

Le tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili in Toscana: prime evidenze da una analisi delle pubblicazioni scientifiche.

Simone Bertini¹, Paolo Chini¹

Lo scopo di questo articolo è di realizzare, a partire dall'analisi delle pubblicazioni scientifiche, un primo quadro delle attività di ricerca riconducibili al tema della produzione di energia da fonti rinnovabili e sulle metodologie, tecnologie e applicazioni connesse realizzate da parte di soggetti che operano in Toscana. Si tratta di un ambito di ricerca che nel corso degli anni appare destinato a una sempre maggiore attenzione da parte della collettività in generale, del sistema produttivo e del sistema della progettazione, sperimentazione ed analisi di politiche pubbliche. La programmazione dei fondi strutturali di prossima attuazione, così come il Next Generation Europe e quindi il Recovery Plan, sono orientati al sostegno nella transizione verso sistemi tecnico-produttivi e socioeconomici differenti dal passato, seguendo direttrici strategiche ed operative orientate ad *“accelerate the twin green and digital transitions”*². Un elemento cardine della transizione verde è costituito dal passaggio a una produzione di energia sempre più indipendente dalle fonti fossili.

Per capire come i soggetti della ricerca toscana operano sul tema, si è fatto riferimento alle pubblicazioni scientifiche, che rappresentano la principale forma di comunicazione attraverso la quale i singoli ricercatori o i gruppi di ricerca rendono pubblici i metodi ed i risultati dei propri lavori. Le pubblicazioni sono state estratte dalla piattaforma Web of Science di Clarivate avvalendosi fra l'altro di Incites uno strumento di ricerca e approfondimento (sempre sviluppato da Clarivate), che consente di realizzare analisi comparative tra gruppi selezionati di pubblicazioni.

Per individuare l'insieme di pubblicazioni oggetto di indagine, ovvero gli articoli scientifici riferibili al tema della produzione di energia da fonti rinnovabili è stata impostata una ricerca (all'interno del Web of Science Core Collection) che ha come elemento centrale le combinazioni di una selezione di parole chiave contenute in un vocabolario validato e pubblicamente accessibile sviluppato da Siris Academics³ nell'ambito del Sustainable Development Goal 7 - Garantire a tutti l'accesso a servizi energetici economici, affidabili, sostenibili e moderni⁴.

L'elenco delle parole chiave selezionate e utilizzate in combinazione per definire l'oggetto di analisi sono le seguenti: agrivoltaic, alternative energy, bioenergy, biofuel, biogas, biogasoline, clean energy, clean fuel, geothermal energy, geothermal heating, geothermal power, green energy, hybrid power, hydrogen fuel, hydrogen station, hydrogen technologies, fotovoltaic power, fotovoltaic system, renewable electricity, renewable energy, renewable fuels, renewable generation, renewable power, renewable sources, solar cell, solar charger, solar energy, solar panel, solar power, sustainable energy, sustainable power, thermophotovoltaic, tidal energy, wave energy, wave power, wind energy, wind farm, wind farms, wind generation, wind power, wood energy.

Tra le forme di pubblicazione disponibili, sono stati selezionati i soli articoli pubblicati su riviste scientifiche, escludendo quindi le relazioni pubblicate all'interno degli atti dei convegni, i libri (monografie scientifiche) o capitoli di libri. Il periodo considerato è quello dell'ultimo quinquennio 2016-2020.

Attraverso Web of Science sono stati estratti 130.725 papers a livello mondiale, fra questi 5.268 papers vedono la partecipazione di almeno un autore appartenente ad un'organizzazione con sede in Italia. Applicando il filtro “NUTS2 = Toscana” di InCites, sono stati individuati 513 papers nei quali almeno uno degli autori appartiene ad un'organizzazione con sede in Toscana.

Dopo aver selezionato alcuni indicatori presenti in InCites e disponibili per il download, i 3 gruppi di papers sono stati esportati e analizzati in ambiente SQL (Structure Query Language) per effettuare analisi aggiuntive.

