

Valutazione dello stato e del potenziale di sviluppo delle tecnologie energetiche nel percorso di decarbonizzazione dei sistemi produttivi e dei servizi

Elena De Luca, Alessandro Zini, Oscar Amerighi, Gaetano Coletta,
Maria Grazia Oteri, Laura Gaetana Giuffrida



ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Valutazione dello stato e del potenziale di sviluppo delle tecnologie energetiche nel percorso di decarbonizzazione dei sistemi produttivi e dei servizi

A cura di Elena De Luca

Autori

*Elena De Luca, Alessandro Zini, Oscar Amerighi, Gaetano Coletta,
Maria Grazia Oteri, Laura Gaetana Giuffrida*

2019 ENEA
Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia
e lo Sviluppo Economico Sostenibile

ISBN: 978-88-8286-388-3

Revisione editoriale: Giuliano Ghisu

Progetto grafico copertina e interni: Paola Carabotta

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA Frascati

Indice

Premessa	5
Nota introduttiva	7
1. Introduzione	9
2. Metodologia	14
<i>2.1 Schede di valutazione delle tecnologie</i>	14
<i>2.2 Analisi dei dati</i>	16
3. Risultati	18
<i>3.1 Potenziale di sviluppo tecnologico e coinvolgimento dell'industria italiana</i>	18
<i>3.2 Potenziale di mitigazione degli impatti sul clima</i>	23
<i>3.3 Potenziale di R&S in Italia</i>	26
<i>3.4 Potenziale di sviluppo del territorio nazionale</i>	30
4. Conclusioni	34
Bibliografia	37

Sommario

Nell'ambito del "Tavolo Tecnico sulla Decarbonizzazione dell'Economia", istituito dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri, è stato realizzato il "Catalogo delle tecnologie energetiche" che raccoglie 36 schede, redatte da esperti del settore, con informazioni di tipo quantitativo e qualitativo riguardanti le tre dimensioni fondamentali di un sistema energetico sostenibile: impatto ambientale, sicurezza energetica e competitività. Questo studio, condotto da un team multidisciplinare di ricercatori ENEA, prendendo spunto dalle informazioni e dai dati contenuti nel Catalogo, propone una metodologia di valutazione del potenziale di sviluppo delle tecnologie energetiche, considerando il loro impatto sul clima, le potenzialità in termini di R&S, la competitività delle imprese italiane e la loro diffusione e impatto sul territorio nazionale. A tal fine, determinati dati – TRL (*Technology Readiness Level*), emissioni di CO₂, sviluppatori ed Eccellenze – sono stati analizzati e integrati con informazioni sulla struttura del relativo sistema produttivo e dell'innovazione in Italia, caratterizzando le imprese attive nello sviluppo e nell'impiego di tali tecnologie censite per diffusione territoriale, classe dimensionale e di fatturato. Le imprese e i centri di eccellenza italiani sono coinvolti nello sviluppo di tecnologie con diversi gradi di maturità tecnologica e con diverse potenzialità di mitigazione degli effetti climateranti. La mappatura delle imprese e delle Eccellenze mostra tuttavia una distribuzione non sempre sovrapponibile con una presenza piuttosto disomogenea a livello territoriale. La metodologia seguita restituisce una preliminare descrizione del settore e consente di identificare alcuni elementi utili a elaborare misure di policy a supporto della diffusione delle tecnologie energetiche. Per potere effettuare una valutazione più completa finalizzata alla proposta di politiche che coniughino gli obiettivi della decarbonizzazione del nostro sistema energetico sostenendone, al tempo stesso, la competitività economica, è necessario ampliare la base informativa disponibile sui settori produttivi coinvolti proseguendo e valorizzando il lavoro di rete fra i principali attori nazionali.

Parole chiave

Valutazione delle tecnologie energetiche, decarbonizzazione, TRL, CO₂, trilemma energetico

Abstract

In the framework of the "Technical Board on the Decarbonization of the Economy", established by the Presidency of the Council of Ministers, the "Energy Technology Catalogue" collects 36 datasheets containing quantitative and qualitative information concerning three crucial elements of a sustainable energy system: environmental impact, energy security and affordability. This study carried out by a multidisciplinary team of ENEA researchers, taking into account information and data reported on the Catalogue, proposes a methodology for assessing the potential of energy technology development, considering their impact on climate, their potential in terms of R&D, the competitiveness of Italian companies and their diffusion and impact on the national territory. Some data were extracted – TRL (*Technology Readiness Level*), CO₂ emissions, developers and centres of excellence – and further analysed and integrated with information relating to the Italian production and innovation system characterizing the companies active in the development of these technologies assessing the territorial diffusion, the size class and turnover. Italian companies and centres of excellence are involved in the development of technologies with different degrees of technological maturity with potential for mitigating effects on climate. However, the mapping of companies and centres of excellence shows a distribution that is not always overlapping with a rather inhomogeneous presence at a territorial level. The methodology followed returns a description of the sector and giving useful elements to elaborate policy measures to support the diffusion of energy technologies. In order to carry out a more complete assessment of the potential of energy technology development aimed at proposing policies that combine the objectives of decarbonisation while supporting their economic competitiveness, it is necessary to broaden the information available on the productive sectors involved enhancing network among the main national players.

Keywords

Energy Technologies Evaluation, Decarbonisation, TRL, Energy Trilemma

Premessa

Questo studio vuole essere un contributo alla discussione per l'individuazione delle misure ed azioni utili a supporto del percorso di decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e di sviluppo sostenibile del Paese.

Il ruolo delle tecnologie energetiche infatti è fondamentale nel mitigare gli impatti sul clima, sugli ecosistemi e sulla salute; la loro diffusione e il loro sviluppo possono determinare, inoltre, impatti positivi e ricadute importanti nel contesto economico e sociale. Il raggiungimento dei target energetici e ambientali, in termini di incremento del contributo da fonti energetiche rinnovabili sui consumi finali di energia e di riduzione di gas a effetto serra e di consumi di energia primaria, non può essere il solo fine nella definizione delle politiche nazionali.

L'Italia, pur avendo anticipato i tempi per il raggiungimento della quota energetica prodotta da fonti rinnovabili sui consumi finali di energia prevista a livello comunitario, attraverso il sistema degli incentivi ha consentito la penetrazione nel mercato di alcune tecnologie senza un corrispondente rafforzamento della competitività della filiera produttiva nazionale favorendo l'importazione di componenti e sistemi prodotti all'estero. Di conseguenza, il tentativo di superare o di contenere la "*dipendenza energetica*" ha prodotto una rilevante "*dipendenza tecnologica*".

Gli sforzi fatti finora si sono, soltanto in parte, tradotti in un reale beneficio per il sistema economico, e la transizione verso un'economia *low carbon* rappresenta ancora una sfida che siamo comunque obbligati ad affrontare: la transizione energetica è un processo sfidante, impegnativo e costoso che investe diversi settori – industriale, finanziario, economico e sociale – e che richiede da un lato investimenti in infrastrutture e sistemi per l'energia e dall'altro lo sviluppo di tecnologie e dispositivi innovativi in grado di coniugare la sostenibilità ambientale con quella economica. Nel contesto italiano, l'ampliamento del potenziale produttivo delle imprese, con il conseguente incremento occupazionale, rappresenterebbe un ulteriore rilevante elemento per valutare la sostenibilità di scelte tecnologiche strategiche nel medio-lungo periodo.

Un approccio metodologico finalizzato a evidenziare opportunità e sfide deve essere alla base del lavoro di raccolta e analisi di dati settoriali necessario per comprendere e descrivere lo stato del sistema energetico e identificare le migliori strategie di sviluppo.

Questo studio propone una metodologia di valutazione delle tecnologie fondata su parametri relativi alla sostenibilità ambientale e al potenziale di ricerca e innovazione e dello sviluppo industriale dei territori. I risultati presentati non intendono fornire una descrizione esaustiva, ma propongono considerazioni utili al superamento di alcune carenze informative al fine di formulare politiche in grado di cogliere le possibilità di crescita offerte dalla transizione energetica. Un aspetto da approfondire è certamente il

livello di specializzazione del nostro sistema industriale rispetto al contesto internazionale, determinante nella possibilità sia di giocare un ruolo rilevante nei diversi mercati sia di contribuire ad accrescere la competitività internazionale delle nostre filiere produttive.

Al fine di individuare adeguate *policy* e opportuni strumenti a sostegno della diffusione delle tecnologie energetiche e monitorare nel tempo gli effetti delle iniziative messe in campo, si rende certamente necessario un livello di dettaglio maggiore nella disponibilità di determinati dati settoriali, nonché un aggiornamento costante dei data set disponibili e un percorso strutturato ed evolutivo per la crescita di rete tra gli stakeholder e la creazione di nuove aggregazioni di impresa.

Le competenze e le professionalità tecnico-scientifiche, i laboratori e le infrastrutture di ricerca che producono innovazione, le sinergie e la capacità di dialogo – maturate attraverso la partecipazione a progetti di ricerca, sviluppo competitivo e trasferimento tecnologico in ambito nazionale e internazionale – sono punti di forza della nostra Agenzia che possiede, inoltre, importanti strumenti di diffusione dei risultati, prodotti e servizi delle nostre ricerche e di comunicazione in grado di raggiungere il cittadino.

ENEA è quindi il luogo ideale per l'istituzione di un osservatorio permanente per la valutazione del potenziale delle tecnologie energetiche che rappresentano una componente centrale per lo sviluppo sostenibile del Paese ed uno strumento chiave per la decarbonizzazione profonda del sistema energetico ed economico.

Prof. Federico Testa

Presidente Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – ENEA

Nota introduttiva

Nell'ambito della definizione del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) si vuole cogliere l'opportunità di definire una strategia a lungo termine in grado di aggiornare anche priorità, indirizzi e valutazioni di competitività nel settore delle tecnologie energetiche. L'obiettivo è quello di creare le condizioni di sistema affinché la partecipazione dell'industria e dei centri di ricerca pubblici e privati italiani ai futuri programmi di ricerca previsti dal *Strategic Energy Technology (SET) Plan* e dal futuro Programma *Horizon Europe* sia più ampia e meno frammentata, arrivi a proporsi efficacemente per un ruolo più incisivo e raccolga maggiori successi di quanto non sia avvenuto in passato.

Il percorso di progressiva transizione verso modelli energetici a ridotte emissioni richiede un impegno importante a sostegno dell'evoluzione tecnologica e per la ricerca e sviluppo di nuove tecnologie; tale impegno deve essere pervasivo in tutti i settori, dalle rinnovabili alle tecnologie per la decarbonizzazione dei combustibili tradizionali, dall'efficienza energetica ai trasporti.

A livello internazionale, nel corso della COP21 di Parigi, l'Italia ha aderito all'iniziativa multilaterale *Mission Innovation*, che ha l'obiettivo di promuovere l'accelerazione dell'innovazione tecnologica a supporto della transizione energetica attraverso un aumento significativo di fondi pubblici dedicati alla ricerca *cleantech*. L'Italia si è impegnata a raddoppiare il valore del portafoglio delle risorse per la ricerca pubblica in ambito *clean energy*, dai circa 222 milioni di euro nel 2013 (anno assunto come *baseline*) ai circa 444 milioni di euro nel 2021. Questo target è diventato obiettivo di governo nell'ambito della SEN 2017 e del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima.

Il SET Plan, che è stato rilanciato nell'ambito della quinta dimensione dell'Unione dell'Energia (Ricerca, Innovazione e Competitività), è lo strumento fondamentale per affrontare le nuove sfide. Il SET Plan, integrato con *Horizon 2020* e in prospettiva con *Horizon Europe*, costituirà nei prossimi anni il punto di riferimento per gli investimenti a livello di UE, nazionale e regionale e per gli investimenti privati a favore della ricerca e dell'innovazione nel settore energetico. Una gestione organica della ricerca nel settore dell'energia, sia del SET Plan che di *Mission Innovation*, consentirà inoltre di migliorare l'efficienza e l'efficacia delle risorse stanziare.

Un contributo importante a questa prospettiva strategica è stato dato a suo tempo dall'elaborazione del "Catalogo delle Tecnologie energetiche", coordinato dall'ENEA e dal CNR, con l'obiettivo di rendere disponibili dati sulle tecnologie energetiche e la loro applicazione nel settore industriale, dei trasporti e nel civile, nell'ottica di una loro ampia diffusione e replicabilità, nella prospettiva della decarbonizzazione.

Questo studio elaborato dall'ENEA, prendendo spunto dai dati contenuti nel Catalogo, offre una interessante metodologia di valutazione del potenziale di sviluppo delle tecnologie energetiche, prendendo in considerazione l'impatto delle tecnologie sul clima, la R&S, la competitività delle imprese italiane e la loro diffusione sul territorio nazionale con il relativo impatto sui territori.

L'Italia, nonostante la presenza di eccellenze, mostra una situazione di R&S nel settore energetico ancora in sofferenza, a causa del livello di priorità relativamente basso attribuito alla ricerca, della frammentazione degli attori coinvolti e della carenza di coordinamento; questo genera una dipendenza tecnologica dall'estero e un crescente *deficit* commerciale nei prodotti ad alta tecnologia.

La ricerca italiana sulle tecnologie energetiche tuttavia, dopo un periodo di forte frammentazione, negli ultimi anni sta evolvendo verso un quadro più coordinato di iniziative, favorite anche dall'allineamento alle Azioni-chiave del SET Plan e dalla partecipazione a *Mission Innovation*. Il sistema della ricerca italiano ha un buon posizionamento internazionale, dimostrando di essere pronto a cogliere tutti gli spunti più innovativi provenienti a livello internazionale.

