%)	46.468[†] (15,5%)

† Il valore totale è diverso dalla somma dei valori per colonna a causa del conteggio multiplo delle pubblicazioni che presentano come co-autori ricercatori italiani di diverse ADU.

Nota: HCA_(5%) e HCA_(10%) sono le pubblicazioni che si collocano rispettivamente nel top 5% e 10% per numero di citazioni.

2.4 - Risultati per le Aree Disciplinari Universitarie e i Settori Scientifico Disciplinari delle università italiane

In questa sezione presentiamo i risultati dell'analisi per entrambi gli indicatori, dapprima a livello di ADU e successivamente di SSD.

2.4.1 - Punti di forza e di debolezza a livello di area disciplinare universitaria

Relativamente all'indicatore definito nella [1], riportata nel Box 2.1, che indica quanto sia diffusa la capacità di avanzare la frontiera della conoscenza tra i ricercatori in un SSD, per euro speso in ricerca, l'aggregazione ponderata dei punteggi riferiti agli SSD di ciascuna ADU, restituisce i valori mostrati in Tabella 2.3. A livello complessivo si registra un valore medio di pari a 5,53. Le aree con performance superiori a tale benchmark sono 4, con in testa Scienze chimiche (7,20), seguita da Scienze mediche (7,14), Ingegneria industriale e dell'informazione (7,09) e Scienze biologiche (6,80). Alzando la soglia degli HCA al top 10%, le gerarchie variano leggermente, ma continua a spiccare la performance di Scienze chimiche (9,21) appaiata a Scienze biologiche, entrambi seguite da Scienze della terra (8,65) e Scienze mediche (8,45).

Tabella 2.3 - Numero di $TS_{(5\%)}$ e $TS_{(10\%)}$ (percentuali sul totale dei ricercatori) e Forza Scientifica Frazionaria su base $TS_{(5\%)}$ e $TS_{(10\%)}$ in ogni ADU

ADU	$TS_{(5\%)}$	$TS_{(10\%)}$	$FSS_{TS(5\%)}$	$FSS_{TS(10\%)}$
Scienze chimiche	111 (3,8%)	142 (4,9%)	7,20	9,21
Scienze biologiche	172 (3,6%)	233 (4,9%)	6,80	9,21
Scienze della terra	22 (2,1%)	48 (4,6%)	3,97	8,65
Scienze mediche	361 (3,7%)	427 (4,4%)	7,14	8,45
Ingegneria industriale e dell'informazione	202 (3,9%)	236 (4,5%)	7,09	8,28
Ingegneria civile e architettura	34 (2,3%)	64 (4,2%)	4,17	7,86
Scienze psicologiche e pedagogiche	39 (2,8%)	56 (4,0%)	5,22	7,50
Scienze agrarie e veterinarie	81 (2,7%)	111 (3,7%)	5,04	6,90
Scienze fisiche	51 (2,3%)	67 (3,0%)	4,31	5,67
Scienze matematiche e informatiche	41 (1,3%)	91 (2,9%)	2,43	5,39
Scienze economiche e statistiche	49 (1,1%)	64 (1,4%)	1,98	2,59
Totale	1.163 (3,0%)	1.539 (3,9%)	5,53	7,31

Fonte: elaborazione degli autori su dati Cineca, WoS, e Research Value.

Nota: $TS_{(5\%)}$ e $TS_{(10\%)}$ sono ricercatori che hanno prodotto un numero di pubblicazioni, rispettivamente nel top 5% e 10% per citazioni, superiore ad una certa soglia. $FSS_{TS(5\%)}$ e $FSS_{TS(10\%)}$ sono il numero medio annuo rispettivamente di $TS_{(5\%)}$ e $TS_{(10\%)}$ per unità di spesa della ricerca nel settore scientifico disciplinare di afferenza.

Secondo l'indicatore definito in [2] (si veda Box 2.1), che indica l'entità del contributo complessivo agli avanzamenti di rilievo della frontiera della conoscenza (FHCA) in un SSD, le performance relative delle ADU variano ulteriormente, come mostrato in Tabella 2.4. Indipendentemente dal taglio degli HCA spicca il posizionamento in testa di Scienze fisiche (13,42 e 25,96). Al secondo posto si colloca Scienze chimiche per (23,42) e Ingegneria industriale e dell'informazione per (11,04). Nella parte bassa del ranking (ultime cinque posizioni) le posizioni sono invarianti con il taglio degli HCA.

Tabella 2.4 - Forza Scientifica Frazionaria per $FHCA_{(5\%)}$ e $FHCA_{(10\%)}$ per Aree Disciplinari Universitarie (ADU)

ADU	$FSS_{FHCA(5\%)}$	$FSS_{FHCA(10\%)}$
Scienze fisiche	13.42	25.96
Scienze chimiche	8.86	23.42
Ingegneria industriale e dell'informazione	11.04	22.63
Scienze psicologiche e pedagogiche	9.36	21.59
Scienze biologiche	8.14	20.79
Ingegneria civile e architettura	8.35	19.35
Scienze mediche	7.39	16.99
Scienze della terra	4.91	14.69
Scienze agrarie e veterinarie	4.50	12.27
Scienze matematiche e informatiche	4.14	9.09
Scienze economiche e statistiche	4.03	8.72
Totale	7.59	17.41

Fonte: elaborazione degli autori su dati Cineca, WoS, e Research Value.

Nota: sono il numero medio annuo di contributi alle pubblicazioni, rispettivamente nel top 5% e 10% per citazioni, per unità di spesa della ricerca nel settore scientifico disciplinare.

2.4.2 - Punti di forza e di debolezza a livello di settore scientifico disciplinare

Affinché un'analisi strategica possa essere utile in sede di formulazione delle politiche della ricerca, è necessaria una valutazione più dettagliata, a livello di settore. In questo paragrafo, presentiamo un estratto dei risultati

riguardanti gli SSD forti e deboli sia all'interno che tra le ADU. Ovviamente gli SSD possono avere dimensioni anche molto diverse. A questo proposito in Tabella 2.5 mostriamo a titolo esemplificativo il numero di ricercatori (totale e suddiviso nei tre ranghi) e il costo totale (spese per stipendi e capitale)¹⁴ dei 20 SSD più grandi e dei 20 più piccoli.