¹ IRPET – Istituto Regionale per la Programmazione Economica della Toscana

² Communication from the European Commission, Adjusted Commission Work Programme 2020, 27-5

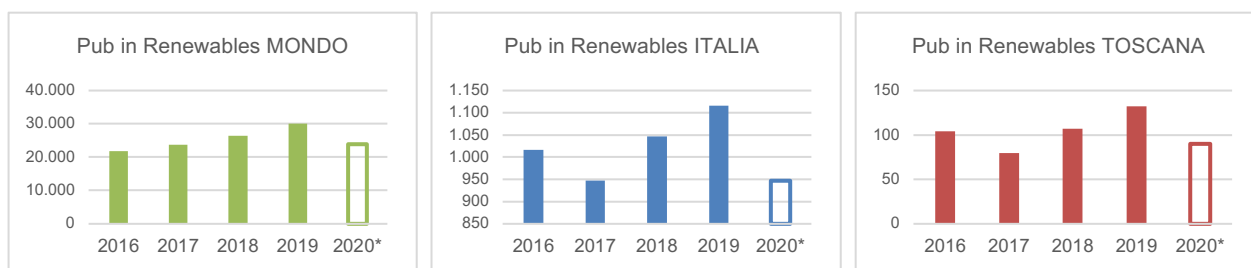
³ SIRIS Academic SL è una società di analisi e consulenza sui temi dell'istruzione superiore, la ricerca e l'innovazione

⁴ Il vocabolario completo per SDG7 è disponibile all'indirizzo <https://zenodo.org/record/3567769#.X8dptc1KhPZ>.

Negli ultimi 5 anni, dal 2016 al 2020, secondo la fonte dati utilizzata sono stati pubblicati a livello mondiale circa 3 milioni di articoli scientifici all'anno; nei dati che saranno esposti e commentati di seguito si riporta anche il 2020, anche se per l'anno in corso i dati sono necessariamente parziali e provvisori. In Italia le pubblicazioni sono state circa 120 mila all'anno; in Toscana circa 15 mila. Per ciascuno dei tre riferimenti territoriali considerati, le pubblicazioni risultano in crescita nel tempo, con l'ovvia eccezione dell'ultimo anno.

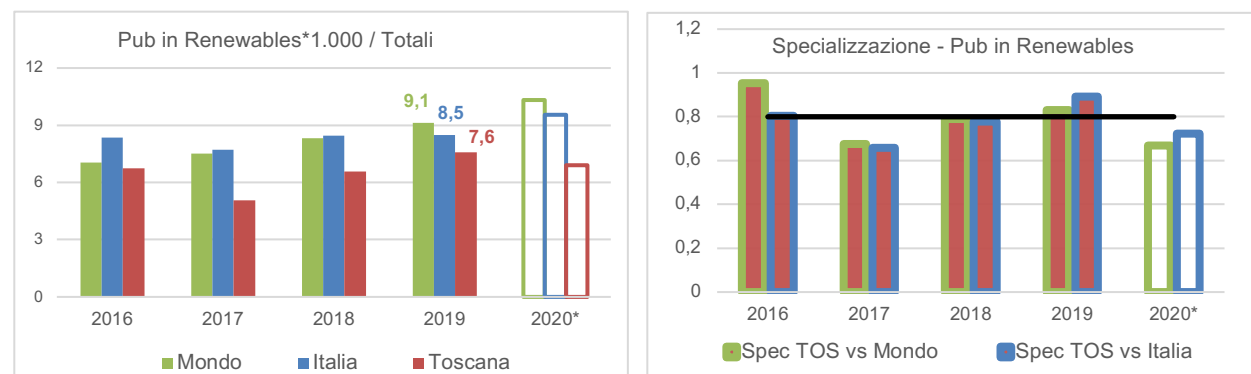


E la dinamica crescente si verifica anche per il numero di pubblicazioni mondiali attinenti al tema della produzione di energia da fonti rinnovabili. Per l'Italia e per la Toscana invece la dinamica crescente parte dal 2017, che fa registrare un valore più basso rispetto al 2016.



Essendo, come detto, il 2020 un anno i cui valori sono ancora provvisori e in aggiornamento, il valore più alto del numero delle pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili si registra per il 2019, anno in cui nel mondo sono stati pubblicati circa 30 mila articoli, oltre 1.100 in Italia, di cui 132 in Toscana.