La metodologia proposta dall'ENEA può contribuire a identificare elementi utili a elaborare misure di *policy* a supporto della diffusione delle tecnologie energetiche. È uno studio peraltro suscettibile di ulteriori aggiornamenti, a cominciare dall'aggiornamento e ampliamento della base informativa disponibile sulle tecnologie energetiche e sui settori produttivi coinvolti.

Il sistema nazionale della ricerca dovrà, infatti, essere in grado di aggiornare rapidamente priorità, indirizzi e valutazioni di competitività nel settore delle tecnologie energetiche e consentire al Paese di contribuire efficacemente alle future scelte che verranno assunte nell'ambito del SET Plan europeo e di *Horizon Europe*, tutelando altresì la competitività industriale e valorizzando la capacità di produrre innovazione.

Ing. Marcello Capra

Delegato nazionale SET Plan Europeo – Ministero dello Sviluppo Economico

1. Introduzione

Le sfide imposte dai cambiamenti climatici rendono necessario lo sviluppo di strategie per la transizione verso un'economia a basso contenuto di emissioni di carbonio, coerenti con gli obiettivi al 2030 e oltre stabiliti dall'Unione Europea. Anche se a livello internazionale la ricerca di punti comuni nella condivisione di accordi sui cambiamenti climatici può portare a controversie (Cooper M., 2018), una valutazione del potenziale di sviluppo delle tecnologie può dare un peso significativo agli studi di impatto su diverse scale geografiche (Aggarwal P. et al., 2019). L'ampliamento del mercato delle tecnologie pulite ne comporterà una tendenziale riduzione dei costi di produzione, incidendo positivamente sui costi di contenimento delle emissioni di anidride carbonica (CO₂) (Maas R. et Grennfelt P., 2016). Il settore dell'energia può, quindi, contribuire in modo sostanziale al conseguimento degli obiettivi di decarbonizzazione previsti, riducendo gli investimenti necessari per conseguirli, ma i sistemi produttivi che riusciranno ad affermarsi in tali mercati potrebbero ricavarne anche effetti positivi in termini di crescita economica.

Una valutazione accurata delle tecnologie dovrebbe di conseguenza essere orientata dalle tre condizioni poste dal cosiddetto "trilemma energetico", introdotto nel 2008 (E.ON, 2008), che evidenzia la complessità di bilanciare i tre pilastri di un sistema energetico sostenibile: decarbonizzazione, sicurezza energetica e competitività (Boston A., 2013). Più recentemente il World Energy Council ha definito il "trilemma energetico" come sostenibilità energetica basata su sicurezza energetica, giustizia energetica e sostenibilità ambientale. La sicurezza energetica rappresenta gli aspetti dell'approvvigionamento, l'affidabilità delle infrastrutture energetiche e la capacità di soddisfare la domanda attuale e futura. La sostenibilità ambientale è connessa con l'aumento dell'efficienza e l'uso di fonti di energia rinnovabili e a basse emissioni di carbonio per mitigare gli impatti sull'ambiente. La giustizia energetica è legata all'accessibilità e sostenibilità economica dell'approvvigionamento energetico per l'intera popolazione (WEC, 2016). Gli aspetti sociali sono stati particolarmente considerati nella misura in cui le opportunità di lavoro vengono introdotte come pilastro del proposto quadrilemma energetico dove tra gli impatti della transizione sono individuati anche gli aspetti legati all'occupazione e quindi alla competitività dei sistemi produttivi nazionali (Olabi A.G., 2016).

Diversi studi cercano di individuare le interazioni fra i tre pilastri del trilemma, chiamando in causa le parti interessate, al fine di facilitare il processo di sviluppo delle politiche e la *governance* (Parkes G. et Spartaru C., 2017; Oliver J. et Sovacool B.K., 2015; Gunningham N., 2013). Questo approccio viene adottato anche per questioni molto specifiche relative ad alcune tecnologie come il *phase-out* del nucleare o sugli effetti sistemici della generazione intermittente da Fonti Energetiche Rinnovabili (FER) (Rehner R. et McCauley D., 2016; ERRA, 2016).

In tale contesto, la valutazione delle tecnologie energetiche dovrebbe essere condotta conformemente a descrittori specifici opportunamente definiti. Ciò rappresenta un tema ampiamente riconosciuto, sia nel settore della ricerca che in quello industriale, pertanto diversi indicatori e modelli sono attualmente proposti (Malcev N.V. et Shaybakova L.F., 2020; Noha H. et al., 2018; Hsu et al., 2015; Cho J. et Lee J., 2013; Kim et al., 2011). In alcuni casi anche indicatori di tipo sociale vengono inclusi nella valutazione della sostenibilità delle tecnologie attraverso una selezione basata sul giudizio degli esperti (Carrera D.G. et Mack A., 2010). Nell'effettuare questo tipo di valutazioni sarebbe importante restituire un quadro sintetico e "di insieme" che possa dare una indicazione a eventuali stakeholder circa il "posizionamento" di una tecnologia rispetto alle altre esaminate. L'analisi proposta nel presente lavoro è orientata in tal senso e restituisce una valutazione comparativa delle tecnologie energetiche focalizzandosi sul relativo livello e potenziale di sviluppo tecnologico, su diversi aspetti del loro sviluppo e competitività a livello territoriale, nonché sul potenziale di mitigazione delle emissioni climalteranti.

Nel giugno 2016, la Presidenza del Consiglio dei Ministri (PCdM) ha istituito un "Tavolo Tecnico sulla Decarbonizzazione dell'Economia" volto ad analizzare il sistema energetico, tenendo conto del punto di vista dei vari stakeholder, e avviare una valutazione tecnica per lo sviluppo di strumenti di supporto alla definizione delle politiche italiane in campo energetico-ambientale, da proporre alla Commissione Europea (Giuffrida et al., 2019). Al tavolo tecnico hanno partecipato rappresentanti delle amministrazioni pubbliche centrali e locali, delle Università, degli Enti di ricerca e del settore privato. Sono stati istituiti quattro gruppi di lavoro (GdL) riservati ai principali esperti nazionali, per conseguire obiettivi sinergici e complementari, come descritto di seguito. La Figura 1 mostra le relazioni tra i diversi GdL.

Il GdL 1, "Dati di Input non tecnologici", coordinato dall'Istituto Italiano per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), ha creato una banca dati di variabili macroeconomiche, ambientali e climatiche, che rappresenta un input informativo per lo sviluppo degli scenari energetici per stabilire le esigenze intrinseche del sistema italiano, legate allo specifico contesto geografico ed economico.

Il GdL 2 "Dati di input tecnologici", guidato dall'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA) e dal Consiglio Nazionale della Ricerca (CNR), ha istituito una banca dati di parametri tecnico-economici per caratterizzare le tecnologie energetiche, attualmente utilizzate o in fase di studio, con proiezioni al 2020, 2030 e 2050. In particolare, sono state considerate le tecnologie per la produzione di energia elettrica (basate sia su fonti fossili che rinnovabili) e i sistemi di accumulo (pompaggio, batterie ecc.). Valutazioni specifiche sulle FER sono state effettuate per quanto riguarda il massimo potenziale di sviluppo tecnico realizzabile, tenendo conto dei vincoli del paesaggio, dell'uso previsto e delle barriere tecnologiche.

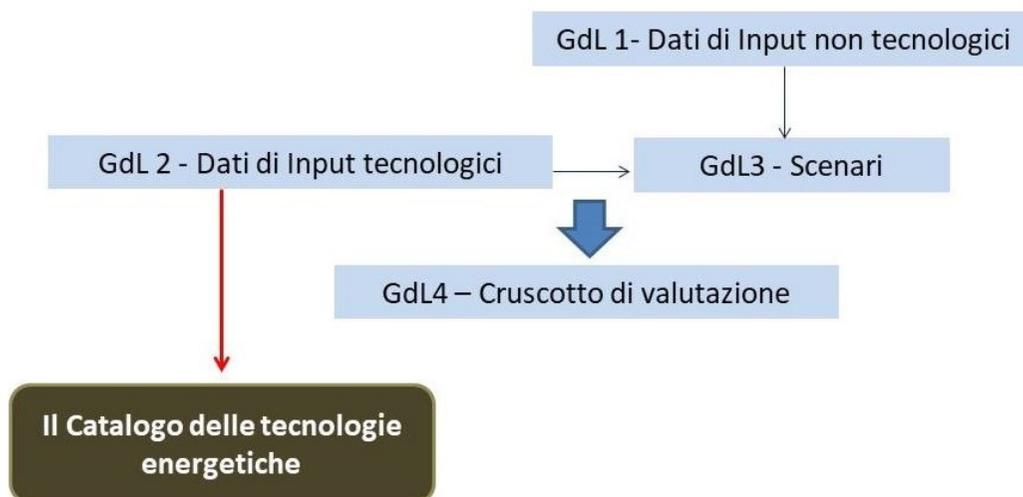


Figura 1 – Organizzazione dei Gruppi di Lavoro (GdL) del “Tavolo Tecnico sulla Decarbonizzazione dell’Economia” istituito dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri
(elaborato da: Giuffrida L.G. et al., 2019)

L’analisi non si è limitata alle tecnologie di produzione e di accumulo, ma ha riguardato anche gli usi finali nel settore civile (caldaie, pompe di calore, elettrodomestici, illuminazione e ricostruzione dell’isolamento termico), industriale (motori elettrici e inverter) e nei trasporti (automobili e mezzi pesanti).

I GdL 1 e 2 hanno fornito la base di informazioni utilizzate dal GdL3 “Scenari”, diretto da Ricerca di Sistema Elettrico (RSE) e dal Politecnico di Milano, per sviluppare lo scenario nazionale di riferimento 2012-2030 (RSE, 2017). Infine, il GdL 4 “Cruscotto di Valutazione”, con Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) e Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM) come organizzazioni di riferimento, ha effettuato un’analisi costi-benefici dei diversi scenari di decarbonizzazione al fine di elaborare raccomandazioni per le strategie nazionali.

Sulla base dei dati tecnico-economici raccolti e di ulteriori informazioni fornite dagli esperti del settore, il GdL2 ha realizzato *Il Catalogo delle tecnologie energetiche* che fornisce una serie di informazioni qualitative e quantitative sulle diverse tecnologie per una migliore caratterizzazione e identificazione nella prospettiva della transizione energetica. Ciascuna tecnologia è descritta, attraverso una serie di indicatori, in una scheda *ad hoc* messa a punto in maniera tale da poter essere aggiornata nel tempo (Sanson A. et Giuffrida L.G., 2017).

La definizione di politiche e strategie per un percorso di decarbonizzazione del sistema economico richiede un’attenta analisi tecnico-economica delle tecnologie energetiche.

Tali tecnologie possono contribuire in modo significativo a raggiungere gli standard di protezione dell'ambiente e pertanto il loro processo di sviluppo dovrebbe essere accelerato da adeguati strumenti di incentivazione (Di Nucci M.R. et Russolillo D., 2019), ponendo attenzione anche alle ricadute in termini di competitività economica.

Con il presente studio, si è cercato di valorizzare il consistente contenuto informativo del Catalogo fornendo una prima analisi comparativa sullo stato delle tecnologie energetiche a livello nazionale, che evidenziasse al contempo eventuali gap in termini di dati disponibili utili per supportare possibili proposte e indicazioni di policy. In particolare, si è voluta indagare la dimensione del potenziale di sviluppo con particolare riferimento agli aspetti più tecnologici legati al grado di maturità (TRL), alla presenza di imprese sul mercato e all'impegno in attività di ricerca e sviluppo.

La Figura 2 sintetizza lo schema metodologico seguito, che verrà dettagliato nella sezione "Metodologia".

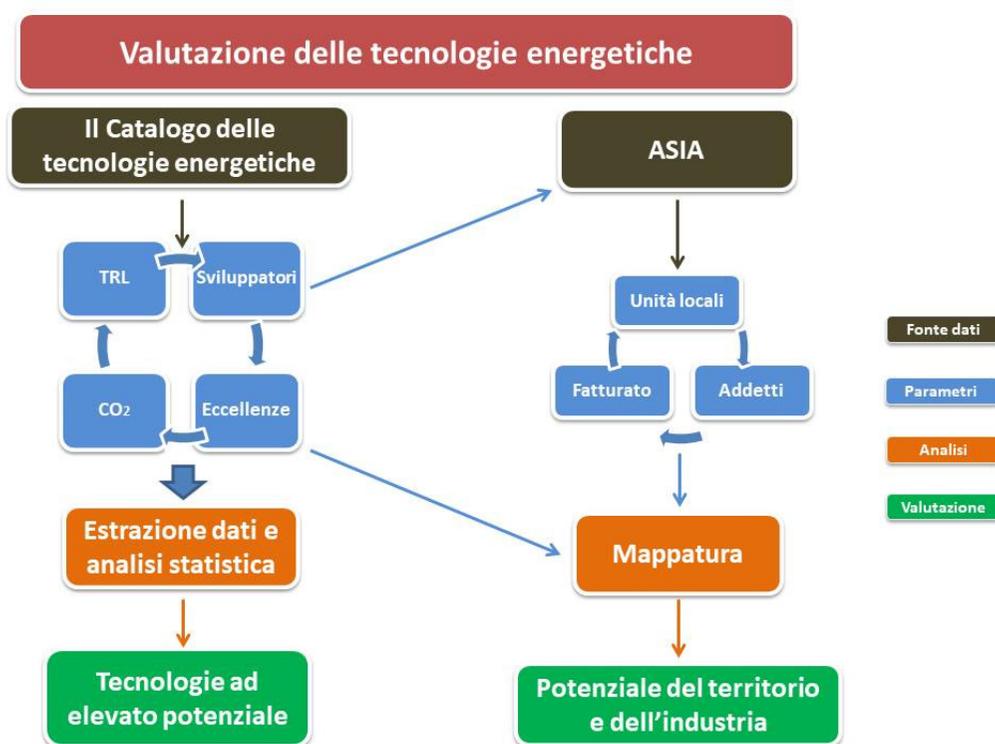


Figura 2 – Mappa concettuale della valutazione delle tecnologie energetiche

Determinati dati sono stati quindi estratti dal Catalogo, analizzati ed elaborati con un approccio statistico e geostatistico. In particolare, è stata eseguita un'analisi sui dati relativi al livello di maturità (TRL), alle emissioni evitate di CO₂, alle aziende italiane e alle Eccellenze coinvolte nello sviluppo di tecnologie per evidenziare il potenziale di sostenibilità ambientale delle tecnologie stesse. Il TRL, in particolare, è un parametro utilizzato nell'ambito della valutazione dei progetti di ricerca e di finanziamento per misurare lo stato di una tecnologia e, in ambito internazionale, sono fornite specifiche interpretazioni valide per il settore energetico, con particolare riferimento alle FER (European Commission, 2017; ARENA, 2014).