Tabella 2.5 - Personale di ricerca e costo totale per i primi 20 e ultimi 20 Settori Scientifico Disciplinari (SSD) in termini dimensionali

SSD	ADU*	Ricercatori	Professori associati	Professori ordinari	Totale	Costo totale (x 100k euro)
INF/01 - Informatica	1	263	336	247	846	3180
BIO/10 - Biochimica	5	293	304	230	827	3077
FIS/01 - Fisica sperimentale	2	175	393	239	807	3009
MED/18 - Chirurgia generale	6	346	287	181	814	2975
MAT/05 - Analisi matematica	1	184	315	282	781	2965
MED/09 - Medicina interna	6	317	296	188	801	2934
SECS-P/01 - Economia politica	13	167	255	330	752	2898
SECS-P/07 - Economia aziendale	13	193	300	258	751	2848
ING-INF/05 - Sistemi di elaborazione delle informazioni	9	180	303	230	713	2702
BIO/14 - Farmacologia	5	243	226	180	649	2408
CHIM/06 - Chimica organica	3	181	221	170	572	2147
SECS-P/08 - Economia e gestione delle imprese	13	155	205	203	563	2133
BIO/09 - Fisiologia	5	212	208	154	574	2127
CHIM/03 - Chimica generale ed inorganica	3	135	242	151	528	1973
MED/04 - Patologia generale	6	193	161	155	509	1886
CHIM/08 - Chimica farmaceutica	3	140	207	90	437	1623
SECS-S/06 - Metodi matematici dell'economia e delle scienze attuariali e finanziarie	13	120	157	153	430	1622
FIS/03 - Fisica della materia	2	101	193	137	431	1614
MED/28 - Malattie odontostomatologiche	6	146	164	115	425	1577
SECS-S/01 - Statistica	13	95	176	139	410	1552

14 Si ricorda che il costo riflette la dimensione, in termini di numero di ricercatori, e il rango accademico, ma non una maggiore o minore disponibilità di risorse per la ricerca.

I 20 SSD PIÙ PICCOLI	SSD	ADU*	Ricercatori	Professori associati	Professori ordinari	Totale	Costo totale (x 100k euro)
	MED/02 - Storia della medicina	6	17	8	9	34	123
	ING-IND/05 - Impianti e sistemi aerospaziali	9	8	16	8	32	117
	MED/45 - Scienze infermieristiche generali, cliniche e pediatriche	6	5	20	5	30	114
	AGR/14 - Pedologia	7	9	13	8	30	111
	FIS/08 - Didattica e storia della fisica	2	6	18	6	30	109
	ING-IND/03 - Meccanica del volo	9	4	12	11	27	104
	ING-IND/28 - Ingegneria e sicurezza degli scavi	9	10	9	7	26	96
	ING-IND/07 - Propulsione aerospaziale	9	5	11	9	25	93
	SECS-S/02 - Statistica per la ricerca	13	10	7	7	24	87
	ING-IND/23 - Chimica fisica applicata	9	3	7	12	22	86
	ING-IND/01 - Architettura Navale	9	5	11	6	22	85
	MED/48 - Scienze infermieristiche e tecniche neuro-psichiatriche e riabilitative	6	11	7	5	23	83
	GEO/12 - Oceanografia e fisica dell'atmosfera	4	5	7	7	19	73
	ING-IND/02 - Costruzioni e impianti navali e marini	9	3	9	4	16	60
	AGR/06 - Tecnologia del legno e utilizzazioni forestali	7	5	8	3	16	55
	ING-IND/29 - Ingegneria delle materie prime	9	4	9	1	14	52
	ING-IND/18 - Fisica dei reattori nucleari	9	2	7	3	12	47
	ING-IND/20 - Misure e strumentazione nucleari	9	2	4	4	10	39
	ING-IND/30 - Idrocarburi e fluidi del sottosuolo	9	2	5	1	8	30
MED/47 - Scienze infermieristiche ostetrico-ginecologiche	6	4	2	0	6	21	

* 1, Scienze matematiche e informatiche; 2, Scienze fisiche; 3, Scienze chimiche; 4, Scienze della terra; 5, Scienze biologiche; 6, Scienze mediche; 7, Scienze agrarie e veterinarie; 8, Ingegneria civile e architettura; 9, Ingegneria industriale e dell'informazione; 10, Scienze psicologiche e pedagogiche; 11, Scienze economiche e statistiche

Riferendosi a tutti e 218 gli SSD indagati, applicando due indicatori di Forza Scientifica Frazionaria e due varianti per ciascuno (a seconda che si considerino $HCA_{(5\%)}$ o $HCA_{(10\%)}$) si hanno in tutto 4 distribuzioni. In Tabella 2.6 riportiamo il valore della correlazione di Spearman tra queste 4 distribuzioni. Si nota che per l'indicatore la correlazione tra i ranking che scaturiscono da soglie diverse per la definizione di HCA (5% e 10%) è elevatissima (Spearman ρ pari a 0,960) e ben maggiore di quella rilevata per $HCA_{(5\%)}$ che, comunque, risulta pur sempre elevata (0,603). Più bassa invece la correlazione tra i due indicatori (ρ e ρ), con coefficienti Spearman ρ pari a 0,500 per $HCA_{(5\%)}$ e a 0,428 per $HCA_{(10\%)}$. Quest'ultimo dato rivela che nella maggior parte degli SSD ci sono relativamente pochi TS (*outlier*) che producono la maggior parte dei FHCA, ovvero tanti TS, ciascuno però che produce relativamente pochi HCA.