Il numero di pubblicazioni attinenti al tema della produzione di energia da fonti rinnovabili rappresenta in Toscana il 7,6% del totale delle pubblicazioni; la stessa quota vale 8,5 punti percentuali per l'Italia e 9,1 a livello internazionale.

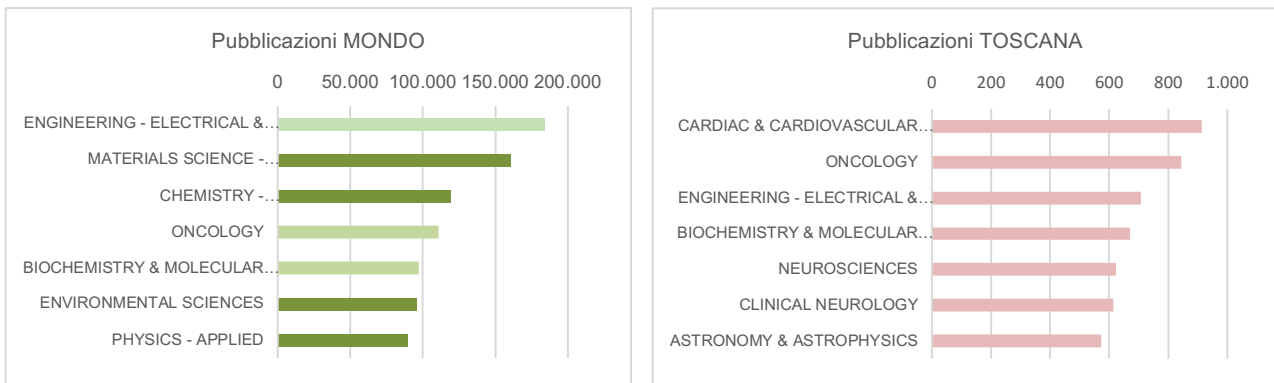


La Toscana non risulta quindi specializzata nella realizzazione di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili, né rispetto all'Italia, né rispetto alle pubblicazioni realizzate a livello mondiale. L'indice di specializzazione, tuttavia, nel corso degli ultimi anni sembra avvicinarsi a quota 1: la percentuale di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili

registrata in Toscana si sta via via avvicinando alla percentuale di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili registrata in Italia e a livello mondiale.

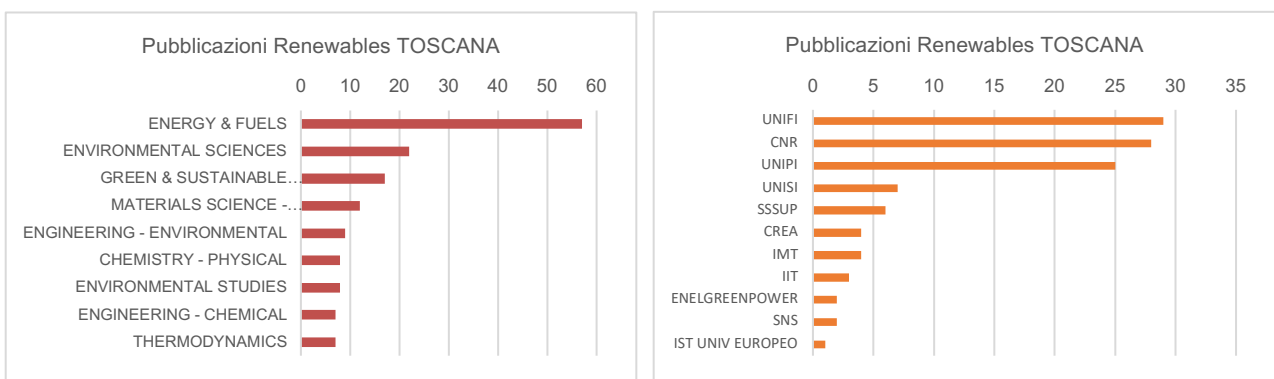
Le differenze in termini di specializzazione emergono maggiormente se, invece di considerare un indice sintetico di specializzazione in pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili, si vanno ad esaminare nel dettaglio le aree di ricerca alle quali possono essere riferite le pubblicazioni realizzate nel 2019 per area territoriale.