Per rappresentare il coinvolgimento delle aziende italiane per le diverse tecnologie energetiche considerate, è stata condotta una *cluster analysis* sul valor medio, sull'ampiezza del TRL delle singole tecnologie e sul numero di aziende coinvolte. I settori riferibili ai diversi gruppi di tecnologie sono stati ulteriormente caratterizzati con riferimento alla struttura industriale in termini di classe di addetti e classe di fatturato.

Per valutare il potenziale in termini di R&S sulle tecnologie energetiche è stata effettuata una *network analysis* che ha evidenziato le connessioni in particolari settori di sviluppo delle tecnologie ritenute più promettenti con le Eccellenze. Relativamente alle Eccellenze è stato considerato anche l'aspetto della localizzazione geografica. In particolare, è stata sottoposta a verifica l'ipotesi della loro concentrazione spaziale in favore dei centri urbani. Le motivazioni di questa scelta si basano sulla esigenza di analizzare le condizioni di contesto che sembrano favorire l'innovazione, che nella letteratura del *milieu innovateur* (Aydalot P., 1986) riposano in massima parte sul concetto di "città" come catalizzatore dell'innovazione e sul concetto di "spazio relazionale" – o "capitale sociale" – del quale l'indicatore della distanza fisica non è altro che una *proxy*.

Infine, è stata mappata la distribuzione territoriale, a livello regionale, delle Unità locali delle imprese e delle Eccellenze evidenziando una mancata corrispondenza tra i due elementi considerati. Questo risultato, non del tutto inatteso, può rivelarsi utile nella definizione di strumenti e politiche di pianificazione territoriale, evidenziando le possibili sinergie fra i diversi soggetti coinvolti (Camagni, 2007).

Lo studio evidenzia come il Catalogo delle Tecnologie Energetiche rappresenti un importante punto di inizio del lavoro di raccolta di informazioni utili per supportare proposte e indicazioni di *policy*. Al tempo stesso appare necessario un ulteriore sforzo per reperire dati a livello dei singoli settori e filiere per definire opportune misure a sostegno dello sviluppo degli stessi. Occorrerebbe, inoltre, aggiornare la base dati in modo da rappresentare l'evoluzione e il trend delle tecnologie tenendo in considerazione anche le nuove proposte che vanno a definirsi nel settore energetico.

Nuove attività di monitoraggio di particolari segmenti del settore, come ad esempio quello del fotovoltaico, condotte con il coinvolgimento degli stakeholder sul modello di lavori già

implementati dall'ENEA per comparti con caratteristiche di trasversalità tecnologica fra i settori economici¹, potrebbero essere implementate per raccogliere dati utili per una migliore comprensione delle dinamiche competitive e di sviluppo.

2. Metodologia

2.1 Schede di valutazione delle tecnologie

Come già descritto da Giuffrida et al. (2019), il “Catalogo delle Tecnologie Energetiche” nasce dal dialogo tra oltre 70 esperti di Enti di Ricerca (ENEA, CNR, RSE, Politecnico di Milano) e del settore privato (TERNA Group, SNAM SpA) integrato dalle competenze provenienti dall'Istituto Nazionale Italiano di Statistica (ISTAT), dalle associazioni industriali (Confindustria), da rappresentanti del settore pubblico (Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE), Ministero dell'Ambiente, del Territorio e del Mare (MATTM), e delegati Italiani presso SET-PLAN. Questi esperti hanno collaborato con l'obiettivo di raccogliere una serie di dati condivisi, facilmente accessibili alle istituzioni, alle amministrazioni e agli operatori del settore. È stata messa a punto una scheda tecnica ad hoc con una struttura tale da consentire ulteriori aggiornamenti. I dati riportati sono aggiornati al 2017.

Le tecnologie con diverso TRL (Tabella 1) sono descritte nel Catalogo, considerando l'ampia gamma di configurazioni industriali con potenziale di decarbonizzazione, dal TRL 9, tecnologie già disponibili sul mercato, fino a quelle emergenti caratterizzate dal basso livello TRL 2.

Tabella 1 – Livello di maturità tecnologica (TRL). I valori variano da 1 e 9 e descrivono in ordine crescente lo stato di maturità della tecnologia (fonte: Giuffrida et al., 2019)

TRL	Descrizione
1	Osservati i principi fondamentali
2	Formulato il concetto della tecnologia
3	Prova di concetto sperimentale
4	Tecnologia convalidata in laboratorio
5	Tecnologia convalidata in ambiente (industrialmente) rilevante
6	Tecnologia dimostrata in ambiente (industrialmente) rilevante
7	Dimostrazione di un prototipo di sistema in ambiente operativo
8	Sistema completo e qualificato
9	Sistema reale provato in ambiente operativo (produzione competitiva, commercializzazione)

¹ Cfr. la Rilevazione statistica sulle imprese biotecnologiche in Italia - <http://industria.enea.it/osservatorio/Indagine-biotech-2019>

Sono state individuate 36 tecnologie e raggruppate in sei diverse categorie:

1. Tecnologie di generazione con fonti tradizionali;
2. Sistemi cogenerativi;
3. Tecnologie delle energie rinnovabili;
4. Sistemi di accumulo energetico;
5. Tecnologie per l'efficienza energetica negli usi finali.

Oltre alle informazioni tecniche – il TRL, l'efficienza termica/elettrica di un sistema di conversione, la vita media dell'impianto, le emissioni di CO₂ – sono state individuate informazioni qualitative, per caratterizzare ogni tecnologia in termini di potenzialità (sviluppo tecnologico, impatto settoriale ed esportazione), insieme ai soggetti che sviluppano le tecnologie e le Eccellenze sul territorio nazionale.

Tale impostazione ha reso possibile estrarre alcuni dati rilevanti che sono stati utilizzati per il presente lavoro ed elaborati secondo le metodologie riportate nel paragrafo successivo. In particolare, le informazioni e i dati sono stati estratti dai seguenti campi:

- TRL;
- emissioni di CO₂/MWh evitate;
- maggiori Attori Italiani Coinvolti – Sviluppo della tecnologia (detti di seguito sviluppatori);
- eccellenze nel Territorio Nazionale.

Per una descrizione sintetica degli elementi considerati si rimanda alla Tabella 2.

Tabella 2 – Descrizione dei parametri rilevati dal catalogo da cui sono estratti i dati utilizzati nell'analisi

	Descrizione
TRL	Sono stati rilevati i dati riportati nel catalogo relativi al grado di maturità della tecnologia, o a parti di processo, come riportato dagli esperti sulla base di <i>review</i> fatte a livello internazionale.
Emissioni di CO₂/MWh evitate	Si considera la potenzialità di mitigazione in termini di emissioni climalteranti evitate (kg CO ₂ /MWh) rispetto ad una corrispondente tecnologia/processo tradizionale basato su fonti fossili.
Sviluppatori	Soggetti (aziende, distretti tecnologi, società a capitale misto, laboratori di prova ecc.) coinvolti direttamente, anche in collaborazione con Enti di ricerca, nello sviluppo (progettazione, installazione e manutenzione) della tecnologia o parti di essa (componenti) o nella filiera tecnologica. Possono avere la sede principale in Italia o essere delle filiali di ditte straniere ubicate nel territorio nazionale.
Eccellenze nel territorio nazionale	Enti di ricerca pubblici (Centri nazionali di ricerca, Università e laboratori) o privati (consorzi, aziende, società di consulenza) che compiono attività di ricerca di alto livello nel settore delle tecnologie. Potenziano la base scientifica nazionale e sostengono l'acquisizione di partenariati scienza-industria e lo sviluppo di strategie organizzative per la cooperazione nazionale e internazionale.

2.2 Analisi dei dati

Per indagare il potenziale di sviluppo delle tecnologie energetiche a livello nazionale, le informazioni estratte dalle schede contenute nel Catalogo sono state analizzate e integrate con ulteriori informazioni relative al sistema produttivo italiano come riportato nella precedente Figura 2.

Attraverso l'uso di strumenti statistici sono state elaborate le matrici dei dati di TRL, delle emissioni evitate di CO₂ (kgCO₂/MWh)², del numero di attori italiani coinvolti nello sviluppo delle tecnologie, di seguito detti "Sviluppatori", e delle Eccellenze. Per gli sviluppatori sono stati estratti i dati relativi alle sole imprese, sui quali poi successivamente sono stati reperite ulteriori informazioni per caratterizzare meglio la struttura industriale dei diversi settori in termini di classi di fatturato e di addetti. Per quanto riguarda le Eccellenze sono stati estratti tutti i dati presenti nel catalogo che riguardano sia soggetti pubblici che privati.

Il TRL, individuato tramite i dati riportati nella descrizione delle tecnologie o di parti di processo, è utilizzato più volte – nelle elaborazioni proposte – sia come valore medio che come *range* tra il valore minimo e massimo riportati in ciascuna scheda. L'utilizzo del *range* del TRL come *proxy* del potenziale di ulteriore sviluppo tecnologico rappresenta una proposta di analisi recentemente riportata in letteratura (De Luca E. et al., 2019; Giuffrida L.G. et al., 2019). In sintesi, una ampia fascia di TRL determina la possibilità di un ulteriore sviluppo della tecnologia, anche per il miglioramento di alcune parti del processo; una stretta banda spostata verso i livelli di maturità più elevati (8-9) denoterebbe una tecnologia matura con poco margine di ulteriore sviluppo; una fascia stretta e spostata verso i livelli più bassi (2-4) indicherebbe la necessità di sforzi in attività di ricerca e sviluppo per arrivare ad un prodotto commerciale. È importante sottolineare che i dati di TRL si riferiscono alla maturità delle tecnologie rilevata a livello internazionale; nel confrontare questi dati con altre informazioni relative alle imprese italiane si è voluto quindi cercare di dare una misura, sicuramente non esaustiva, dello sforzo delle imprese rispetto al potenziale di sviluppo delle tecnologie energetiche.

In particolare, è stata eseguita una *cluster analysis*³ (Galili T., 2015) sulla base delle variabili rappresentate dal numero di sviluppatori e dal TRL, espresso sia in termini di valor medio sia in termini di *range*, evidenziando i gruppi emergenti di tecnologie e la presenza di attori a livello nazionale.

² Per le emissioni di CO₂ evitate, dove non presenti i dati relativi, si è fatta una stima basandosi su parametri riportati nel rapporto "Fattori di emissione atmosferica di CO₂ e altri gas a effetto serra nel settore elettrico" di ISPRA.

³ L'analisi cluster è stata eseguita con il software R (GNU General Public License della Free Software Foundation, <https://www.r-project.org/>).

Attraverso le informazioni relative agli “sviluppatori”, presenti nel Catalogo, si è potuto risalire alle aziende presenti in Italia ed è stato realizzato un data base con le Unità locali delle stesse elaborando le informazioni presenti nel sistema ASIA e nel Registro delle Imprese. I dati relativi alle Unità locali delle imprese e alle Eccellenze sono stati utilizzati per realizzare la mappatura della distribuzione dei principali soggetti coinvolti nelle tecnologie per la decarbonizzazione a livello regionale⁴. Sono stati, inoltre, elaborati i dati relativi alle classi di fatturato e di addetti delle aziende censite⁵.

La relazione fra TRL, valore medio e *range*, ed emissioni evitate di CO₂ è stata visualizzata per mezzo di un diagramma di dispersione – *scatter plot* – per evidenziare le associazioni tra il potenziale di innovazione e gli effetti sulla riduzione delle emissioni climalteranti.

Per avere una indicazione del potenziale in termini di R&S e delle relazioni esistenti tra i soggetti coinvolti è stata realizzata la *network analysis*⁶ sulle tecnologie più promettenti evidenziate nello *scatter plot* – basso TRL e alto potenziale di riduzione delle emissioni di CO₂ – e le Eccellenze sul territorio nazionale.