Tabella 2.6 - Matrice di correlazione di Spearman dei quattro indicatori di Forza Scientifica Frazionaria utilizzati

	$FSS_{TS(5\%)}$	$FSS_{TS(10\%)}$	$FSS_{FHCA(5\%)}$	$FSS_{FHCA(10\%)}$
$FSS_{TS(5\%)}$	1	0.603	0.500	0.507
$FSS_{TS(10\%)}$		1	0.376	0.428
$FSS_{FHCA(5\%)}$			1	0.960
$FSS_{FHCA(10\%)}$				1

Nota: $TSs_{(5\%)}$ e $TSs_{(10\%)}$ sono ricercatori che hanno prodotto un numero di pubblicazioni, rispettivamente nel top 5% e 10% per citazioni, superiore ad una certa soglia. $FSS_{TS(5\%)}$ e $FSS_{TS(10\%)}$ sono il numero medio annuo rispettivamente di $TSs_{(5\%)}$ e $TSs_{(10\%)}$ per unità di spesa della ricerca nel settore scientifico disciplinare di afferenza.

$FSS_{FHCA(5\%)}$ e $FSS_{FHCA(10\%)}$ sono il numero medio annuo di contributi alle pubblicazioni, rispettivamente nel top 5% e 10% per citazioni, per unità di spesa della ricerca nel settore scientifico disciplinare.

A questo proposito le figure che seguono mostrano la dispersione dei 218 SSD considerando il valore di ambo gli indicatori a seconda che si consideri $HCA_{(5\%)}$ (Figura 1) o $HCA_{(10\%)}$ (Figura 2.2).

Figura 2.1 - Dispersione dei due indicatori di Forza Scientifica Frazionaria per i 218 SSD analizzati, $HCA_{(5\%)}$

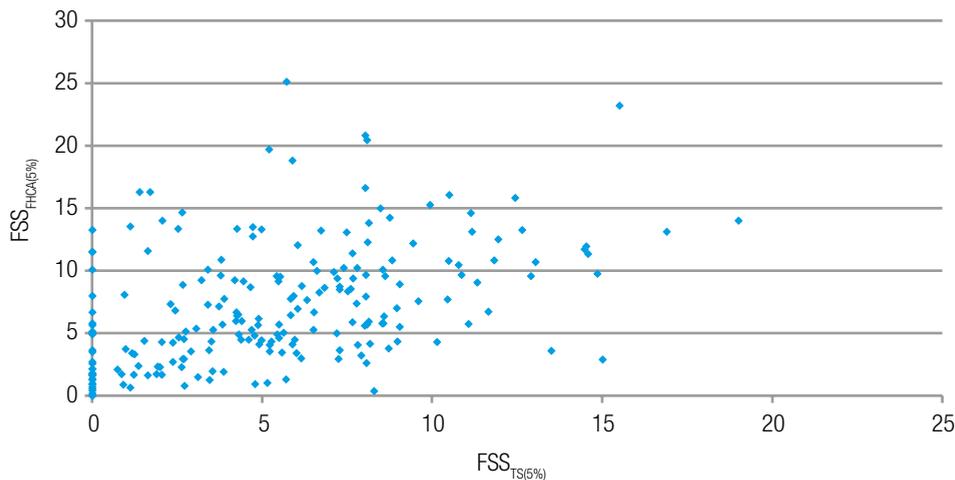
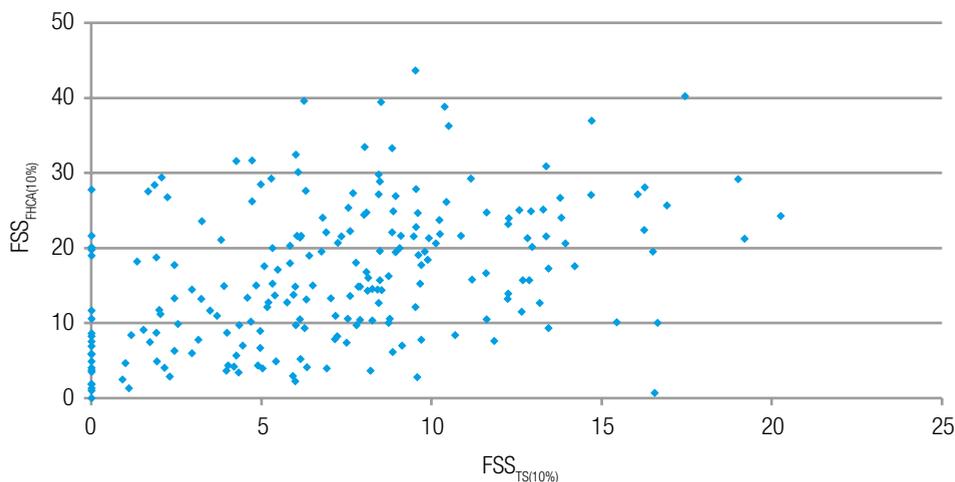


Figura 2.2 - Dispersione dei due indicatori di Forza Scientifica Frazionaria per i 218 SSD analizzati, $HCA_{(10\%)}$



Volendo fornire una rappresentazione sintetica e unitaria di SSD di forza e di debolezza, in Tabella 2.7 riportiamo l'unione di due insiemi di SSD. Il primo insieme è costituito dagli SSD che si collocano nel secondo quadrante (alto-alto) della distribuzione di $FSS_{TS(5\%)}$ e $FSS_{FHCA(5\%)}$ essendo i confini dei quadranti rappresentati dalle rispettive mediane. Il secondo insieme è l'equivalente per $HCA_{(10\%)}$. I 58 (27%) SSD così identificati rappresentano gli SSD di forza del nostro sistema ricerca. Tra di essi si nota la totale assenza di settori di Scienze matematiche e informatiche, e la cospicua presenza di settori di Scienze chimiche (64%), biologiche (42%), fisiche (38%), Ingegneria industriale e dell'informazione (33%), e Scienze mediche (30%).