Passando a questo livello di analisi occorre ricordare che, dato che ciascuna delle pubblicazioni può essere associata a una o più aree di ricerca, il numero totale delle pubblicazioni risulterà minore della somma del numero di pubblicazioni associate a ciascuna delle aree di ricerca.



Considerando le principali aree di ricerca per numero di pubblicazioni e numero di citazioni, nel caso delle pubblicazioni a livello internazionale, quattro delle sette aree alle quali possono essere ricondotte le singole pubblicazioni sono anche riconducibili al tema della produzione di energia da fonti rinnovabili. Per la Toscana, invece, nessuna delle aree di ricerca principali è riferita a pubblicazioni riconducibili al tema della produzione di energia da fonti rinnovabili: la specializzazione evidente è in pubblicazioni che possono essere ricondotte al tema della salute e più in generale alle scienze della vita.

L'area di ricerca alla quale può essere associato il più alto numero di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzate in Toscana è quello dell'Energy & fuels; il numero di pubblicazioni, sempre sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili, associabili alle altre aree di ricerca risulta molto inferiore.



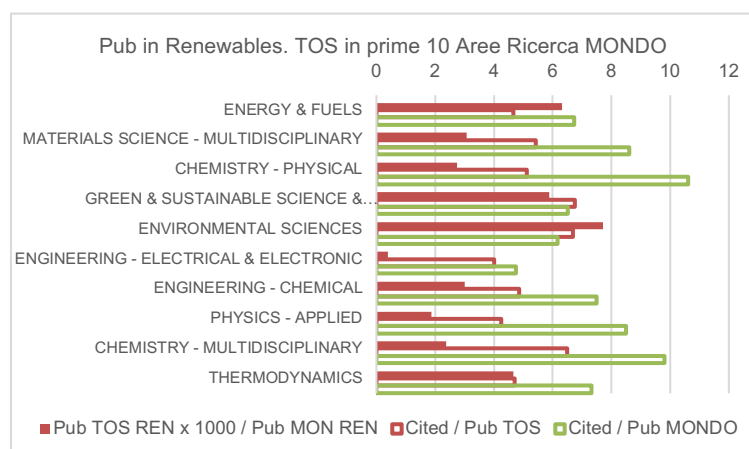
Come detto a proposito delle aree di ricerca, ciascuna pubblicazione può essere realizzata in collaborazione da autori che afferiscono a differenti organismi di ricerca, per cui la stessa pubblicazione può essere associata a più Università o Enti di Ricerca. Gli organismi di ricerca che più partecipano alla realizzazione di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili sono l'Università di Firenze, l'Università di Pisa e il CNR.

Prendendo come riferimento le pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili alle quali nel 2018 ha partecipato almeno un autore afferente a un soggetto di ricerca toscano, è possibile rappresentare la distribuzione per area di ricerca e soggetto di ricerca. Chiaramente, come già evidenziato, ciascuna pubblicazione può essere associata a più aree di ricerca e a più soggetti di ricerca.

Fatto 100 il numero delle associazioni delle pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzate in Toscana per soggetto di ricerca e area di ricerca, circa un terzo può essere riferito alle pubblicazioni riferibili alle aree Energy and Fuels, Green and Sustainable Science and Technology, Environmental Sciences e Materials Science Multidisciplinary e a cui ha partecipato almeno un autore afferente al CNR o a una delle tre Università di Firenze, Pisa e Siena.