Alcune applicazioni geostatistiche sono state infine utilizzate per indagare l’ipotesi della concentrazione geografica dei centri d’eccellenza nei centri urbani. A questo scopo, è stata realizzata una mappa costituita dalla sovrapposizione di due distinti *layer* geografici. Il primo, esprime il grado di urbanizzazione locale per mezzo del dato relativo agli *urban clusters*⁷, vale a dire gruppi di celle contigue di superficie pari ad 1 km², aventi una densità di popolazione di almeno 300 abitanti per km² e una popolazione complessiva di almeno 5.000 abitanti. L’informazione ivi contenuta prescinde, quindi, dalle divisioni amministrative del territorio e possiede un grado di risoluzione spaziale sufficientemente elevato ai fini della presente analisi. Il secondo *layer* riporta la localizzazione puntuale delle Eccellenze. Inoltre, per indagare se i punti corrispondenti alle Eccellenze presentano una tendenza al raggruppamento o alla dispersione, e a quali valori di distanza reciproca tale tendenza si verifica, è stata utilizzata la funzione Linhom Ripley *L* (Baddeley et al., 2015)⁸.

⁴ La mappatura delle Unità locali e delle Eccellenze è stata realizzata da Free Open Source Software (FOSS) QGIS (<https://www.qgis.org/it/site/>).

⁵ Le elaborazioni relative alle classi di fatturato e di addetti, nonché sulla localizzazione delle unità locali delle aziende analizzate sono basate su dati ASIA (Archivio Statistico delle Imprese Attive) e del Registro Imprese.

⁶ La *network analysis* è stata eseguita con il software VOSviewer (Centre for Science and Technology Studies, Leiden University, The Netherlands, <http://www.vosviewer.com/>).

⁷ I dati degli *urban cluster* sono forniti da Eurostat (GEODATA-Eurostat).

⁸ È stata utilizzata una versione adattata della funzione ‘L’ di Ripley che costituisce uno strumento d’analisi impiegato per l’inferenza statistica relativa alla disposizione spaziale dei punti implementata nel pacchetto R spatstat (R Spatstat).

3. Risultati

3.1 Potenziale di sviluppo tecnologico e coinvolgimento dell'industria italiana

L'intervallo tra il minimo e il massimo valore di TRL, rilevato per ciascuna tecnologia, è riportato in Figura 3. Tale informazione può essere considerata quale indicatore del potenziale di ulteriore sviluppo tecnologico (De Luca et al., 2019); un ampio intervallo dei valori di TRL per le soluzioni tecnologiche in un determinato ambito di applicazione, indica che la traiettoria tecnologica non è ancora ben definita ed ampi sono ancora i margini di ulteriore sviluppo, in particolare di specifici componenti o segmenti di processo.

Nei settori dove, oltre ad avere un ampio intervallo, il TRL è mediamente più basso, saranno ampi anche i margini di incertezza che caratterizzano sia la configurazione tecnologica del prodotto che si affermerà sul mercato del settore produttivo di riferimento. L'ampiezza del *range* del TRL fra le soluzioni tecnologiche del settore indica, in altri termini, che non si è ancora affermato uno standard nell'industria, dunque l'evoluzione della struttura industriale e le posizioni competitive acquisite nel settore sono quanto mai incerte, con un possibile rischio per gli investimenti. Si considerino, ad esempio, i casi del "Solare termodinamico" o dei "Combustibili *Low Carbon*" (*range* del TRL 2-9): per tali tecnologie, pur essendoci prodotti già commercializzati, non si è ancora affermato uno standard dominante e i margini di ulteriori sviluppi e/o cambiamenti sono ancora notevoli.

Nel caso di un intervallo stretto e un valor medio elevato (tra 8 e 9, ad esempio), viceversa, il settore sarà caratterizzato da uno standard tecnologico maggiormente definito e la probabilità di sostanziali variazioni sia tecnologiche che nella struttura industriale saranno comparativamente minori. Ne sono un esempio la "Combustione diretta dei rifiuti" o la "Tecnologia CAES".

Nel caso di un basso valore medio del TRL e un intervallo molto stretto, come per i "Volani" e i "*Solar fuels*", abbiamo a che fare con tecnologie ancora allo stato prototipale, lontane dal mercato e su cui sono attivi prevalentemente centri di ricerca pubblici. Il coinvolgimento di aziende avverrà solo dopo una prima fase di validazione tecnico-commerciale.

Per descrivere una possibile aggregazione delle diverse tecnologie sulla base del potenziale di sviluppo ulteriore e dell'attuale coinvolgimento delle industrie italiane, è stata effettuata l'analisi cluster sulle matrici dei valori del TRL – *range* e valore medio – e del numero degli sviluppatori delle tecnologie (Figura 4). Pur riconoscendo che il numero di imprese per una determinata tecnologia è anche funzione di specifiche caratteristiche settoriali, come l'intensità di capitale e le relative barriere di ingresso – fra cui quelle tecnologiche – la rappresentazione resa in Figura 4 sembra piuttosto congruente sul piano tecnologico.

Le tecnologie sono raggruppate in tre cluster.



Figura 3 – Intervallo di TRL tra i valori minimo e massimo rilevati per ciascuna tecnologia e gruppi di tecnologie

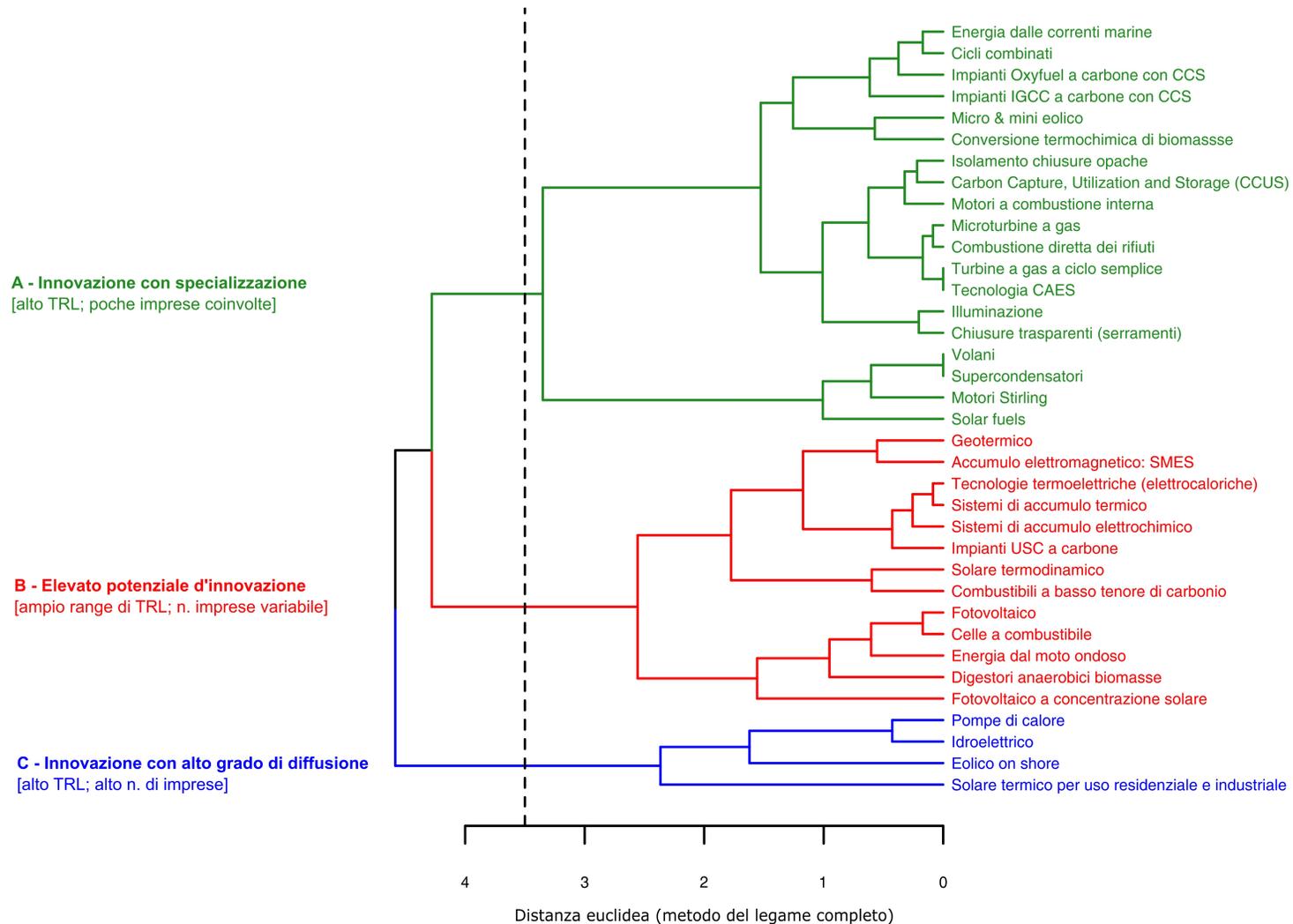


Figura 4 – Analisi cluster eseguita sui dati di TRL (valore medio e range) e numero di aziende italiane coinvolte nello sviluppo delle tecnologie energetiche. Tre cluster (A in verde; B in rosso; C in blu) raggruppano le tecnologie in relazione al grado di innovazione e al coinvolgimento delle imprese

Nel Cluster A è possibile osservare tecnologie prevalentemente con un TRL medio elevato, ma con uno stretto intervallo, e un limitato numero di aziende coinvolte – con l’eccezione di “Illuminazione” e “Chiusure trasparenti (serramenti)” che contano un numero di aziende superiore a 10. A tale gruppo appartengono le tecnologie basate su fonti tradizionali, alcuni sistemi di accumulo, alcune FER – tra le quali “Energia da correnti marine”, “Mini eolico”, “Conversione termochimica di biomasse” – e i sistemi di “Illuminazione” e “Chiusure trasparenti (serramenti)” tra le tecnologie legate all’efficienza energetica.

In questo cluster si collocano tecnologie tendenzialmente standardizzate con una scarsa numerosità di imprese che andrebbe analizzata più approfonditamente, sia con riferimento alle caratteristiche strutturali delle varie industrie che al posizionamento nella competitività internazionale del sistema produttivo nazionale.

Il cluster B raggruppa 13 tecnologie caratterizzate da un TRL con un ampio *range* di variazione e un valore medio tendenzialmente più basso di quanto riscontrato negli altri due cluster. L’unica “Tecnologia di generazione con fonti fossili” inclusa nel cluster è relativa agli “Impianti USC a carbone”. Per queste tecnologie non sembra ancora essersi affermato uno standard di mercato, pur essendoci già prodotti immessi in commercio. Anche in questo caso, per interpretare la variabilità del numero di imprese coinvolte nelle varie tecnologie del cluster, sarebbero necessari gli approfondimenti evidenziati per il Cluster A.

I Cluster A e B potrebbero rappresentare diverse esigenze per lo sviluppo delle tecnologie: per il primo un maggiore supporto alle imprese e al consolidamento della filiera produttiva, mentre per il secondo un maggiore sostegno alla ricerca.

Infine, le tecnologie classificate nel Cluster C si caratterizzano prevalentemente per il numero elevato di sviluppatori coinvolti e mostrano tendenzialmente un livello medio-alto di maturità. Tra queste il “Solare Termico” è l’unico che si caratterizza con una varianza del TRL ancora elevata in quanto sono in corso programmi di sviluppo di nuovi sistemi e componenti avanzati ad alta efficienza.

Per poter avanzare considerazioni sullo sviluppo delle singole filiere produttive sono necessarie informazioni sulla struttura industriale, con la possibilità di un confronto sia nel tempo che in ambito internazionale. Inoltre, lo stesso dato sul grado di sviluppo tecnologico si riferisce allo stato della tecnologia a livello internazionale, ma non contempla informazioni sulla specializzazione relativa delle imprese italiane e, più in generale, del sistema innovativo nazionale.

Il numero complessivo di aziende censite nel Catalogo delle Tecnologie Energetiche come soggetti attivi nello sviluppo delle tecnologie è superiore a 200. Diverse aziende, in particolare quelle di dimensione media e grande, sono coinvolte nello sviluppo di più di una tecnologia tra quelle considerate nel Catalogo. Più di un quarto delle aziende censite impiega più di 250 addetti e il numero complessivo di addetti supera le 80.000 unità. Inoltre, più del 30% delle aziende censite registra un fatturato annuo superiore ai 50 milioni di euro.

È tuttavia importante sottolineare come i dati relativi al numero complessivo di addetti e alla classe di fatturato per le aziende censite non coincida con gli addetti coinvolti nello sviluppo delle diverse tecnologie energetiche e con il fatturato registrato per i relativi settori⁹, soprattutto considerando che fra i soggetti censiti sono presenti grandi gruppi industriali con attività diversificate e per i quali le tecnologie energetiche non rappresentano necessariamente il *core business*. Per effettuare delle valutazioni sul peso del “settore” o dei “settori” di interesse per lo studio, sarebbe pertanto necessario scorporare la componente delle principali variabili economiche in funzione del business relativo e ciò è possibile solo implementando rilevazioni statistiche dedicate.

La Tabella 3 sintetizza le principali informazioni relative alla dimensione delle aziende censite – in termini di addetti totali, classe di addetti, classe di fatturato e numerosità dei soggetti – divise per i gruppi di tecnologie rappresentati in Figura 3. In generale, si evidenzia come la dimensione media in termini di addetti delle aziende censite sia superiore alla media del settore manifatturiero nel suo complesso, per il quale le imprese di dimensione micro-piccola (con meno di 50 addetti) rappresentano il 97% sul totale contro lo 0,3% delle grandi imprese.