Con lo stesso procedimento, individuiamo l'unione degli insiemi di SSD che si collocano nel primo quadrante (basso-basso), ossia i 53 SSD (24%) deboli del nostro sistema ricerca (Tabella 2.8). Tra questi, notiamo la totale assenza di settori delle Scienze chimiche e la cospicua presenza di settori di Scienze matematiche e informatiche (70%), Scienze economiche e statistiche (65%), Scienze agrarie e veterinarie (30%). In particolare Scienze fisiche (25%) e Scienze mediche (24%) mostrano una disomogeneità disciplinare, ove a settori di eccellenza se ne affiancano altri di notevole debolezza.

Infine, in Tabella 2.9 riportiamo i 10 (4,6%) SSD più forti e i 10 (4,6%) SSD più deboli, considerando la media delle posizioni in classifica registrate nelle quattro distribuzioni. La Tabella 2.9 conferma la forza di alcuni SSD di Scienze fisiche (12,5%), Scienze mediche (8,0%) e Ingegneria industriale e dell'informazione (7,1%), a cui si aggiunge Scienze psicologiche e pedagogiche (10%). La debolezza è **confermata in alcuni SSD di Scienze matematiche e informatiche (30%) e Scienze economiche e statistiche (5,9%)**, mentre il dato per Ingegneria industriale e dell'informazione (7,1%) rivela una certa disomogeneità a livello disciplinare.

Tabella 2.7 - Settori Scientifico Disciplinari (SSD) che presentano tutti e quattro i valori di Forza Scientifica Frazionaria superiori alle relative mediane, e dimensione relativa (rango percentile, 100 = top)

SSD	ADU*	Dimensione (percentile)	FSS _{TS(5%)}	FSS _{TS(10%)}	FSS _{FHC(5%)}	FSS _{FHC(10%)}
FIS/03 - Fisica della materia	2	92,2	6,50	10,69	9,54	22,85
FIS/05 - Astronomia e astrofisica	2	62,7	8,07	20,44	10,38	38,84
FIS/07 - Fisica applicata (a beni culturali, ambientali, biologia e medicina)	2	85,3	11,32	9,02	8,94	19,48
CHIM/01 - Chimica analitica	3	81,1	6,83	8,63	10,24	21,91
CHIM/02 - Chimica fisica	3	90,3	10,85	9,65	12,27	23,97
CHIM/03 - Chimica generale e inorganica	3	94,0	7,10	9,89	8,87	24,94
CHIM/06 - Chimica organica	3	95,4	6,52	6,66	8,48	19,65
CHIM/08 - Chimica farmaceutica	3	93,1	6,04	6,95	9,92	21,33
CHIM/09 - Farmaceutico tecnologico applicativo	3	74,2	6,61	10,00	7,55	25,40
CHIM/12 - Chimica dell'ambiente e dei beni culturali	3	15,7	9,43	12,16	12,57	25,11
GEO/04 - Geografia fisica e geomorfologia	4	51,2	7,60	8,53	7,60	22,31
GEO/05 - Geologia applicata	4	51,6	8,96	7,00	13,44	17,33
GEO/12 - Oceanografia e fisica dell'atmosfera	4	3,2	9,60	7,54	19,19	21,23
BIO/09 - Fisiologia	5	94,5	5,92	7,97	10,86	21,68
BIO/10 - Biochimica	5	99,5	7,51	8,33	9,10	21,62
BIO/11 - Biologia molecolare	5	78,3	8,75	14,24	9,55	27,89
BIO/12 - Biochimica clinica e biologia molecolare clinica	5	62,2	10,44	7,67	16,25	22,44
BIO/13 - Biologia applicata	5	82,5	7,66	11,40	8,93	26,97
BIO/14 - Farmacologia	5	95,9	7,27	8,47	9,59	24,67
BIO/17 - Istologia	5	65,4	9,93	15,26	8,83	33,29
BIO/19 - Microbiologia generale	5	49,8	7,79	10,20	20,25	24,28
MED/01 - Statistica medica	6	42,4	11,94	12,48	10,23	23,74
MED/03 - Genetica medica	6	60,8	14,48	11,70	8,44	27,14
MED/04 - Patologia generale	6	93,5	11,14	14,61	13,36	30,91
MED/07 - Microbiologia e microbiologia clinica	6	84,8	7,77	7,35	7,77	18,09
MED/08 - Anatomia patologica	6	81,6	5,41	9,58	9,47	21,60
MED/09 - Medicina interna	6	97,7	7,40	10,20	8,83	22,11
MED/10 - Malattie dell'apparato respiratorio	6	47,0	14,86	9,73	16,51	19,54
MED/11 - Malattie dell'apparato cardiovascolare	6	79,3	14,58	11,34	13,81	24,09
MED/12 - Gastroenterologia	6	63,1	12,63	13,24	13,78	26,72
MED/13 - Endocrinologia	6	77,0	10,48	10,78	16,92	25,70
MED/15 - Malattie del sangue	6	72,4	15,50	23,19	17,44	40,28