	CNR	UNIFI	UNIFI	UNISI	SSSUP	IIT	CREA	SNS	ENELGREENPOWER	IMT	ISTI_UNIV_EUROPEO	Altri Soggetti	Totale Pub_Ren
Energy and Fuels	6,0	5,0	5,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,9		0,5	1,4	21,1
Green and Sustainable Science and Technology	1,8	1,4	1,4	1,4	0,5		0,5		0,5			1,4	8,7
Environmental Sciences	1,4	2,3	0,5	1,8	0,5		0,5				0,5	0,5	7,8
Materials Science Multidisciplinary	1,8	0,5	0,9		0,5	1,4		0,5				0,5	6,0
Chemistry Physical	1,8	0,9	1,4			0,9		0,5				0,5	6,0
Engineering Environmental	0,9	1,8	0,5	1,4	0,5		0,5						5,5
Engineering Chemical	1,4	0,9	2,3		0,5							0,5	5,5
Engineering Electrical and Electronic	0,5		1,8	0,5					0,5	0,5		1,4	5,0
Nanoscience and Nanotechnology	1,8		0,9			0,9		0,5				0,5	5,0
Biotechnology and Applied Microbiology	1,4	1,8	0,5				0,5					0,5	4,6
Forestry	0,9	0,9					0,5					0,5	2,8
Agricultural Engineering	1,4	0,5					0,5					0,5	2,8
Chemistry Multidisciplinary	0,9					0,5		0,5					2,3
Engineering Mechanical		0,9	0,5		0,5								1,8
Mechanics		0,9			0,5					0,5			1,8
Multidisciplinary Sciences	0,5			0,5						0,9			1,8
Thermodynamics		1,4	0,5										1,8
Environmental Studies		0,5					0,5	0,5			0,5		1,8
Physics Applied	0,5	0,5										0,5	1,4
Altre aree di ricerca	0,5	1,8	2,8		0,9							0,5	6,4
Totale Pub_Ren	23,4	22,0	19,3	6,0	4,6	4,1	3,7	2,3	1,8	1,8	1,4	8,7	100

Se da un criterio di mero conteggio del numero di pubblicazioni si passa a considerare anche alcuni primi indicatori di qualità delle pubblicazioni realizzate, si possono notare aree di ricerca associate a pubblicazioni sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili in cui la Toscana sembra avere un ruolo più importante. È il caso delle aree di ricerca per le quali, per esempio, il numero medio di citazioni per pubblicazione sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzata in Toscana supera il numero medio di citazioni per pubblicazione sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzata a livello internazionale.



In questi casi, nel grafico riportato sopra la barra contornata in rosso supera la barra contornata in verde e mette in evidenza la buona qualità delle pubblicazioni riconducibili alle Green & sustainable science & technology e alle Environmental sciences. In queste aree le pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzate dai soggetti della ricerca toscana, sebbene rappresentino

rispettivamente solo il 6 per mille e l'8 per mille del numero di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzate a livello internazionale nelle stesse aree, sembrano mostrare buone caratteristiche di qualità. Non altrettanto si può dire dell'area che può essere associata al maggior numero delle pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili, ovvero l'area Energy and fuels.

Nel complesso, le pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzate in Toscana mostrano negli ultimi anni indicatori di qualità buoni, come mostrato nella tabella sotto⁵.

Publicazioni Renewables Toscana	2016	2017	2018	2019	2020*	2016-2020
Documents in Q1 Journals	66	48	68	73		255
Documents in JIF Journals	93	77	97	120		387
% Documents in Q1 Journals	71,0	62,3	70,1	60,8		65,9
Documents in Top 10%	14	16	18	15	16	79
Web of Science Documents	104	80	107	132	90	513
% Documents in Top 10%	13,5	20,0	16,8	11,4	17,8	15,4
% Industry Collaborations	3,8	6,3	4,7	2,3	2,2	3,7
% International Collaborations	46,2	43,8	49,5	49,2	52,2	48,3

Sia con riferimento alla percentuale di pubblicazioni presenti in riviste che per Impact Factor si collocano nel primo quartile, sia con riferimento al primo decile delle pubblicazioni per numero di citazioni, sia con riferimento alla quota di pubblicazioni alle quali ha collaborato anche un'impresa, sia con riferimento alla quota di collaborazioni internazionali, i valori mostrati dal complesso delle pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzate in Toscana mostrano valori (riportati nella tabella seguente) generalmente superiori al totale delle pubblicazioni alle quali ha partecipato almeno un autore afferente a un soggetto di ricerca toscano.