Tabella 3 – Caratteristiche dimensionali delle aziende censite per gruppi di tecnologie energetiche

Gruppo di tecnologie	Aziende con più di 250 addetti	Aziende con fatturato superiore a 50 mln di euro	Numero di aziende	N° di addetti totali	Quota di donne dipendenti
Tecnologie delle energie rinnovabili	18,7%	24,5%	139	36.817	18,9%
Sistemi di accumulo energetico	26,7%	33,3%	15	4.771	23,5%
Sistemi cogenerativi	33,3%	37,5%	24	15.541	17,5%
Tecnologie di generazione con fonti tradizionali	57,1%	57,1%	7	18.645	26,2%
Tecnologie per l'efficienza energetica negli usi finali	55,9%	70,6%	34	21.334	22,2%

⁹ I dati disponibili sono relativi alla classe di fatturato delle aziende individuate nel Catalogo delle Tecnologie Energetiche.

Le aziende coinvolte nel settore delle tecnologie FER sono le più numerose e presentano una minore dimensione media – in termini di addetti e di fatturato – rispetto alle aziende attive nei settori delle tecnologie di generazione con fonti tradizionali e per l’efficienza energetica negli usi finali. Infatti, oltre l’80% delle aziende operanti nel settore FER è una micro, piccola o media impresa (con meno di 250 addetti). Un dato tendenzialmente simile in termini di dimensione si registra per i sistemi di accumulo e di cogenerazione, seppur caratterizzati da un numero di aziende di un ordine di grandezza inferiore. I settori più tradizionali si caratterizzano al contrario per una prevalenza di imprese di grandi dimensioni, la maggior parte delle quali con valori di fatturato annuo superiori ai 50 milioni di euro.

Un ulteriore dato che si è andato a ricercare, nella descrizione dell’impatto occupazionale, è la quota di donne rispetto al numero totale degli addetti. Nella Tabella 6 sono riportate le percentuali di donne occupate per ciascun gruppo di tecnologia che, come è facilmente riscontrabile, sono piuttosto basse. È ampiamente riconosciuto che un maggiore accesso delle donne alle professioni del settore energetico potrebbe dare un maggiore impulso al processo di transizione verso un’economia a basse emissioni di carbonio e sono diverse le iniziative messe in campo anche a livello internazionale (IEA, 2019).

3.2 Potenziale di mitigazione degli impatti sul clima

L’impatto sul clima rappresenta una questione importante ai fini della valutazione delle tecnologie nella prospettiva della transizione energetica. Pertanto, al fine di valutare il potenziale di sviluppo in funzione della riduzione delle emissioni climalteranti e della maturità tecnologica, i valori medi del TRL e la quantità di CO₂ evitata (kg/MWh) (se disponibile) sono stati messi a confronto per trovare un trend di questa dimensione.

Nello *scatter plot* della Figura 5, i quattro quadranti (I-IV) ordinano le tecnologie in quattro categorie. La larghezza dei punti corrisponde all’intervallo di TRL identificato nella Figura 3.

Il quadrante I contiene le tecnologie con un elevato TRL medio e un alto potenziale di riduzione di CO₂. Lo stretto intervallo di TRL fornisce inoltre un’indicazione del grado di maturità già raggiunto da queste tecnologie. Per favorirne la penetrazione sul mercato occorrerebbero politiche industriali per il rafforzamento della filiera nazionale oltre a interventi strutturali di natura politica nazionale e Comunitaria per favorire la produzione e l’utilizzo delle tecnologie a bassa emissione di gas climalteranti, senza però minare la competitività del sistema produttivo nazionale. Sono infatti ben noti i possibili *trade-off* tra le diverse dimensioni della politica energetica già riconosciute da approcci teorici (Gracceva F. et Zeniewski P., 2014) e la possibile vulnerabilità di un “sistema energetico vitale” (Cherp A. et Jewell G., 2014).

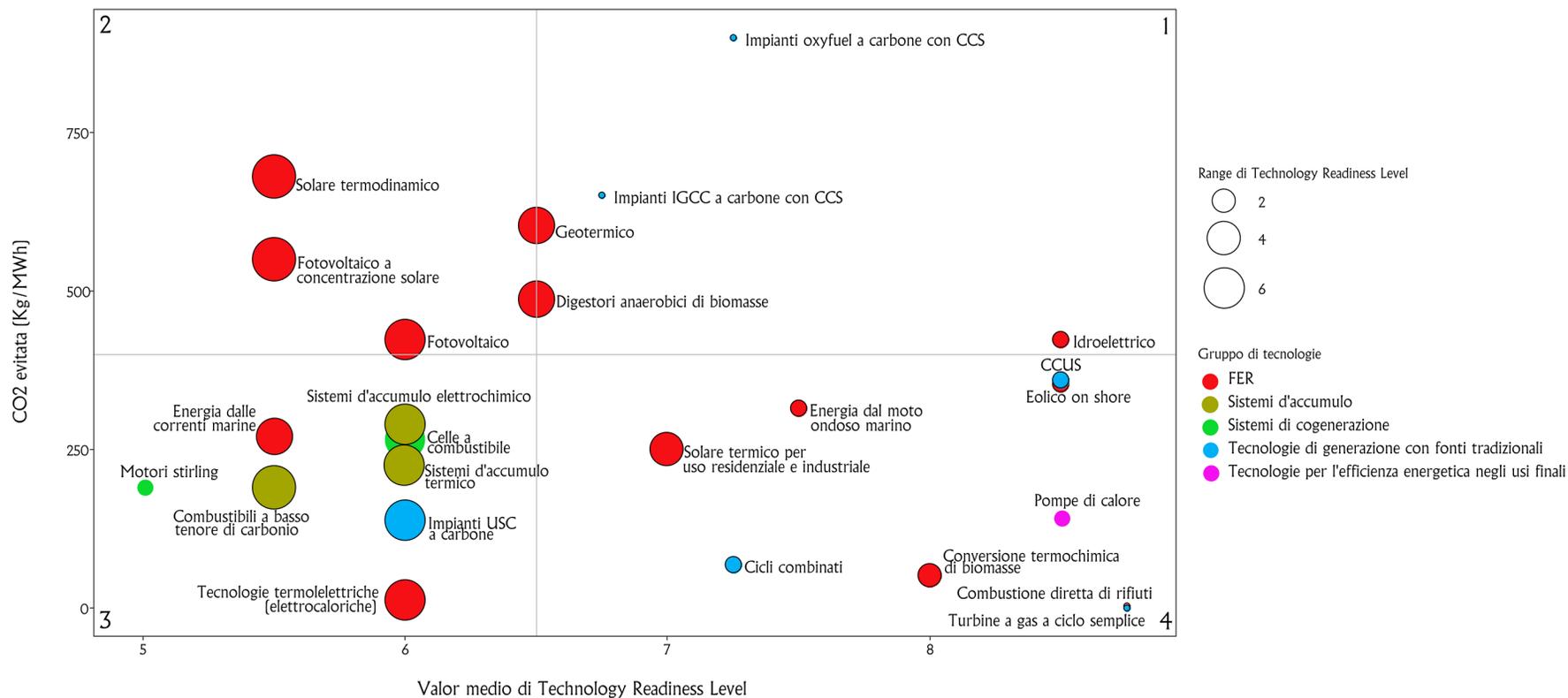


Figura 5 – Scatter plot delle tecnologie energetiche in relazione alle emissioni di CO₂ evitate (asse verticale) e valore medio del TRL (asse orizzontale). Sono individuati quattro quadranti (I-IV) che ordinano le tecnologie in quattro categorie dipendenti dal grado di maturità e dal contenimento degli effetti climalteranti. La larghezza dei punti indicatori corrisponde all'intervallo di TRL identificato nella Figura 3

Al contrario, nel quadrante II sono rappresentate le tecnologie di interesse dal punto di vista del potenziale di riduzione delle emissioni di CO₂, caratterizzate tuttavia da un livello di sviluppo tecnologico medio ancora basso e, quindi, con margini di sviluppo ancora elevati – ampio intervallo dei valori di TRL – come abbiamo visto nelle Figure 3 e 4. Le tecnologie energetiche basate sulle fonti rinnovabili si posizionano prevalentemente in questo quadrante. In particolare, quella del “Solare Termodinamico”, al momento, sembra la tecnologia con più alto potenziale in termini di emissioni di CO₂ evitate, pur necessitando ancora di un ulteriore sviluppo tecnologico. Sempre nell’ambito dell’energia dal sole, anche le tecnologie del “Fotovoltaico” tradizionale e di quello a concentrazione ricadono in questo quadrante. Il “Geotermico” e i “Digestori anaerobici di biomasse”, con un valore medio di TRL pari a 5, si avvicinano al quadrante I e, pur presentando margini di ulteriore sviluppo tecnologico, sono tecnologie relativamente più mature.

Nel quadrante III ricadono le tecnologie che allo stato attuale si caratterizzano per un limitato potenziale di riduzione delle emissioni di CO₂ e un livello medio del TRL ancora basso. Per tutte le tecnologie di questo quadrante bisogna però rilevare che un ulteriore aumento del grado di maturità tecnologica potrebbe avere effetti significativi in termini di efficienza e di conseguenza agire positivamente sulla capacità di mitigazione delle emissioni climalteranti. In particolare, si situano in questo quadrante tutti i sistemi cogenerativi, i sistemi di accumulo energetico e gli “Impianti a carbone USC” tra le tecnologie di generazione con fonti tradizionali. L’unica tecnologia FER presente è l’“Energia dalle correnti marine”, che mostra una capacità di ridurre le emissioni di CO₂ relativamente alta per il III quadrante. Le “Tecnologie termoelettriche (elettrocaloriche)” non sembrano, invece, interessanti in termini di impatto sulle emissioni climalteranti.

Infine, le tecnologie appartenenti al quadrante IV si caratterizzano prevalentemente per un livello medio del TRL elevato e, a parte il caso del “Solare termico”, per un *range* dei valori di TRL molto ristretto. I relativi mercati sono tendenzialmente maturi, con una struttura competitiva sostanzialmente definita. In funzione della loro capacità di riduzione delle emissioni, possono essere suddivise in due sottogruppi: relativamente medio-alta per il “Solare termico”, l’“Eolico on shore”, la “Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS)” e l’“Energia dal moto ondoso marino”; limitata per le restanti.

3.3 Potenziale di R&S in Italia

Il profilo di specializzazione delle Eccellenze non sembrerebbe insensibile alla dimensione pubblico/privato, come mostra la Tabella 4. Sebbene nel complesso i soggetti privati siano presenti su tutte le classi tecnologiche, si nota un peso sensibilmente maggiore nel gruppo delle tecnologie con fonti tradizionali, mentre per le tecnologie legate all’efficienza energetica per gli usi finali si osserva una presenza paritaria tra pubblico e privato.

Tabella 4 – Profilo di specializzazione dei centri d’eccellenza secondo il gruppo di tecnologie

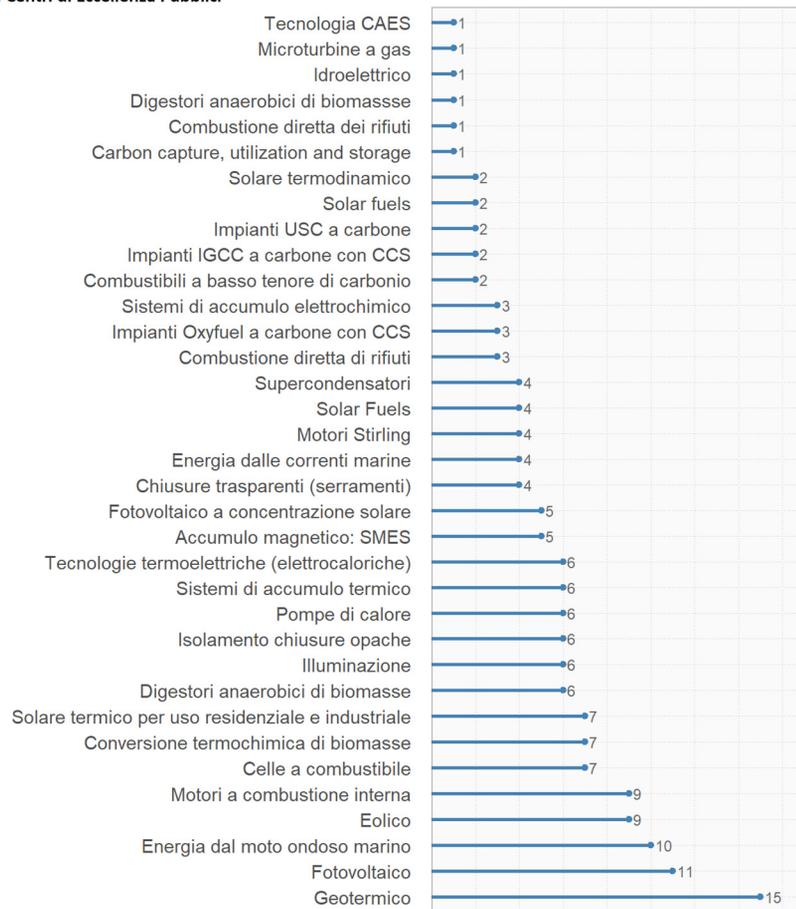
	Pubblico	Privato
Tecnologie delle energie rinnovabili	73%	27%
Sistemi cogenerativi	62%	38%
Sistemi di accumulo energetico	61%	39%
Tecnologie per l’efficienza energetica negli usi finali	50%	50%
Tecnologie di generazione con fonti tradizionali	31%	69%

Sono queste le tecnologie connotate dal più elevato valore medio di TRL, come già rappresentato in Figura 3.