SSD	ADU*	Dimensione (percentile)	FSS _{TS(5%)}	FSS _{TS(10%)}	FSS _{FHCA(5%)}	FSS _{FHCA(10%)}
MED/26 - Neurologia	6	88,0	10,77	10,45	8,08	24,79
MED/39 - Neuropsichiatria infantile	6	34,1	8,13	13,80	16,27	28,10
MED/48 - Scienze infermieristiche e tecniche neuropsichiatriche e riabilitative	6	3,7	16,90	13,11	8,45	29,82
MED/49 - Scienze tecniche dietetiche applicate	6	22,1	13,03	10,66	10,43	26,12
AGR/04 - Orticoltura e floricoltura	7	12,9	8,13	5,92	8,13	16,07
AGR/08 - Idraulica agraria e sistemazioni idraulico-forestali	7	19,4	19,01	13,98	19,01	29,17
AGR/16 - Microbiologia agraria	7	58,5	12,90	9,55	11,61	24,77
ICAR/04 - Strade, ferrovie ed aeroporti	8	31,8	8,55	10,09	12,82	21,33
ICAR/08 - Scienza delle costruzioni	8	86,6	9,04	8,91	9,60	19,06
ING-IND/09 - Sistemi per l'energia e l'ambiente	9	37,8	5,72	25,09	9,53	43,66
ING-IND/16 - Tecnologie e sistemi di lavorazione	9	64,1	12,43	15,81	14,69	27,07
ING-IND/17 - Impianti industriali meccanici	9	60,4	6,04	12,03	7,25	20,70
ING-IND/22 - Scienza e tecnologia dei materiali	9	79,7	14,53	11,94	16,06	27,19
ING-IND/24 - Principi di ingegneria chimica	9	31,3	8,61	9,56	12,92	24,92
ING-IND/27 - Chimica industriale e tecnologica	9	17,1	5,88	18,82	14,70	36,98
ING-IND/32 - Convertitori, macchine e azionamenti elettrici	9	48,4	8,03	16,63	8,03	33,49
ING-IND/33 - Sistemi elettrici per l'energia	9	44,2	11,81	10,82	10,12	20,66
ING-IND/34 - Bioingegneria industriale	9	30,0	11,16	13,09	11,16	29,26
ING-INF/02 - Campi elettromagnetici	9	66,8	8,58	6,36	12,86	15,76
ING-INF/03 - Telecomunicazioni	9	88,5	7,47	13,06	8,01	24,46
ING-INF/04 - Automatica	9	82,0	8,47	14,97	8,47	28,92
ING-INF/05 - Sistemi di elaborazione delle informazioni	9	96,3	8,81	10,80	9,07	19,98
ING-INF/07 - Misure elettriche e elettroniche	9	52,5	7,20	9,38	12,96	20,16
M-PSI/02 - Psicobiologia e psicologia fisiologica	11	57,1	10,50	16,05	10,50	36,26
M-PSI/04 - Psicologia dello sviluppo e psicologia dell'educazione	11	72,8	6,73	13,21	7,69	27,35
SECS-P/05 - Econometria	13	18,0	11,65	6,71	8,74	16,26

* ADU 1, Scienze matematiche e informatiche; 2, Scienze fisiche; 3, Scienze chimiche; 4, Scienze della terra; 5, Scienze biologiche; 6, Scienze mediche; 7, Scienze agrarie e veterinarie; 8, Ingegneria civile e architettura; 9, Ingegneria industriale e dell'informazione; 10, Scienze psicologiche e pedagogiche; 11, Scienze economiche e statistiche.

Nota: $TSs_{(5\%)}$ e $TSs_{(10\%)}$ sono ricercatori che hanno prodotto un numero di pubblicazioni, rispettivamente nel top 5% e 10% per citazioni, superiore ad una certa soglia. $FSS_{TS(5\%)}$ e $FSS_{TS(10\%)}$ sono il numero medio annuo rispettivamente di $TSs_{(5\%)}$ e $TSs_{(10\%)}$ per unità di spesa della ricerca nel settore scientifico disciplinare di appartenenza.

$FSS_{FHCA(5\%)}$ e $FSS_{FHCA(10\%)}$ sono il numero medio annuo di contributi alle pubblicazioni, rispettivamente nel top 5% e 10% per citazioni, per unità di spesa della ricerca nel settore scientifico disciplinare.

Tabella 2.8 - Settori Scientifico Disciplinari (SSD) che presentano tutti e quattro i valori di Forza Scientifica Frazionaria inferiori alle relative mediane, e dimensione relativa (rango percentile, 100 = top)

SSD	ADU*	Dimensione (percentile)	FSS _{TS(6%)}	FSS _{TS(10%)}	FSS _{FHQ(6%)}	FSS _{FHQ(10%)}
MAT/01 - Logica matematica	1	11,5	0,00	2,16	4,34	3,43
MAT/02 - Algebra	1	65,0	1,11	0,64	1,11	1,36
MAT/03 - Geometria	1	90,8	0,91	0,86	0,91	2,50
MAT/04 - Matematiche complementari	1	29,5	0,00	0,00	2,30	2,91
MAT/05 - Analisi matematica	1	98,2	1,89	1,69	4,01	4,38
MAT/06 - Probabilità e statistica matematica	1	52,1	0,00	1,63	5,92	3,00
MAT/07 - Fisica matematica	1	83,9	1,22	1,68	4,26	5,71
FIS/06 - Fisica per il sistema terra e il mezzo circumterrestre	2	16,6	0,00	5,12	5,95	13,79
FIS/08 - Didattica e storia della fisica	2	6,9	0,00	2,69	0,00	4,88
GEO/01 - Paleontologia e paleoecologia	4	36,9	1,92	2,34	1,92	8,77
GEO/02 - Geologia stratigrafica e sedimentologica	4	54,8	2,70	4,52	5,39	13,67
GEO/11 - Geofisica applicata	4	13,4	0,00	2,14	0,00	6,96
BIO/07 - Ecologia	5	75,1	3,55	5,29	5,32	15,23
MED/19 - Chirurgia plastica	6	25,8	0,00	1,67	2,44	6,35
MED/20 - Chirurgia pediatrica e infantile	6	15,2	0,00	0,71	0,00	3,77
MED/27 - Neurochirurgia	6	46,5	0,00	1,78	4,97	8,98
MED/28 - Malattie odontostomatologiche	6	91,7	3,11	1,50	4,44	6,99
MED/29 - Chirurgia maxillofaciale	6	18,9	2,72	0,80	5,43	4,89
MED/30 - Malattie apparato visivo	6	76,0	3,50	4,32	6,13	10,55
MED/31 - Otorinolaringoiatria	6	56,7	0,00	0,86	3,96	3,65
MED/32 - Audiologia	6	14,7	3,46	1,25	6,91	3,98
MED/42 - Igiene generale e applicata	6	86,2	4,60	4,46	5,17	12,17
MED/43 - Medicina legale	6	76,5	1,63	1,61	4,89	4,33
MED/44 - Medicina del lavoro	6	53,0	4,31	4,90	5,74	12,78
MED/47 - Scienze infermieristiche ostetrico-ginecologiche	6	0,0	0,00	4,91	0,00	8,62
AGR/02 - Agronomia e coltivazioni erbacee	7	63,6	3,44	3,62	4,58	13,39
AGR/09 - Meccanica agraria	7	33,6	2,04	4,29	2,04	11,25
AGR/18 - Nutrizione e alimentazione animale	7	36,4	3,86	1,91	1,93	4,93
AGR/19 - Zootecnica speciale	7	56,2	2,65	2,93	3,98	8,72
VET/03 - Patologia generale e anatomia patologica veterinaria	7	32,3	0,00	1,23	6,33	4,12
VET/07 - Farmacologia e tossicologia veterinaria	7	12,4	0,00	1,67	4,19	4,24
VET/08 - Clinica medica veterinaria	7	45,2	0,00	0,18	5,03	4,00