Publicazioni Toscana	2016	2017	2018	2019	2020*	2016-2020
Documents in Q1 Journals	6.682	6.600	6.839	7.516		27.637
Documents in JIF Journals	11.737	12.060	12.667	14.413		50.877
% Documents in Q1 Journals	56,9	54,7	54,0	52,1		54,3
Documents in Top 10%	2.342	2.310	2.468	2.303	1.542	10.965
Web of Science Documents	15.460	15.813	16.265	17.446	13.036	78.020
% Documents in Top 10%	15,1	14,6	15,2	13,2	11,8	14,1
% Industry Collaborations	4,2	3,5	3,4	3,4	2,5	3,4
% International Collaborations	45,8	45,2	48,0	48,4	49,2	47,3

Per quanto le considerazioni espresse siano mediamente valide per l'ultimo quinquennio, entrando nel dettaglio delle singole annualità il generale giudizio positivo sulla qualità delle pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili deve essere attenuato. Per tutti gli anni la percentuale di pubblicazioni che compaiono nel primo quartile delle riviste per Impact Factor risulta maggiore per le pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili rispetto al totale delle pubblicazioni. Per gli altri indicatori si nota generalmente una migliore performance delle pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili in relazione agli anni 2017-2018, ma non in relazione al 2016 e 2019.

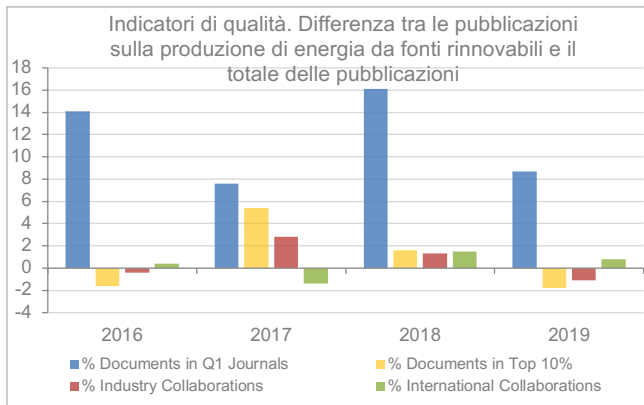
Con riferimento alla percentuale di pubblicazioni che hanno almeno un coautore afferente a una Università, a un Ente di Ricerca o a un'impresa che hanno la propria sede all'estero la prestazione delle pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili risulta migliore di quella del totale delle pubblicazioni per tutti gli anni, con la sola esclusione del 2017.

⁵ Legenda degli indicatori riportati in grassetto: % Documents in Q1 Journals: Percentuale di pubblicazioni che compaiono nel primo quartile delle riviste ordinate per Impact Factor. L'Impact Factor viene stimato per una parte consistente delle riviste, ma non per tutte. Mediamente, nel periodo 2016-2019, le riviste per le quali viene stimato un Impact Factor rappresentano il 94% del totale delle riviste;

% Documents in Top 10%: Percentuale di pubblicazioni contenute nel primo decile, sulla base del numero di citazioni per area di ricerca, anno e tipo di pubblicazione;

% Industry Collaborations: Percentuale di pubblicazioni che hanno un coautore riconducibile ad un'impresa;

% International Collaborations: Percentuale di pubblicazioni che hanno almeno un coautore afferente a una Università, a un Ente di Ricerca o a un'impresa che hanno la propria sede all'estero.