La Figura 6 restituisce il dettaglio del numero delle Eccellenze, suddivise tra soggetti pubblici e privati, per singola tecnologia. Confrontando le tecnologie su cui si concentra il maggior numero di Eccellenze, emerge un interesse condiviso di soggetti sia pubblici che privati per una serie di tecnologie: con una prevalenza di centri di eccellenza pubblici per alcune tecnologie FER – “Fotovoltaico”, “Eolico”, “Energia dal moto ondoso marino” e “Digestori anaerobici di biomasse” – e con una prevalenza di soggetti privati per le “Celle a combustibile”, per i sistemi di accumulo, in particolare “Accumulo magnetico SMES”, e per alcune tecnologie per l’efficienza energetica negli usi finali – “Chiusure trasparenti – serramenti” e “Isolamento chiusure opache”. Questo dato è probabilmente riconducibile alle diverse finalità dei soggetti pubblici e privati, alla presenza sul mercato e alla maturità delle differenti tecnologie.

Rimangono da indagare, invece, le ragioni per cui nella tecnologia del “Geotermico” si rilevi la numerosità più elevata di soggetti pubblici attivi e l’assenza di soggetti privati. Per questa tecnologia si segnala la presenza del Consorzio per lo Sviluppo delle Aree Geotermiche (COSVIG Scrl), società consortile il cui capitale è interamente detenuto da soggetti pubblici – Regione Toscana ed Enti Locali delle Aree Geotermiche, che non è censito nel Catalogo. In senso opposto per la tecnologia per “Impianti USC a carbone” si rileva un pressoché esclusivo ed elevato interesse di soggetti privati.

(a) Centri di Eccellenza Pubblici



(b) Centri di Eccellenza privati

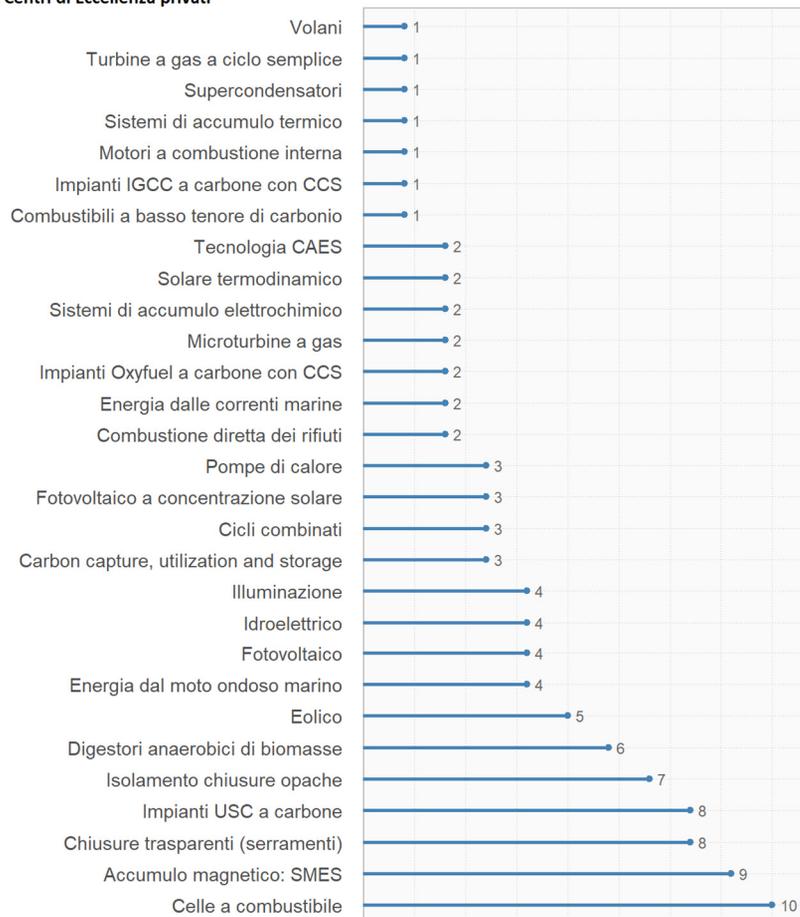


Figura 6 – Numero di Eccellenze per tecnologia per soggetti di diritto pubblico (a) e privato (b)

La presenza di Eccellenze esclusivamente pubbliche in tecnologie quali i “Solar Fuels” e i “Motori Stirling” è da collegare molto probabilmente allo stato prototipale delle stesse, così come indicato dal basso livello medio del TRL e dallo stretto *range* dei valori di TRL.

Come si è avuto modo di evidenziare, la diversa numerosità relativa di soggetti pubblici e privati coinvolti nelle varie tecnologie può essere riconducibile a vari fattori ed è un elemento dell’analisi da approfondire in quanto ne possono emergere utili indicazioni sui punti di forza e di debolezza del sistema innovativo nazionale.

Se da un lato la maggiore specializzazione dei centri di Eccellenza privati in tecnologie a maggior grado di maturità non sorprende, dall’altro occorre rilevare che sono proprio le innovazioni che si pongono alla frontiera, richiedenti un approccio manageriale più di tipo *interpretativo* che semplicemente *analitico*, quelle a maggior impatto (Lester R.K. et Piore M.J., 2004). Da questo punto di vista l’azione integrata di soggetti pubblici e privati sembra essere uno degli elementi strategici di successo.

Un dato non trascurabile è quello relativo al considerevole numero di Eccellenze relative alle tecnologie che ricadono nei quadranti II e III della Figura 5.

Per le tecnologie che ricadono nel quadrante II – elevato potenziale di innovazione e elevata capacità di riduzione delle emissioni di CO₂ – si tratta di 55 attori, dei quali 40 riconducibili a soggetti di diritto pubblico e 15 a soggetti di diritto privato.

Per le tecnologie di cui al quadrante III i centri di ricerca sono in numero di 59, precisamente 34 di carattere pubblico, 24 di carattere privato e 1 di carattere misto consortile. Aziende ed enti pubblici sono quindi attori di un sistema di relazioni finalizzato allo sviluppo tecnologico.

La *network analysis* (Mascarenhas et al., 2018; Doleck T. et Lajoie S., 2018) è stata utilizzata per individuare il legame (*tie*) tra tecnologie ad alto potenziale di sviluppo – ricavate dai quadranti II e III di Figura 5 – e le Eccellenze del settore pubblico e privato rappresentati graficamente come nodi di una rete, anche detta *grafo* (Figura 7).

Il 42% circa delle Eccellenze evidenziate nel Catalogo trova rappresentazione nel grafo, per un totale di 114 *link*. Ogni nodo è caratterizzato da posizione e ampiezza. Una maggiore centralità nell’assetto grafico e una maggiore ampiezza del nodo indicano un maggior numero di legami, in questo caso il numero di collegamenti tra la specifica tecnologia e le Eccellenze. La vicinanza tra i nodi che rappresentano le Eccellenze non indica necessariamente la sussistenza di legami diretti, essendo una informazione non desumibile in forma esauriente dal Catalogo, quanto piuttosto una similitudine di interessi tecnologici.

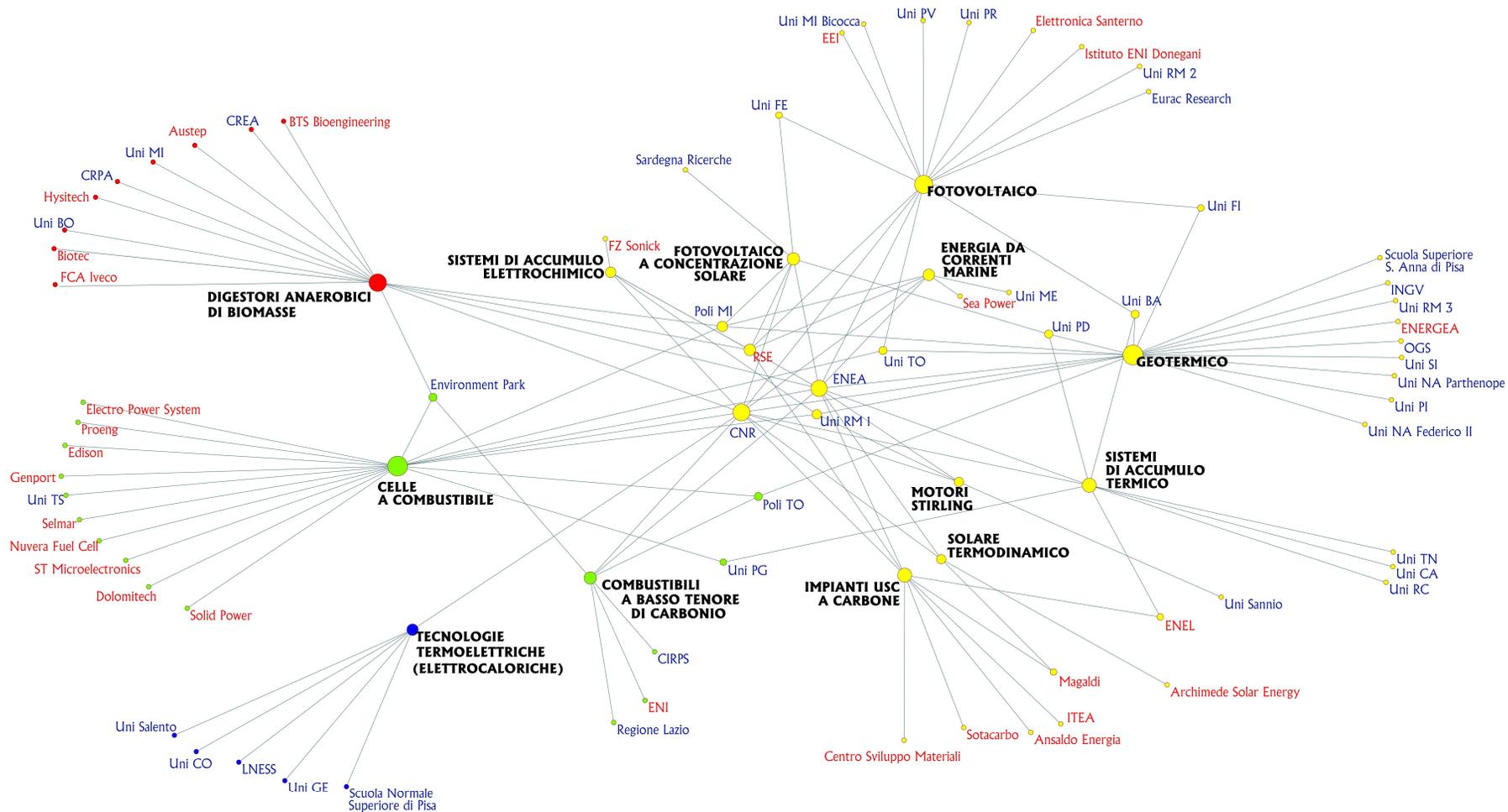


Figura 7 – Network analysis applicata alle relazioni tra tecnologie ad alto potenziale di sviluppo tecnologico (quadranti II e III di Figura 4) e Centri di eccellenza. Le etichette contrassegnate in blu e in rosso indicano rispettivamente soggetti pubblici e privati. Ogni nodo è colorato in base al proprio cluster di appartenenza (metodo Louvain communities) ed è caratterizzato da posizione e ampiezza. Una maggiore centralità e maggiore ampiezza indica un maggior numero di legami

Ciò considerato, può essere utile segmentare la rete in gruppi internamente omogenei, ovvero caratterizzati da una specializzazione tecnologica simile. In questi termini, ogni gruppo può rappresentare un quadro sintetico della segmentazione dell'offerta e racchiude attori del sistema che possono essere equamente sia concorrenti che cooperativi. Nella presente analisi, quattro gruppi di relazioni tecnologia/Eccellenza sono stati identificati e rappresentati da colori diversi (Figura 7).

Il gruppo di gran lunga più esteso, colorato in giallo, è quello che interessa le tecnologie "Accumulo termico", "Impianti a carbone USC", "Solare termodinamico", "Accumulo elettrochimico", "Fotovoltaico a concentrazione" e "Motori Stirling", il "Geotermico" e il "Fotovoltaico". I centri di ricerca CNR, ENEA e RSE e l'Università di Roma I "La Sapienza", il Politecnico di Milano, l'Università e il Politecnico di Torino tendono a posizionarsi al centro di questo assetto.

Più distanti appaiono gli altri tre gruppi, probabile indizio, almeno allo stato attuale, di una minore leva sinergica tra le tecnologie coinvolte e di una maggiore specializzazione dei soggetti operanti. Si tratta di gruppi dominati da "Digestori anaerobici di biomasse" (in rosso), con una forte componente di soggetti privati; dalle "Tecnologie termoelettriche (elettrocaltoriche)" (in blu), con il coinvolgimento esclusivo di enti pubblici; dalle "Celle a combustibile" unitamente ai "Combustibili a basso tenore di carbonio" (in giallo) tra loro interconnessi, ma più diversificati nelle interazioni con le Eccellenze.

Alcune presenze sul territorio nazionale – ad esempio la Fondazione Bruno Kessler (FBK) per la ricerca sui sistemi di accumulo e sull'idrogeno – potrebbero essere sfuggite nella compilazione delle schede per la natura multidisciplinare e la collaborazione con istituti di in forma di consorzi.