SSD	ADU*	Dimensione (percentile)	FSS _{TS(5%)}	FSS _{TS(10%)}	FSS _{FHCA(5%)}	FSS _{FHCA(10%)}
VET/09 - Clinica chirurgica veterinaria	7	35,5	0,00	0,54	5,99	2,27
VET/10 - Clinica ostetrica e ginecologia veterinaria	7	21,7	0,00	0,43	0,00	1,92
ICAR/01 - Idraulica	8	57,6	0,00	5,64	3,91	14,95
ICAR/07 - Geotecnica	8	59,4	1,23	3,32	3,70	11,02
ING-IND/02 - Costruzioni e impianti navali e marini	9	2,8	0,00	1,71	0,00	4,10
ING-IND/03 - Meccanica del volo	9	6,5	0,00	1,77	0,00	5,87
ING-IND/20 - Misure e strumentazione nucleari	9	0,9	0,00	1,61	0,00	1,91
ING-IND/28 - Ingegneria e sicurezza degli scavi	9	6,0	0,00	3,51	0,00	5,92
ING-IND/30 - Idrocarburi e fluidi del sottosuolo	9	0,5	0,00	0,00	0,00	0,00
M-EDF/01 - Metodi e didattiche delle attività motorie	11	29,0	4,69	5,25	4,69	10,22
SECS-P/01 - Economia politica	13	97,2	2,90	3,54	3,14	7,77
SECS-P/02 - Politica economica	13	89,9	1,53	4,40	1,53	9,11
SECS-P/03 - Scienza delle finanze	13	71,4	1,99	2,29	0,99	4,70
SECS-P/04 - Storia del pensiero economico	13	9,7	0,00	0,97	0,00	1,36
SECS-P/07 - Economia aziendale	13	96,8	0,98	3,70	1,72	7,50
SECS-P/10 - Organizzazione aziendale	13	61,8	0,00	5,07	3,49	11,67
SECS-P/11 - Economia degli intermediari finanziari	13	80,2	0,74	2,10	2,95	5,98
SECS-S/01 - Statistica	13	91,2	1,35	2,38	4,96	6,70
SECS-S/03 - Statistica economica	13	61,3	1,17	3,37	1,17	8,43
SECS-S/05 - Statistica sociale	13	24,0	2,55	4,65	2,55	9,86
SECS-S/06 - Metodi matematici dell'economia e delle scienze attuariali e finanziarie	13	92,6	0,86	1,71	2,16	4,09

* ADU 1, Scienze matematiche e informatiche; 2, Scienze fisiche; 3, Scienze chimiche; 4, Scienze della terra; 5, Scienze biologiche; 6, Scienze mediche; 7, Scienze agrarie e veterinarie; 8, Ingegneria civile e architettura; 9, Ingegneria industriale e dell'informazione; 10, Scienze psicologiche e pedagogiche; 11, Scienze economiche e statistiche.

Nota: $Ts_{(5\%)}$ e $Ts_{(10\%)}$ sono ricercatori che hanno prodotto un numero di pubblicazioni, rispettivamente nel top 5% e 10% per citazioni, superiore ad una certa soglia. $FSS_{TS(5\%)}$ e $FSS_{TS(10\%)}$ sono il numero medio annuo rispettivamente di $Ts_{(5\%)}$ e $Ts_{(10\%)}$ per unità di spesa della ricerca nel settore scientifico disciplinare di afferenza.

$FSS_{FHCA(5\%)}$ e $FSS_{FHCA(10\%)}$ sono il numero medio annuo di contributi alle pubblicazioni, rispettivamente nel top 5% e 10% per citazioni, per unità di spesa della ricerca nel settore scientifico disciplinare.

Tabella 2.9 - Primi 10 SSD e ultimi 10 SSD per posizione di classifica media secondo i quattro indicatori di Forza Scientifica Frazionaria considerati, e dimensione relativa (rango percentile, 100 = top)

SSD*	ADU	Dimen. (perc.)	FSS _{TS(5%)}		FSS _{FHCA(5%)}		FSS _{TS(10%)}		FSS _{FHCA(10%)}		Posizione media
			valore	posizione	valore	posizione	valore	posizione	valore	posizione	
MED/15	6	72,4	15,50	3	23,19	2	17,44	4	40,28	2	3
AGR/08	7	19,4	19,01	1	13,98	18	19,01	3	29,17	19	10
MED/04	6	93,5	11,14	19	14,61	15	13,36	21	30,91	13	17
ING-IND/16	9	64,1	12,43	13	15,81	11	14,69	14	27,07	31	17
ING-IND/22	9	79,7	14,53	7	11,94	36	16,06	11	27,19	29	21
M-PSI/02	11	57,1	10,50	23	16,05	10	10,50	44	36,26	7	21
MED/12	6	63,1	12,63	12	13,24	26	13,78	18	26,72	34	22
MED/39	6	34,1	8,13	45	13,80	19	16,27	9	28,10	23	24
FIS/05	2	62,7	8,07	49	20,44	4	10,38	46	38,84	5	26
ING-IND/34	9	30,0	11,16	18	13,09	29	11,16	41	29,26	18	26
...											
MED/31	6	56,7	0,00	183	0,86	209	3,96	164	3,65	204	190
ING-IND/02	9	2,8	0,00	183	1,71	190	0,00	196	4,10	198	192
MAT/04	1	29,5	0,00	183	0,00	217	2,30	178	2,91	208	196
ING-IND/20	9	0,9	0,00	183	1,61	198	0,00	196	1,91	213	197
MED/20	6	15,2	0,00	183	0,71	211	0,00	196	3,77	202	198
MAT/03	1	90,8	0,91	180	0,86	208	0,91	195	2,50	210	198
MAT/02	1	65,0	1,11	177	0,64	212	1,11	193	1,36	215	199
SECS-P/04	13	9,7	0,00	183	0,97	206	0,00	196	1,36	214	200
VET/10	7	21,7	0,00	183	0,43	214	0,00	196	1,92	212	201
ING-IND/30	9	0,5	0,00	183	0,00	217	0,00	196	0,00	218	203

