

Strumenti WebGIS a supporto della pianificazione territoriale energetica

Martina Aiello, Igor Galbiati, Giulia Ronchetti, Milena Angelina Vergata

2024

Progetto Energia da fonti rinnovabili e integrazione nel territorio

Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024 della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale





Accordo di programma 2022-2024 con il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica per le attività di ricerca e sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale.

Progetto Energia da fonti rinnovabili e integrazione nel territorio

Work Package WP 2 – caratterizzazione energetica del territorio

Linea di Attività LA 2.06 - Studi a supporto dello sviluppo delle FER: scenari di raggiungimento degli obiettivi

Codice identificativo RT-2.5-2.06-2

Titolo: Strumenti WebGIS a supporto della pianificazione territoriale energetica

Autori: Martina Aiello, Igor Galbiati, Giulia Ronchetti, Milena Angelina Vergata

Verificatori: Elisabetta Garofalo

Approvatori: Michele de Nigris, Stefano Maran

Tipologia di documento: RAPPORTO

Data di emissione: 31/12/2024

Note: prima emissione

© Copyright 2024 by Ricerca sul Sistema Energetico-RSE S.p.A.

Contributo/i liberamente utilizzabile/i a condizione che venga chiaramente e visibilmente citata la società titolare.

Per la tutela dell'ambiente, prima di stampare questo documento pensa bene se è veramente necessario.

Ricerca sul Sistema Energetico – RSE S.p.A.

Società con unico socio soggetta alla direzione e al coordinamento di GSE S.p.A. - Sede Legale - 20134 Milano - Via R. Rubattino, 54

Tel. +39 023992.1 - Fax +39 023992.5370 - PEC rse@legalmail.it

Reg. Imprese di Milano, P.IVA e C.F. 05058230961

R.E.A. di Milano n. 1793295 – Cap. Soc. € 1.100.000 i.v.

[Mod. RARDS v.14]

INDICE

INDICE	3
SOMMARIO.....	4
1 - INTRODUZIONE	5
2 - STRUMENTI WEBGIS PER LA PIANIFICAZIONE ENERGETICA: MANUTENZIONE E AGGIORNAMENTO	8
2.1 GeoDB ETA.....	8
2.1.1 Strumento di supporto alla valutazione del potenziale territoriale per il raggiungimento degli obiettivi FER.....	9
2.2 Nuovo Atlante Integrato	13
2.2.1 Aree agricole abbandonate disponibili per installazioni fotovoltaiche	14
2.2.2 Recupero del calore di scarto	15
2.3 Geo-EnTer	17
2.3.1 Diffusione dei punti di ricarica per veicoli elettrici in Italia	18
2.3.2 Mappa delle iniziative CER in Piemonte.....	18
2.3.3 Mappe di qualità dell'aria: stime odierne e previsioni a tre giorni	20
2.3.4 Cambiamenti climatici e risorsa idrica: tra incertezze, sfide ed opportunità.....	22
3 - CONCLUSIONI	23
4 - BIBLIOGRAFIA	24
5 - ACRONIMI	28

SOMMARIO

L'uso di strumenti GIS e WebGIS è ormai imprescindibile in moltissimi contesti decisionali che comportano la conoscenza, la rappresentazione e l'analisi del territorio, anche grazie alle sempre più ampie funzionalità di visualizzazione e gestione spaziale e temporale dei dati geografici messe a disposizione dalle attuali tecnologie informatiche. In particolare, l'evoluzione delle piattaforme WebGIS, che sfruttano architetture basate su standard internazionali per l'accesso a informazioni geospaziali via internet, ha ampliato le possibilità di condivisione interattiva e di supporto decisionale, dando la possibilità di coinvolgere attivamente gli stakeholder nel processo di pianificazione. Nell'ambito degli studi svolti nel progetto "Energia da rinnovabili e integrazione nel territorio" RSE cura lo sviluppo, la manutenzione e l'aggiornamento di diversi strumenti WebGIS (già realizzati nel precedente ciclo di Ricerca di Sistema) che consentono di organizzare e mettere a disposizione dati complessi inerenti il sistema energetico e le sue interazioni con il territorio, nonché di comunicare in modo efficace i risultati della ricerca. Essi comprendono l'Atlante Integrato per il Sistema Energetico Nazionale, il GeoDataBase Energia Territorio e Ambiente e il Geoportale Energia e Territorio. L'Atlante Integrato offre informazioni per le analisi multienergetiche territoriali, integrando dati provenienti da diverse fonti per una visione completa del sistema energetico nazionale; il GeoDataBase Energia e Territorio permette l'accesso e il download a dati geografici relativi alla disponibilità di risorse e al sistema energetico; il Geoportale Energia e Territorio fornisce un accesso guidato e interattivo alle risorse informative curate nel progetto (compresi gli atlanti tematici SunRiSE, Aeolian, GeoWebGIS) promuovendo l'uso sinergico degli strumenti GIS sviluppati da RSE. Inoltre, attraverso tool interattivi quali mappe, dashboard e geostorie, nel Geoportale sono inserite rappresentazioni di sintesi di risultati di particolare interesse e attualità per il sistema energetico nazionale.