3.4 Potenziale di sviluppo del territorio nazionale

Per le 36 tecnologie riportate nel Catalogo è stata fatta una mappatura, a livello regionale, delle unità locali delle aziende italiane coinvolte nello sviluppo delle tecnologie e delle Eccellenze che mostra una distribuzione territoriale non completamente omogenea (Figura 8). Sia le unità locali delle aziende che i Centri di Eccellenza si concentrano prevalentemente nelle regioni centro-settentrionali del Paese, sebbene in misura meno accentuata per i secondi.

Questa differenza dipende dalle diverse logiche di localizzazione dei diversi soggetti, con le imprese che insistono sulle aree maggiormente industrializzate del tessuto produttivo nazionale e le Eccellenze, soprattutto pubbliche, che sono invece legate agli insediamenti delle Università e dei grandi enti di ricerca pubblici. Di conseguenza, regioni come il Lazio e la Campania, sedi di numerosi Enti di ricerca pubblici attivi nell'ambito delle tecnologie energetiche, si caratterizzano per una quota di Eccellenze comparativamente maggiore di quanto rilevabile per le Unità locali delle aziende.

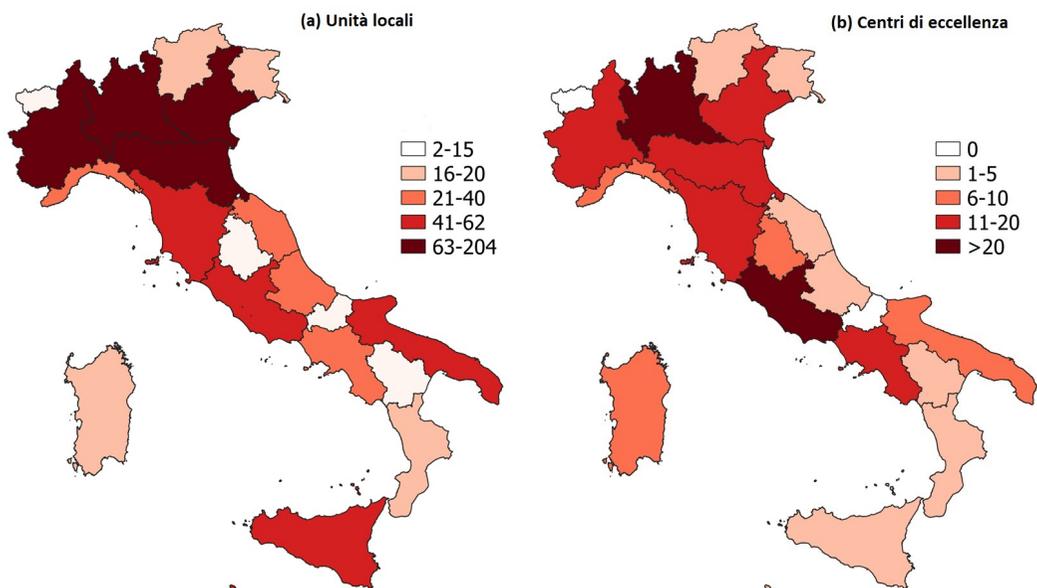


Figura 8 – Mappatura regionale del numero delle Unità locali delle aziende che sviluppano le tecnologie energetiche (a) e dei Centri di eccellenza (b)

Dal confronto delle due mappe emerge che il Lazio, la Campania, la Sardegna, l’Umbria e la Basilicata mostrano una distribuzione dei Centri superiore rispetto a quella rilevata per le Unità locali. Tale discordanza, oltre a fattori strutturali del sistema industriale e del mercato, potrebbe essere anche correlata con limitate iniziative volte al trasferimento tecnologico a livello locale.

Su tutte le Eccellenze è stata eseguita una geolocalizzazione su mappa in relazione al tessuto urbano.

La Figura 9 mostra in sovrapposizione due distinti *layer* geografici: il primo, contrassegnato dalla colorazione in blu, esprime il grado di urbanizzazione locale, il secondo riporta la posizione puntuale dei centri d’eccellenza, contrassegnati dal colore in rosso.

La Figura 9 suggerisce l’elevata preferenza dei Centri di Eccellenza per contesti maggiormente urbanizzati. Tale evidenza è peraltro coerente con un’ampia letteratura sui fattori di localizzazione delle imprese e delle attività innovative nell’alta tecnologia. Va sottolineato come nella letteratura non vi sia comunque spazio per una correlazione deterministica tra le dimensioni del contesto urbano e la propensione all’innovazione (Lazzeroni, 2010).

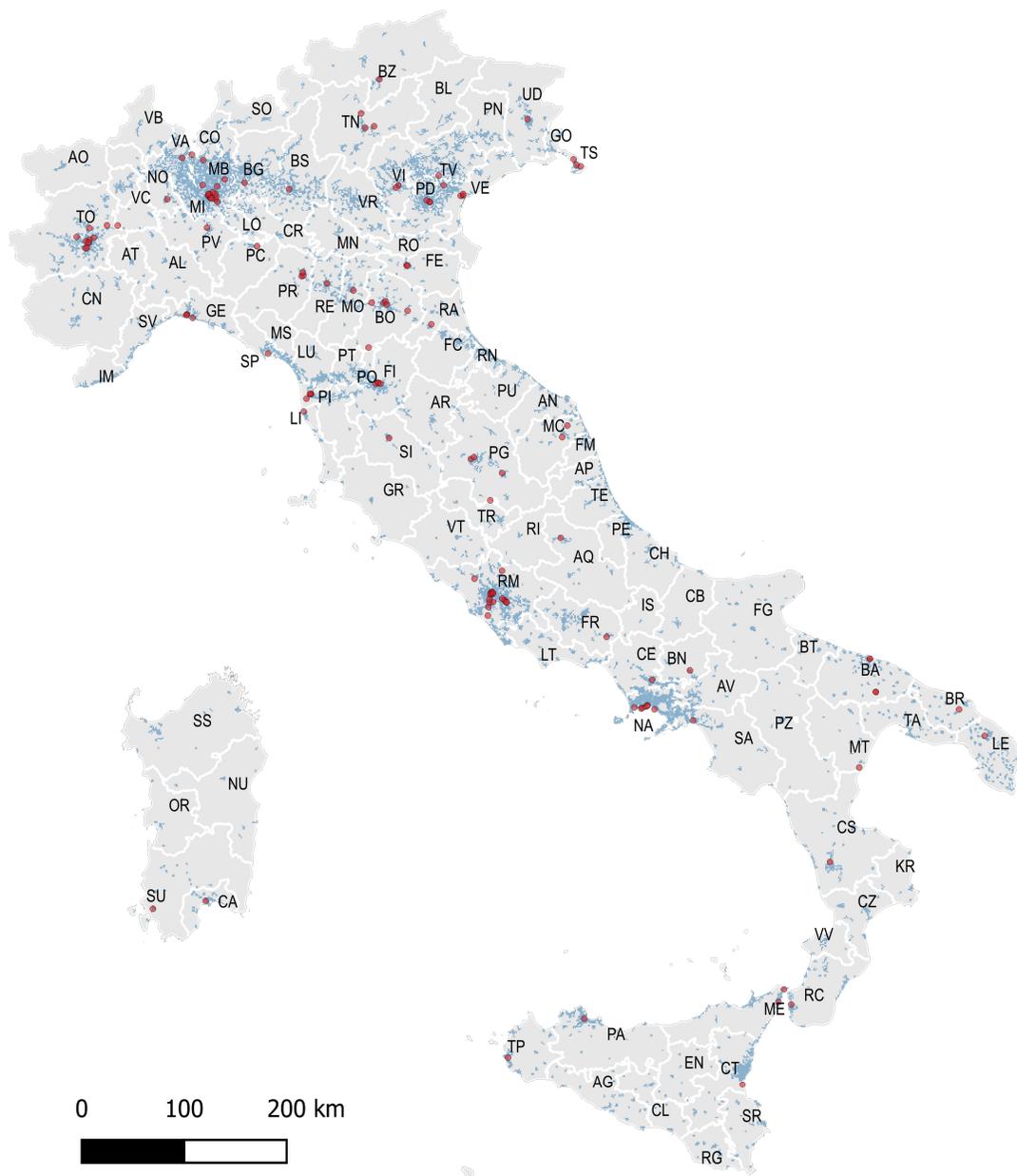


Figura 9 – Mappa del grado di urbanizzazione ad alta risoluzione (punti in blu) e della localizzazione dei Centri d’eccellenza (punti in rosso)

Se osserviamo la Figura 9 si nota la presenza di due distinti tipi di distribuzione spaziale delle Eccellenze: a “macchia d’olio” in corrispondenza delle aree più urbanizzate, a “macchia di leopardo” sul resto del territorio. Sono quattro i cluster territoriali “forti”: Milano, Roma, Torino, Napoli.

Cluster meno estesi ma ad alta densità si verificano in corrispondenza di Trieste, Trento e Bolzano, le province emiliane e le province di Venezia, Vicenza, Padova, Treviso. Cluster a minore densità sono quelli di Pisa-Livorno e Firenze.

Nelle regioni meridionali, dove non mancano Eccellenze, si riscontrano indizi di presenze maggiormente spazialmente aggregate, eccezion fatta per la già citata provincia di Napoli, solo nelle Province di Messina-Reggio Calabria e in quella di Bari, che però non sembrano configurare un raggruppamento in senso “forte”.

Per indagare se esiste una tendenza alla concentrazione spaziale dei Centri di Eccellenza, visibile già dalla Figura 9, ma anche il valore delle distanze medie reciproche tra gli stessi punti in corrispondenza del quale la concentrazione spaziale è massima, è stata utilizzata la funzione L di Ripley. Da questa stima emerge un picco in corrispondenza di un intervallo di 15-40 km circa, a suggerire che a tali distanze la tendenza a formare raggruppamenti è massima. I punti quindi non si distribuiscono casualmente e tendono a disporsi relativamente vicini l’uno all’altro.

Da tali evidenze si può quindi desumere che le Eccellenze sembrerebbero ricavare un sostanziale beneficio dalla concentrazione in contesti altamente urbanizzati. Tali evidenze sembrano spiegabili alla luce della teoria del *milieu innovateur*. Il *milieu innovateur* è il contesto *innovation friendly* nel quale operano comuni modelli cognitivi e la “conoscenza tacita” viene trasmessa (Camagni, 1991).

Non si tratta quindi soltanto di economie di agglomerazione, ma anche di sviluppo di una comune identità nella quale gli attori scambiano informazioni e riducono il rischio di opportunismo e l’incertezza, generando un processo di apprendimento collettivo, in altre parole “facendo conoscenza tacita”. Alla base della conoscenza tacita è la “prossimità relazionale”, della quale la distanza fisica qui analizzata non è che un indicatore. Ciò pone tra l’altro in luce l’esigenza di spostare il focus dell’analisi dal posizionamento strategico del singolo entro di Eccellenza a quello del sistema-città-territorio.

4. Conclusioni

Il Catalogo delle Tecnologie Energetiche fornisce un quadro molto dettagliato sullo stato dell'arte – al 2017 – delle tecnologie energetiche utili all'avanzamento del processo di decarbonizzazione.

Questo studio, condotto da un team multidisciplinare di ricercatori ENEA, a partire da alcuni dati e informazioni contenuti nel Catalogo, propone una metodologia di valutazione del potenziale di sviluppo delle tecnologie energetiche con l'obiettivo di fornire un approccio metodologico utile ad individuare strumenti idonei a favorirne la diffusione.

L'aspetto innovativo della metodologia proposta consiste nel tentativo di correlare il livello di sviluppo delle tecnologie (TRL) con il potenziale di riduzione delle emissioni climalteranti, così come la relazione con i centri di eccellenza oltre all'impatto sui territori. I risultati presentati sono basati sulle informazioni desunte dal Catalogo. Per ottenere una valutazione più rappresentativa è necessario ampliare e aggiornare la base informativa applicando la metodologia a *data-set* più completi che coprono l'intero settore produttivo delle tecnologie energetiche a livello nazionale.

L'analisi è stata condotta per valutare diversi livelli del potenziale delle tecnologie energetiche, in particolare:

- maturità tecnologica e partecipazione delle aziende italiane;
- impatto sul clima;
- attività di ricerca e sviluppo;
- diffusione sul territorio nazionale.

Tuttavia, essendo le informazioni relative allo stato di sviluppo delle singole tecnologie e al loro impatto in termini di riduzione delle emissioni valide a livello internazionale e non strettamente specifiche per la realtà italiana, attraverso tali dati è stato possibile arrivare ad una descrizione delle potenzialità, sia attuali che prospettive, delle singole tecnologie con la finalità della decarbonizzazione dei sistemi produttivi che ha necessitato di un ulteriore livello di approfondimento.

Per quanto riguarda la situazione specifica italiana, l'analisi si è basata prevalentemente sulla numerosità dei soggetti censiti nel Catalogo e sulle informazioni relative alla loro distribuzione territoriale e alla caratterizzazione strutturale attualmente disponibili da fonti esistenti. In particolare, per la distribuzione territoriale si è utilizzato il dato relativo alla localizzazione delle Unità locali delle imprese censite, mentre relativamente alle caratteristiche dimensionali delle imprese si è fatto ricorso ad alcune informazioni ricavabili dall'archivio statistico dell'Istat ASIA.