*MED/15 - Malattie del sangue; AGR/08 - Idraulica agraria e sistemazioni idraulico-forestali; MED/04 - Patologia generale; ING-IND/16 - Tecnologie e sistemi di lavorazione; ING-IND/22 - Scienza e tecnologia dei materiali; M-PSI/02 - Psicobiologia e psicologia fisiologica; MED/12 - Gastroenterologia; MED/39 - Neuropsichiatria infantile; FIS/05 - Astronomia e astrofisica; ING-IND/34 - Bioingegneria industriale; MED/31 - Otorinolaringoiatria; ING-IND/02 - Costruzioni e impianti navali e marini; MAT/04 - Matematiche complementari; ING-IND/20 - Misure e strumentazione nucleari; MED/20 - Chirurgia pediatrica e infantile; MAT/03 - Geometria; MAT/02 - Algebra; SECS-P/04 - Storia del pensiero economico; VET/10 - Clinica ostetrica e ginecologia veterinaria; ING-IND/30 - Idrocarburi e fluidi del sottosuolo.

Nota: $TSS_{(5\%)}$ e $TSS_{(10\%)}$ sono ricercatori che hanno prodotto un numero di pubblicazioni, rispettivamente nel top 5% e 10% per citazioni, superiore ad una certa soglia. $FSS_{TS(5\%)}$ e $FSS_{TS(10\%)}$ sono il numero medio annuo rispettivamente di $TSS_{(5\%)}$ e $TSS_{(10\%)}$ per unità di spesa della ricerca nel settore scientifico disciplinare di afferenza.

$FSS_{FHCA(5\%)}$ e $FSS_{FHCA(10\%)}$ sono il numero medio annuo di contributi alle pubblicazioni, rispettivamente nel top 5% e 10% per citazioni, per unità di spesa della ricerca nel settore scientifico disciplinare.

2.5 - Una discussione dei risultati conseguiti

La capacità di produrre avanzamenti di conoscenza ad altissimo impatto sulla comunità scientifica è un tratto distintivo dell'eccellenza di ricerca. In questo capitolo abbiamo cercato di quantificare questi avanzamenti di conoscenza tramite una misura empirica specifica, ossia le pubblicazioni che ricadono tra le top mondiali per numero di citazioni. A parità di risorse impiegate, quanto più numerosa è questa tipologia di avanzamenti in un settore e il numero di ricercatori in grado di produrli, tanto più quel settore può essere considerato un punto di forza del sistema ricerca paese. Gli indicatori bibliometrici proposti in questo lavoro cercano di misurare queste due dimensioni strettamente connesse dell'eccellenza. L'applicazione degli indicatori al sistema della ricerca accademica italiana ha consentito d'individuare i punti di forza e di debolezza a livello di settore scientifico e di area disciplinare. A settori di forza in Scienze fisiche e Scienze mediche si affiancano settori di debolezza in Scienze matematiche e informatiche e in Scienze economiche e statistiche. Una certa disomogeneità è emersa per Ingegneria industriale e dell'informazione che presenta sia settori di forza sia di debolezza.

L'utilizzo dei risultati che scaturiscono da analisi strategiche quali quelle condotte è duplice. Da una parte esse sono in grado di ispirare le politiche di ricerca (e industriale), dall'altra permettono di valutare l'efficacia delle eventuali azioni e incentivi adottati per orientare le attività di ricerca. Il prossimo Programma Nazionale per la Ricerca 2020-2025, attualmente in fase di elaborazione in Italia, potrebbe trarre notevole beneficio dai risultati dell'analisi strategica condotta: quali tra i settori di debolezza sono ritenuti strategici ai fini della competitività del sistema paese e dello sviluppo socio-economico di medio-lungo termine? E quali tra i settori di forza non lo sono? C'è allineamento tra settori scientifici di eccellenza e settori industriali di eccellenza del paese, prefigurando un sostegno dei primi ai secondi, attraverso il trasferimento di conoscenze e la formazione di forza lavoro specializzata? In breve, l'offerta di conoscenza da parte delle università è allineata alla relativa domanda del settore produttivo? Inoltre, qual è la quota di mercato mondiale (produzione scientifica) del paese nei settori forti e in quelli deboli. Sta rispettivamente crescendo o diminuendo? E le altre nazioni afferenti al medesimo gruppo competitivo stanno investendo o disinvestendo nei settori in cui il paese è forte/debole?

La risposta a domande di questo tipo permette di formulare politiche di ricerca fondate sui dati (informate) e priorità di intervento. La metodologia proposta per individuare i punti di forza e debolezza scientifica di un paese permette di evitare le distorsioni legate alla scala delle metodologie tradizionali, quali quelle che misurano la quota di articoli di un paese, citazioni o articoli altamente citati relativi al totale mondiale, senza tener conto di quale sia la dimensione delle risorse impiegate per generare quei risultati. Inoltre, gli accorgimenti adottati per controllare la diversa intensità di pubblicazione e collaborazione tra settori, e la possibilità di differenziare la soglia utilizzata per identificare gli HCA, dovrebbero garantire una sostanziale affidabilità del metodo.