Nel corso dell'anno e in continuità con le annualità precedenti, sono stati effettuati una manutenzione ed un aggiornamento continuo degli strumenti WebGIS, sia per quanto riguarda i contenuti che per le funzionalità, migliorando la fruibilità per gli utenti e l'interoperabilità tra i vari strumenti e dedicando un grande sforzo all'inserimento di contenuti derivanti da attività di differenti progetti di Ricerca di Sistema.

Keywords: WebGIS, Pianificazione Energetica, Caratterizzazione del territorio, Sistemi Informativi Geografici

1 - INTRODUZIONE

Nel contesto della crescente complessità delle sfide legate alla pianificazione energetica e allo sviluppo sostenibile del territorio, gli strumenti GIS e WebGIS stanno acquisendo un ruolo sempre più centrale. Sono numerosi, infatti, gli studi a livello internazionale che dimostrano l'efficacia dell'utilizzo dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) per la stima del potenziale di energia rinnovabile di un territorio [1] [2] [3], l'identificazione dei siti idonei per impianti a fonti rinnovabili [4] [5] [6], la modellazione di sistemi energetici a scala regionale o urbana [7] [8], l'identificazione degli impatti locali [9] e, più in generale, per il supporto decisionale nella pianificazione energetica [10]. Questo è dovuto prevalentemente alle loro capacità di analisi spazio-temporali e statistiche e alla flessibilità nell'elaborazione, gestione e visualizzazione dei dati [1].

Attualmente, l'evoluzione delle piattaforme WebGIS, che sfruttano architetture basate su standard internazionali per l'accesso a informazioni geospaziali via internet, ha ampliato le possibilità di condivisione interattiva e di supporto decisionale, coinvolgendo attivamente diversi stakeholder nel processo di pianificazione [11].

Queste piattaforme, infatti, rappresentano risorse strategiche per la condivisione interattiva di dati, informazioni e studi condotti su tematiche trasversali. Grazie alla loro capacità di aggregare e presentare dati in modo chiaro e accessibile, tali strumenti sono particolarmente preziosi non solo per facilitare la diffusione delle conoscenze, ma anche come supporto alla pianificazione energetica territoriale, risultando utili per una vasta gamma di soggetti coinvolti a diversi livelli (ministeri, regioni, enti locali, ecc.). Inoltre, tali piattaforme offrono la possibilità di coinvolgere attivamente vari stakeholder nel processo decisionale, promuovendo una governance partecipativa e trasparente [1] [12].

Sono molteplici le iniziative internazionali che mirano allo sviluppo di WebGIS o piattaforme di consultazione dati a supporto della pianificazione energetica a diverse scale e rivolti ad un ampio spettro di stakeholders (decisori politici, investitori, operatori di settore e ricercatori). Il [Global Atlas for Renewable Energy](#) [13], ad esempio, è una piattaforma che intende fornire agli utenti mappe sulla risorsa energetica rinnovabile in varie zone del mondo e fornisce l'accesso a strumenti di simulazione di produzione energetica. Altre piattaforme sono focalizzate sull'analisi di una specifica risorsa: ad esempio il [Global Wind Atlas](#) [14] e il [Global Solar Atlas](#) [15] sono applicazioni web che intendono fornire agli utenti indicazioni preliminari sulla distribuzione di risorsa eolica e solare a scala globale. Alcuni di questi strumenti offrono anche funzionalità avanzate di interrogazione delle mappe, di accesso dinamico ai dati geospaziali e di download, permettendo agli utenti la fruizione personalizzata direttamente dalle proprie applicazioni.