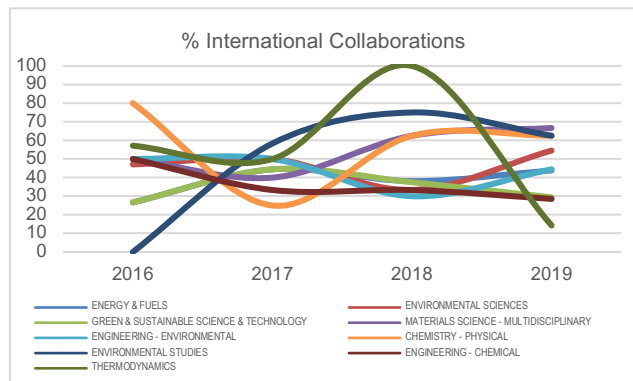
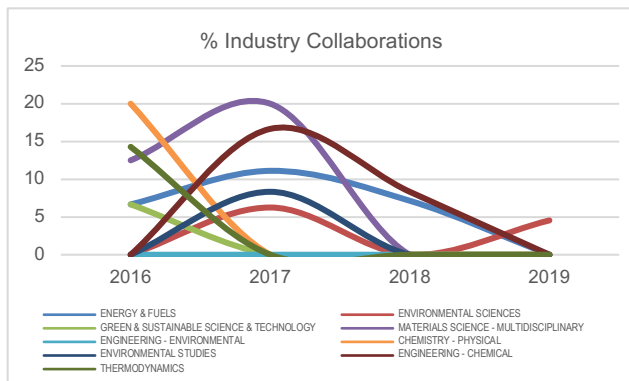
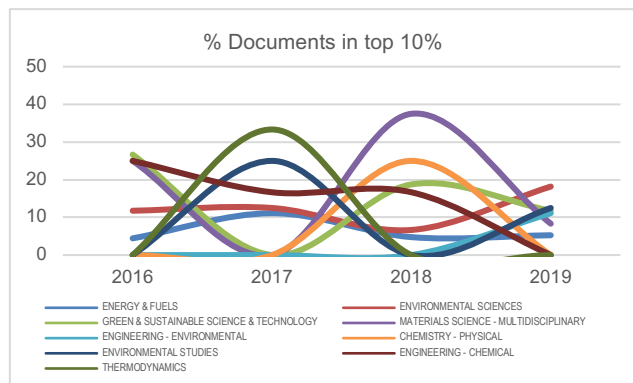
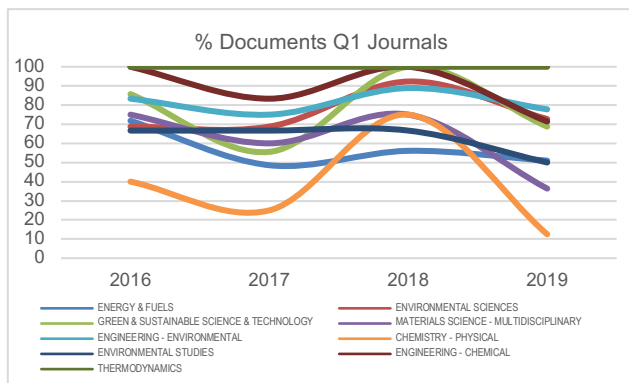
Se dalle pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili a livello aggregato proviamo a entrare nelle principali aree di ricerca a cui queste sono riferibili, si possono individuare alcuni elementi di particolare qualità, oltre ad altri di relativa criticità.

Il blocco dei grafici riportato sotto consente di seguire l'andamento delle pubblicazioni riferibili a ciascuna delle principali aree di ricerca appartenenti al tema della produzione di energia da fonti rinnovabili per ciascuno degli indicatori scelti.

Emergono alcuni elementi: riguardo alla quota di pubblicazioni nelle riviste Q1, oltre all'ottima prestazione delle pubblicazioni riconducibili anche all'area Thermodynamics (tutte nel primo quartile delle pubblicazioni JIF), si nota una sorta di polarizzazione: un gruppo di aree di ricerca si attesta su valori della quota di pubblicazioni nelle riviste Q1 intorno al 70% (Environmental sciences, Green & sustainable science & technology, Engineering – environmental, Engineering – chemical); il resto delle aree fa registrare valori intorno al 50% o inferiori, fino a raggiungere valori inferiori al valore soglia per il primo quartile.

Non sono molte le aree di ricerca che riescono a far segnare una permanenza della quota delle pubblicazioni che rientrano nel primo decile delle pubblicazioni più citate al di sopra del 10%, valore soglia per poter dare un giudizio positivo rispetto a questo indicatore. Appaiono generalmente positivi i risultati raggiunti nelle aree Environmental sciences, Green & sustainable science & technology, Engineering – chemical, mentre nelle altre aree si nota un processo di produzione di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili con caratteristiche di picchi e di maggiori discontinuità.

L'analisi dell'indicatore relativo alle Industry Collaborations mette in luce un generale calo nelle pubblicazioni realizzate attraverso collaborazioni con il sistema delle imprese. La considerazione è valida per tutte le principali aree di ricerca coinvolte nella realizzazione di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili, con la parziale eccezione dell'area Environmental Science che mantiene mediamente nel tempo la pur bassa quota di pubblicazioni con le imprese. Per quanto riguarda questo indicatore occorre a nostro avviso considerare anche la difficoltà nel mappare correttamente l'afferenza degli autori, soprattutto con riferimento alla individuazione del rapporto tra autore e impresa privata non soggetto di ricerca; questa difficoltà potrebbe in parte spiegare il fatto che nel 2018 si rilevano collaborazioni con il sistema delle imprese in due aree di ricerca e nel 2019 in una sola area.