Naturalmente, rimangono tutti i limiti e le approssimazioni connaturati nelle analisi bibliometriche, considerando che:

- i. le pubblicazioni non sono rappresentative di tutta la conoscenza prodotta;
- ii. i repertori bibliografici non sono esaustivi (non censiscono tutte le pubblicazioni prodotte);
- iii. le citazioni non sono sempre positive, attestazione dell'effettivo impiego delle conoscenze codificate nelle pubblicazioni citate, e rappresentative della totalità degli usi;
- iv. i risultati sono sensibili al sistema di classificazione dei settori di afferenza dei ricercatori e alle convenzioni adottate, come ad esempio la definizione di top scientist.

Riferimenti bibliografici

- Abramo, G., Aksnes, D.G. e D'Angelo, C.A. 2019. Comparison of research productivity of Italian and Norwegian professors and universities. *Working paper*, <https://arxiv.org/abs/1907.02043>, ultimo accesso 27 Luglio, 2019.
- Abramo, G., D'Angelo, C.A. e Reale, E. 2019. Peer review vs bibliometrics: which method better predicts the scholarly impact of publications? *Scientometrics*, DOI: 10.1007/s11192-019-03184-y
- Abramo, G. 2018. Revisiting the scientometric conceptualization of impact and its measurement. *Journal of Informetrics*, 12(3), 590-597.
- Abramo, G. e D'Angelo, C.A. 2016a. A farewell to the MNCS and like size-independent indicators. *Journal of Informetrics*. 10(2), 646-651.
- Abramo, G. e D'Angelo, C.A. 2016b. A farewell to the MNCS and like size-independent indicators: Rejoinder. *Journal of Informetrics*. 10(2), 679-683.
- Abramo, G. e D'Angelo, C.A. 2014. Assessing national strengths and weaknesses in research fields. *Journal of Informetrics*, 8(3), 766-775.
- Abramo, G. e D'Angelo, C.A. 2014. How do you define and measure research productivity? *Scientometrics*, 101(2), 1129-1144.
- Abramo, G., Cicero, T. e D'Angelo, C.A. 2013. Individual research performance: a proposal for comparing apples to oranges. *Journal of Informetrics*, 7(2), 528-539.
- Abramo, G., D'Angelo, C.A. e Murgia, G. 2013. The collaboration behaviors of scientists in Italy: a field level analysis. *Journal of Informetrics*, 7(2), 442-454.
- Abramo, G., D'Angelo, C.A. e Cicero, T. 2012. What is the appropriate length of the publication period over which to assess research performance? *Scientometrics*, 93(3), 1005-1017.
- Abramo, G. e D'Angelo, C.A. 2007. Measuring science: Irresistible temptations, easy shortcuts and dangerous consequences. *Current Science*, 93(6), 762-766.

- Adams, J. (1998). Benchmarking international research. *Nature*, 396, 615–618.
- Boaz, A. e Ashby, D. 2003. *Fit for purpose? Assessing research quality for evidence based policy and practice*. Retrieved from ESRC UK Centre for Evidence Based Policy and Practice, <http://www.kcl.ac.uk/sspp/departments/politicaeconomy/research/cep/pubs/papers/assets/wp11.pdf>, ultimo accesso 27 Luglio, 2019.
- Bornmann, L. e Leydesdorff, L. 2011. Which cities produce more excellent papers than can be expected? A new mapping approach—using Google Maps—based on statistical significance testing. *Journal of the American Society of Information Science and Technology*, 62(10), 1954-1962.
- Bornmann, L., Leydesdorff, L., Walch-Solimena, C. e Ettl, C. 2011. Mapping excellence in the geography of science: an approach based on Scopus data. *Journal of Informetrics*, 5(4), 537-546.
- D'Angelo, C.A. e Abramo, G. 2015. Publication rates in 192 research fields. In A. Salah, Y. Tonta, A.A.A. Salah, C. Sugimoto (Eds) *Proceedings of the 15th International Society of Scientometrics and Informetrics Conference - (ISSI 2015)* (pp. 909-919). Istanbul: Bogazici University Printhouse.
- D'Angelo, C.A., Giuffrida, C. e Abramo, G. 2011. A heuristic approach to author name disambiguation in bibliometrics databases for large-scale research assessments. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(2), 257-269.
- Glänzel, W. e Schubert, A. 1988. Characteristic scores and scales in assessing citation impact. *Journal of Information Science*, 14(2), 123-127.
- Grant, J., Brutscher, P.C., Kirk, S. E., Butler, L. e Wooding, S. 2010. *Capturing Research Impacts: A review of international practice*. Cambridge, UK: Rand Europe.
- Hauser, J.R. e Zettelmeyer, F. 1997. Metric to evaluate R, D & E. *Research Technology Management*, 40(4), 32-38.
- King, D.A. 2004. The scientific impact of nations - What different countries get for their research spending. *Nature*, 430, 311–316.

- Martin, B.R. e Irvine, J. 1983. Assessing basic research: some partial indicators of scientific progress in radio astronomy. *Research Policy*, 12(2), 61-90.
- May, R.M. 1997. The scientific wealth of nations. *Science*, 275(5301), 793-796.
- OECD-Organisation for Economic Co-operation and Development, 1997. *The Evaluation of Scientific Research: Selected Experiences*. Paris: OECD.
- Pislyakov, V. e Shukshina, E. 2012. Measuring Excellence in Russia: Highly Cited Papers, Leading Institutions, Patterns of National and International Collaboration. *17th International Conference on Science and Technology Indicators (STI)*, 5-8 September, 2012 in Montreal, Quebec, Canada.
- Tijssen, R.J.W. 2003. Scoreboards of research excellence. *Research Evaluation*, 12 (2), 91-103.
- Tijssen, R.J.W., Visser, M.S. e Van Leeuwen, T.N. 2002. Benchmarking international scientific excellence: Are highly cited research papers an appropriate frame of reference? *Scientometrics*, 54(3), 381-97.
- Werner, B.M. e Souder, W.E. 1997. Measuring R&D performance – state of the art. *Research Technology Management*, 40(2), 34-42.