Da diversi trienni di ricerca RSE affronta il tema dell'integrazione delle rinnovabili nel sistema energetico e della loro interazione con il territorio, prevalentemente a supporto della pianificazione multienergetica territoriale, anche a scala locale, indirizzata allo sviluppo delle FER in vista del raggiungimento degli obiettivi previsti a livello nazionale ed europeo. L'individuazione delle soluzioni più efficaci per lo sviluppo sostenibile di un sistema energetico in un territorio richiede l'utilizzo di modelli multienergetici che integrino diversi fattori chiave. In questo contesto, gli strumenti GIS e WebGIS si rivelano particolarmente utili per la ricerca dei dati e lo svolgimento di alcune analisi preliminari. Questi strumenti consentono di analizzare e caratterizzare il territorio in dettaglio, mettendo in luce sia lo stato attuale che le potenzialità di sviluppo e facilitando l'identificazione delle soluzioni di espansione più adeguate. Caratterizzare il territorio significa, infatti, conoscere ed analizzare non solo le risorse disponibili, ma anche gli impianti o le infrastrutture attualmente installati, le domande energetiche anche settoriali e i vincoli territoriali che possono limitare lo sviluppo delle FER. L'analisi integrata di questi dati consente, quindi, una pianificazione basata su una conoscenza approfondita e multidisciplinare del contesto territoriale. Negli anni è stata raccolta un'ingente quantità di dati geospaziali su questi temi, con diverse risoluzioni spaziali e temporali, vari livelli di dettaglio tematico e utili per numerosi studi e

applicazioni. La necessità di organizzare dati anche piuttosto complessi e di comunicare in modo efficace i risultati derivanti dagli studi svolti, ha portato RSE a sviluppare e manutenere diversi atlanti e piattaforme web per caratterizzare il territorio e le sue risorse a supporto della pianificazione energetica. Oggetto delle attività di manutenzione e aggiornamento del presente triennio sono [l'Atlante Integrato per il Sistema Energetico Nazionale](#) [16] [17], il [GeoDataBase Energia Territorio e Ambiente](#) (GeoDB ETA) [18] e il [Geoportale Energia e Territorio](#) (Geo-EnTer) [19] [20].

In particolare l'Atlante Integrato è stato sviluppato per soddisfare la necessità di ricomprendere diversi aspetti del settore energetico offrendo un quadro informativo completo sull'intero territorio nazionale; esso contiene informazioni e funzionalità utili alla caratterizzazione energetica del territorio a diverse scale come passaggio fondamentale per le analisi modellistiche multienergetiche [19], rimandando agli atlanti tematici quali [SunRISE](#) [21] [22], [Aeolian](#) [23] [24] e [GeoWebGIS](#) [25] per dati più specifici in tema rispettivamente di risorsa solare, eolica e geotermica. Il repository dei dati contenuti nell'Atlante Integrato e di altri dati territoriali è il GeoDB-ETA, un database relazionale dotato di un'interfaccia web per favorire la consultazione e il download dei dati in esso contenuti.

Per migliorare l'organizzazione e la comunicazione dei risultati ottenuti da RSE su tematiche di energia e territorio, nell'ambito del precedente triennio di Ricerca di Sistema è stato creato il Geoportale Geo-EnTer [19] [20], un'applicazione *map-based* che costituisce un punto di accesso centralizzato ad un insieme di prodotti e risorse informative sul sistema energetico e sulla sua interazione con il territorio. Grazie ad un'accurata selezione e organizzazione dei contenuti, Geo-EnTer guida gli utenti tra i principali prodotti GIS sviluppati da RSE e mette a disposizione rappresentazioni di sintesi di alcuni aspetti di particolare interesse per il sistema energetico nazionale attraverso tool interattivi quali mappe, dashboard e geostorie. L'obiettivo principale del Geoportale Energia e Territorio è facilitare l'accesso e l'uso dei diversi prodotti sviluppati, esplorando in modo interattivo e guidato contenuti e strumenti geospaziali specialistici e consentendo agli utenti di sfruttare sinergie tra di essi. In Figura 1.1 è rappresentata la schematizzazione dei prodotti presentati, mettendo in evidenza non solo le relazioni e l'interoperabilità tra essi, ma anche le principali finalità di download di dati e di consultazione e divulgazione dei contenuti.