L'integrazione dei dati estratti dal catalogo con quelli relativi al tessuto produttivo ha permesso quindi di affinare lo studio consentendo di individuare alcune aree tecnologiche

che appaiono di particolare interesse per l'Italia, nella prospettiva di coniugare gli obiettivi della decarbonizzazione e della competitività economica del nostro sistema economico, come ad esempio alcune tecnologie FER e i sistemi di accumulo di energia.

Dallo studio emerge che in Italia le imprese e i soggetti di ricerca pubblici sono impegnati nello sviluppo delle tecnologie energetiche e che un maggiore scambio tra le due realtà potrebbe consentire di aumentare il livello di maturità tecnologica lì dove i prodotti non sono ancora presenti sul mercato, pur mostrando elevate potenzialità.

L'analisi presentata mostra, inoltre, come le condizioni di contesto possano agire da catalizzatore dell'innovazione. Non si tratta solo di costruire nuove infrastrutture, elemento pure indispensabile. Si tratta piuttosto di spostare l'unità d'analisi degli interventi, pubblici e privati, dalla singola iniziativa alla città intera. Tali interventi coordinati soprattutto dalle amministrazioni locali, più vicine al territorio, dovrebbero anche prevedere la partecipazione dei cittadini. La pianificazione strategica dovrebbe essere mirata a favorire elementi di capitale sociale, sollecitando l'interazione e la partecipazione degli attori, la crescita di fiducia reciproca e di valori e obiettivi. Accanto a queste considerazioni, non bisogna tralasciare che un ulteriore elemento a favore della diffusione delle tecnologie è rappresentato dalla diffusione della conoscenza delle sfide energetiche e ambientali favorita da iniziative formative, informative ed educative rivolte ad un vasto pubblico, a cominciare dal mondo della scuola.

Questa valutazione, tuttavia, fornisce solo un primo nucleo di analisi ed evidenzia un gap informativo sui settori produttivi delle tecnologie energetiche oggetto di studio. Per poter effettuare una valutazione più dettagliata del potenziale di sviluppo delle tecnologie energetiche a livello nazionale, finalizzata alla proposta di politiche finalizzate agli obiettivi richiamati in precedenza, è necessario ampliare la base informativa disponibile sui settori produttivi coinvolti, proseguendo e valorizzando il lavoro di rete fra i principali attori di settore nazionali.

Sarebbe opportuno, in primo luogo, implementare una raccolta continuativa di dati e informazioni sulle imprese attive nello sviluppo e nella produzione delle tecnologie energetiche per la decarbonizzazione per ovviare all'assenza della disponibilità di statistiche, sia puntuali che in serie storica. Informazioni più puntuali sulla catena del valore delle diverse tecnologie consentirebbero anche valutazioni sugli effetti occupazionali del loro sviluppo, come già fatto per alcune singole tecnologie energetiche (Felici B. et al., 2015).

In secondo luogo, altre fonti di dati da valorizzare, per valutare in particolare l'innovatività del sistema economico nazionale anche in un confronto internazionale, sono quella delle informazioni brevettuali e quella delle statistiche sulla spesa in ricerca e sviluppo nelle tecnologie energetiche elaborate dalla International Energy Agency (IEA).

Dovrebbe, inoltre, essere previsto un aggiornamento del Catalogo per includere tecnologie emergenti attualmente non censite, come ad esempio le tecnologie “Liquid Air Energy Storage (LAES)” e “Power to gas”.

Un ulteriore sforzo per la raccolta di informazioni e dati, anche in un’ottica internazionale, è dunque necessario per caratterizzare il posizionamento del sistema produttivo nazionale in questi settori e per formulare ipotesi di *policy*. Interventi volti a sostenere la ricerca e/o a incentivare la domanda di specifici prodotti e tecnologie, se non opportunamente supportati da un’approfondita conoscenza dei relativi settori e delle dinamiche che li caratterizzano, rischiano di non conseguire i risultati desiderati. Il rischio è quello di creare situazioni di criticità come quella che è stata osservata per il fotovoltaico in Italia¹⁰ dove, in assenza di una filiera nazionale sufficientemente strutturata per cogliere tale opportunità di domanda, determinati sistemi di incentivazione hanno generato una crescente dipendenza da importazioni di pannelli fotovoltaici dall’estero.

Ringraziamenti

Si ringrazia Giorgio Graditi, Vicedirettore del Dipartimento Tecnologie Energetiche ENEA e Coordinatore del Comitato Tecnico Scientifico Cluster Tecnologico Nazionale Energia, per la supervisione del lavoro. Per il supporto alle scelte metodologiche si ringraziano i colleghi Lucio Triolo e Gaetano Fasano. Un ringraziamento particolare va a Marcello Capra, Delegato nazionale SET Plan Europeo – MiSE, per l’*endorsement* nell’approfondimento dei contenuti dello studio.

¹⁰ Cfr. Rapporto Energia e Ambiente 2009-2010, Il Compendio – “Sviluppo del fotovoltaico e carenza di una politica industriale: il caso Italia”, p. 51-53.

<http://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-rea/2009-2010/compendiorea2009-2010.pdf>

Bibliografia

1. Cooper M. (2018) Governing the global climate commons: The political economy of state and local action, after the U.S. flip-flop on the Paris Agreement. *Energy Policy*, 118: 440-454
2. Aggarwal P., Vyas S., Thornton P., Campbell B.M., Kropff M. (2019) Importance of considering technology growth in impact assessments of climate change on agriculture. *Global Food Security*, 23: 41-48
3. Maas R. et Grennfelt P. (2016) Towards Cleaner Air. Scientific Assessment Report 2016. EMEP Steering Body and Working Group on Effects of the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Oslo
4. E.ON (2008) Carbon, Cost and Consequences. E.ON UK publication
5. Boston A. (2013) Delivering a secure electricity supply on a low carbon pathway. *Energy Policy*, 52: 55-59
6. WEC (2016) World Energy Trilemma Index 2016. Benchmarking the sustainability of national energy systems. London EC3V, United Kingdom
7. Olabi A.G. (2016) Energy quadrilemma and the future of renewable energy. *Energy*, 108: 1-6
8. Parkes G. and Spartaru C. (2017) Integrating the views and perceptions of UK energy professionals in future energy scenarios to inform policymakers. *Energy Policy*, 104: 155-170
9. Oliver J. et Sovacool B.K. (2015) The Energy Trilemma and the Smart Grid: Implications Beyond the United States. *Asia & the Pacific Policy Studies*, 4,1: 70–84
10. Gunningham N. (2013) Managing the energy trilemma: The case of Indonesia. *Energy Policy*, 54: 184-93
11. Rehner R. et McCauley D. (2016) Security, Justice and the Energy Crossroads: Assessing the Implications of the Nuclear Phase-out in Germany. *Energy Policy*, 88: 289-298
12. Táczai I. (2016) System Effects of Intermittent Renewable Generators (Wind, Solar) – Balancing, ERRA, Budapest, Hungary
13. Malcev N.V. et Shaybakova L.F. (2020) Evaluation of the Innovative Activity Efficiency While Developing the Sectoral Technology Policy in the Region. In: Solovev D. (eds) *Smart Technologies and Innovations in Design for Control of Technological Processes and Objects: Economy and Production*. Far East Con 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies 138
14. Noha H., Seob J., Yoob H.S., Leea S. (2018) How to improve a technology evaluation model: A data-driven approach. *Technovation*, 73: 1– 12
15. Hsu D.W., Shen Y.C., Yuan B.J., Chou C.J. (2015) Toward successful commercialization of university technology: performance drivers of university technology transfer in Taiwan. *Technol. Forecast. Soc. Change* 92, 25–39.
16. Cho J. and Lee J. (2013) Development of a new technology product evaluation model for assessing commercialization opportunities using Delphi method and fuzzy AHP approach. *Expert Syst. Appl.*, 40 (13): 5314–5330.

17. Kim S.K., Lee B.G., Park B.S., Oh K.S. (2011) The effect of R & D, technology commercialization capabilities and innovation performance. *Technol. Econ. Dev. Econ.*, 17 (4): 563–578
18. Carrera D.G. et Mack A. (2010) Sustainability assessment of energy technologies via social indicators: Results of a survey among European energy experts. *Energy Policy*, 38: 1030-1039
19. Giuffrida L.G., De Luca E., Sanson A. (2019) Il catalogo delle tecnologie energetiche. AEIT, 1/2, 38-43
20. RSE Colloquia (2017) Decarbonizzazione dell'economia italiana. Scenari di sviluppo del sistema energetico nazionale. RSE, Milano, Italy. ISBN 978-88-907527-6-6
21. Sanson A. et Giuffrida L.G. (2017) Decarbonizzazione dell'economia italiana. Il Catalogo delle tecnologie energetiche. ENEA, Rome, Italy. ISBN 978-88-8286-349-4
22. Di Nucci M. R. et Russolillo D. (2019) Energy Governance in Italy. Path Dependence, Policy Adjustments and New Challenges for Sustainability. In: M. Knodt, J. Kemmerzell (eds.), *Handbook of Energy Governance in Europe*, Springer Nature
23. European Commission (2017) Technology Readiness Level: Guidance Principles for Renewable Energy technologies – Final Report. EUR 27988 EN. European Commission B-1049 Brussels
24. ARENA (2014) Technology Readiness Levels for Renewable Energy Sectors. Australian Government, Australian Renewable Energy Agency
25. Krugman P. (1996) Urban Concentration: The Role of Increasing Returns and Transport Costs. *International Regional Science Review*, 19 (1-2): 5–30
26. Rosenthal S. S. et Strange W. C. (2004) Evidence on the nature and sources of agglomeration economies. *Handbook of regional and urban economics*, 4: 2119–2171
27. Sorrentino I. (2001), Le azioni a favore della crescita del potenziale di innovazione all'interno di sistemi territoriali. Istituto di Studi per la Direzione e Gestione di Impresa, Quaderni Stoà, 2/2001
28. Aydalot P. (1986) *Milieux Innovateurs en Europe*, GREMI, Paris
29. Camagni R. (1991) Technological change, uncertainty and innovation networks: towards a dynamic theory of economic space, in R. Camagni (ed.) *Innovation networks: spatial perspectives*, Belhaven-Pinter, Londra
30. Camagni R. (2007) *Towards a Concept of Territorial Capital*, ERSA, Cergy-Paris
31. Lanzalaco L. (2009) Energia, istituzioni e sviluppo locale nella provincia di Macerata – Collana Istituzioni, politica e sviluppo locale n. 4, Università degli Studi di Macerata
32. Dell'Anno D. (2010) La conoscenza dall'università all'impresa. Processi di trasferimento tecnologico e sviluppo locale
33. Russo A. et Vite E. (2011) Politiche pubbliche e innovazione tecnologica: il caso di Cosenza. *Sociologia del Lavoro*, 122: 69-80
34. Galili T. (2015) Dendextend: an R package for visualizing, adjusting and comparing trees of hierarchical clustering. *Bioinformatics*, 31, 22: 3718–3720

35. Baddeley, A., Rubak, E. Turner, R. (2015) *Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R*. Chapman and Hall/CRC Press
36. De Luca E., Zini A., Amerighi O., Coletta G., Oteri M.G., Giuffrida L.G. (2019) An expert-based technology evaluation for assessing the potential contribution of energy technologies to Italy's decarbonisation path. 4th Renewable Energy Sources – Research and Business RESRB 2019 conference, July 8-9, 2019, Wroclaw, Poland
37. IEA (2019) *Status report on Gender Equality in the Energy Sector*
38. Gracceva F. et Zeniewski P. (2014) A systemic approach to assessing energy security in a low-carbon EU energy system. *Applied Energy*, 123: 335-348
39. Cherp A. et Jewell J. (2014) The concept of energy security: beyond the four AS. *Energy policy*, 75, 415-421
40. Lester R.K. et Piore M.J. (2004) *Innovation. The missing dimension*, Cambridge (Mass.)
41. Mascarenhas C., Ferreira J., Marques C. (2018) University–industry cooperation: A systematic literature review and research agenda. *Science and Public Policy*, 45, 5: 708–718
42. Doleck T. et Lajoie S. (2018) Social networking and academic performance: A review. *Education and Information Technologies*, 23,1: 435–465
43. Lazzeroni M. (2010) High-Tech activities, system innovativeness and geographical concentration insights into technological districts in Italy, *European Urban and Regional Studies*, 17(1): 45–63
44. Ammassari R. et Palleschi MT. (2007) *Sviluppo Sostenibile e Processi di Partecipazione, Figure Professionali per la Gestione dei Conflitti Socio-Ambientali. Temi & strumenti. Studi e ricerche 35*, ISFOL, Roma
45. Fortore Energia, Ministero dell'Ambiente, Soluzioni Srl (2002) *Studio di fattibilità, Energia da fonti rinnovabili: un volano per lo sviluppo locale autosostenibile*
46. Art Srl, Analisi e Ricerche Territoriali Roma e Modena, RSE SpA (2011) *Energia Eolica e sviluppo locale Territori, green economy e processi partecipativi*
47. Felici B., Corrias P., Baldissara B., Amerighi O., Tricoli C. (2015) L'impatto occupazionale delle fonti energetiche rinnovabili in Italia: il fotovoltaico. Un approccio bottom up sul metodo dell'employment factor, applicato alle fasi della catena del valore <http://openarchive.enea.it/handle/10840/6814>

ENEA - Servizio Promozione e Comunicazione

enea.it

Dicembre 2019