Per la quota di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzate in collaborazione con autori afferenti a organismi di ricerca esteri il 2018 è stato un anno in cui le aree si sono divise in due blocchi, che si sono mantenuti sostanzialmente tali anche nell'anno successivo. Del blocco che fa registrare la maggiore quota di collaborazioni internazionali fanno parte Materials science–multidisciplinary, Chemistry–physical, Environmental studies, alle quali si avvicina anche l'area Environmental Sciences⁶.

In sintesi

- Il numero di pubblicazioni sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili rappresenta in Toscana il 7,6% del totale delle pubblicazioni.
- La Toscana non risulta specializzata nella realizzazione di pubblicazioni scientifiche sul tema, tuttavia l'indice di specializzazione nel corso degli ultimi anni risulta in crescita e la percentuale di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili registrata in Toscana si sta via via avvicinando alla percentuale di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili registrata in Italia e a livello mondiale.
- L'area di ricerca alla quale può essere associato il più alto numero di pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzate in Toscana è quello dell'Energy & fuels.
- Gli organismi di ricerca che più partecipano alla realizzazione di pubblicazioni scientifiche sul tema sono l'Università di Firenze, l'Università di Pisa e il CNR.
- Circa un terzo può essere riferito alle pubblicazioni riferibili alle aree Energy and Fuels, Green and Sustainable Science and Technology, Environmental Sciences e Materials Science-Multidisciplinary e a cui ha partecipato almeno un autore afferente al CNR o a una delle tre Università di Firenze, Pisa e Siena.

⁶ Per quanto apparentemente simili, le aree Environmental Science e Environmental Studies riguardano discipline tra loro distinte. L'area Environmental Sciences è un'area di ricerca orientata allo studio e all'approfondimento delle conoscenze scientifiche fondamentali in matematica, chimica, fisica e biologia finalizzate a una comprensione scientifica e quantitativa avanzata delle sfide ambientali contemporanee. L'area Environmental Studies è un'area di ricerca orientata alla allo studio e all'approfondimento degli aspetti sociali, politici e storici delle sfide ambientali contemporanee.

- Nel complesso le pubblicazioni scientifiche sul tema della produzione di energia da fonti rinnovabili realizzate in Toscana mostrano valori generalmente superiori a quelli relativi al totale delle pubblicazioni alle quali ha partecipato almeno un autore afferente a un soggetto di ricerca toscano per: i) percentuale di pubblicazioni presenti nel primo quartile delle pubblicazioni in riviste per le quali è stimato un Impact Factor; ii) primo decile delle pubblicazioni per numero di citazioni; iii) quota di pubblicazioni alle quali ha collaborato anche un'impresa; iv) quota di collaborazioni internazionali.
- La dinamica recente mostra alcune evidenze che mettono in risalto il trend positivo in alcune aree della ricerca, con riferimento a ciascuno degli indicatori utilizzati:
 - riguardo alla quota di pubblicazioni nelle riviste Q1, un gruppo di aree di ricerca si attesta su valori della quota di pubblicazioni nelle riviste Q1 intorno al 70% (Environmental sciences, Green & sustainable science & technology, Engineering – environmental, Engineering – chemical);
 - riguardo alle pubblicazioni top 10%, non sono molte le aree di ricerca che permangono in questa categoria negli ultimi anni: appaiono generalmente positivi i risultati raggiunti nelle aree Environmental sciences, Green & sustainable science & technology, Engineering – chemical;
 - riguardo alle Industry Collaborations si nota un generale calo nelle pubblicazioni realizzate attraverso collaborazioni con il sistema delle imprese, in parte dovuto alla difficoltà nel mappare correttamente l'afferenza degli autori, con la parziale eccezione dell'area Environmental Science;
 - riguardo alla quota di pubblicazioni realizzate in collaborazione con autori afferenti a organismi di ricerca esteri, le aree che fanno registrare la maggiore quota di collaborazioni internazionali sono Materials science–multidisciplinary, Chemistry–physical, Environmental studies, alle quali si avvicina anche l'area Environmental Sciences.