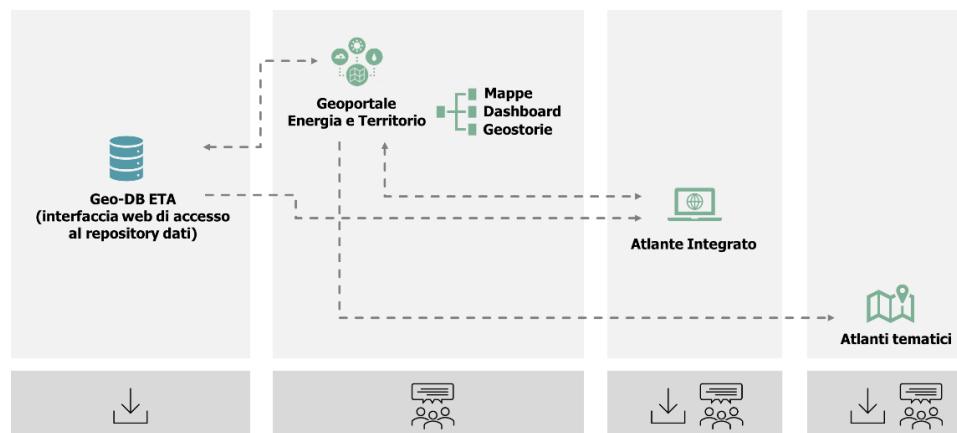


Figura 1.1 – Schematizzazione dei prodotti, delle loro relazioni e delle principali finalità (download dati, consultazione e divulgazione dei contenuti).

Tuttavia, affinché tutti questi strumenti possano fornire informazioni sempre attuali e rilevanti è fondamentale garantirne costantemente la manutenzione e l'aggiornamento.

Nel corso dell'intera annualità è stata effettuata un'attività continuativa di manutenzione e aggiornamento degli strumenti WebGIS sia dal punto di vista dei dati in essi contenuti, sia dal punto di vista delle funzionalità. Come si vedrà nelle seguenti sezioni, infatti, parallelamente al

consueto aggiornamento dei dati già presenti in essi, da una parte è stato dedicato un grande sforzo all'inserimento di contenuti derivanti da attività di differenti progetti di Ricerca di Sistema, favorendo la diffusione dei risultati nell'ottica di evidenziarne le sinergie, dall'altra sono stati apportati una serie di miglioramenti che tendono a una maggiore fruibilità dei dati da parte dell'utente e ad una migliore interoperabilità tra gli strumenti.

Si precisa, inoltre, che tali strumenti sono tutti liberamente accessibili online e che l'interesse degli utenti viene monitorato attraverso apposito strumento di monitoraggio degli accessi e le relative statistiche descritte nel rapporto di diffusione del presente progetto [26].

Inoltre, questi strumenti sono stati illustrati all'interno della rubricART, un'iniziativa dedicata alla promozione e diffusione delle piattaforme WebGIS mediante la newsletter aziendale [26].

2 - STRUMENTI WEBGIS PER LA PIANIFICAZIONE ENERGETICA: MANUTENZIONE E AGGIORNAMENTO

Una delle attività svolte con continuità è l'aggiornamento annuale dei dati contenuti nel GeoDB-ETA, affiancato dalla verifica e dall'integrazione di eventuali aggiornamenti per quelli più stabili, come le aree protette e le località italiane ISTAT. Questo processo è fondamentale per mantenere il sistema costantemente allineato alle esigenze operative e informative. Tali interventi, insieme all'inserimento di nuovi dati significativi, hanno caratterizzato principalmente il primo anno del triennio di ricerca [22].

Nel secondo anno, oltre al consueto aggiornamento della base dati, sono state introdotte nuove funzionalità in GeoDB ETA [18] e rinnovata l'interfaccia utente. Questi interventi hanno reso il sistema più intuitivo e accessibile, migliorando l'esperienza d'uso e facilitando la gestione delle informazioni [27].

Come si vedrà nelle sezioni successive, oltre ad operare il consueto aggiornamento dati, il terzo anno si è focalizzato sul miglioramento dell'interoperabilità tra gli strumenti esistenti. Il Geoportale Energia e Territorio [21], l'Atlante Integrato [17] e il GeoDB ETA [20] sono stati, inoltre, arricchiti di nuovi contenuti e funzionalità, ampliandone ulteriormente le possibilità d'utilizzo.

2.1 GeoDB ETA

I principali dati relativi alla disponibilità di risorse e al sistema energetico sono organizzati in un database relazionale accessibile agli utenti mediante un'apposita interfaccia denominata [GeoDB ETA](#) (Energia, Territorio e Ambiente) raggiungibile da pagina web indipendente o dalla sezione "Link e dashboard" del Geoportale. I dati contenuti nel database sono catalogati per tematismi (ambiente, cartografia di base, impianti, infrastrutture e reti, risorse, dati storici, statistiche territoriali, usi finali, limiti amministrativi e aree idonee), ma la ricerca può essere effettuata anche mediante l'inserimento di una o più parole chiave, la navigazione dell'elenco dei contenuti o la selezione spaziale. In particolare, la selezione spaziale può avvenire in due apposite sezioni tramite scelta del limite amministrativo desiderato da un menù a tendina ("Ricerca per limite amministrativo") oppure su mappa ("Selezione su mappa"). La selezione su mappa, sviluppata durante la precedente annualità [27], permette all'utente di effettuare un'interrogazione spaziale al database estraendo il contenuto di dati vettoriali dell'unità amministrativa desiderata o di un'area poligonale disegnata dall'utente. Durante la presente annualità questo strumento è stato ulteriormente raffinato per permettere all'utente di selezionare contemporaneamente più unità amministrative¹. Una volta selezionati i dati di interesse, l'utente può visualizzare i metadati associati ed effettuare il download del file, in un formato compresso contenente i dati, l'eventuale geometria associata ed eventuale file di legenda. Per ulteriori dettagli sulla struttura del database si può fare riferimento a [17].

Durante la presente annualità e in continuità con le precedenti, si è proceduto in modo parallelo sia alla manutenzione e all'aggiornamento del database stesso, sia all'inserimento di nuove funzionalità nella piattaforma.

Come di consueto, sono stati aggiornati:

- i limiti amministrativi regionali, provinciali e comunali forniti da ISTAT [28] al 2024;

¹ Si noti che la funzionalità di selezione su mappa è attiva al momento solo per i dati inseriti direttamente nel database. Non è invece consentita per alcune tipologie di dati che non sono presenti nel database perché troppo voluminosi, come nel caso dei dati raster (es. modelli digitali del terreno) il cui caricamento nel database infierrebbe le prestazioni complessive del sistema, o perché prevedono un collegamento ad altro sito web (es. misure pluviometriche e idrometriche relative agli annali del Servizio Idrografico).

- i dati annuali di popolazione a livello regionale, provinciale e comunale di popolazione residente forniti da ISTAT [28] al 2022;
- i dati annuali (potenza, numerosità e produzione elettrica) relativi agli impianti eolici, fotovoltaici, idroelettrici, geotermici, a biomasse (solida, liquida, biogas e rifiuti) e termoelettrici fossili a scala regionale e provinciale (per ulteriori dettagli si può fare riferimento a [27]) resi disponibili da Terna e GSE al 2022.

È stato inoltre pubblicato l'ultimo aggiornamento disponibile per le aree protette IBA, Ramsar, SIC e ZPS rese disponibili dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica tramite il Geoportale Nazionale [29], per le località italiane derivanti dal censimento ISTAT [28] 2021 e per la classificazione sismica nazionale pubblicata dal Dipartimento della Protezione Civile (Presidenza del Consiglio dei Ministri) [30].

Nel corso di quest'anno, l'interfaccia del GeoDB ETA è stata arricchita con una nuova funzionalità progettata per supportare la pianificazione energetica regionale in vista degli obiettivi FER al 2030. In particolare, è stato sviluppato in via prototipale uno strumento per la creazione di scenari di utilizzo del territorio per il raggiungimento degli obiettivi FER regionali al fine di mettere a disposizione degli utenti le analisi e i risultati svolti nell'ambito dello studio sperimentale svolto con la regione Piemonte per la definizione di una metodologia di valutazione del potenziale fotovoltaico regionale [31].

2.1.1 Strumento di supporto alla valutazione del potenziale territoriale per il raggiungimento degli obiettivi FER

Nel contesto della pianificazione energetica e dello sviluppo sostenibile del territorio uno dei temi più dibattuti negli ultimi anni riguarda la disponibilità di aree idonee per l'installazione di nuovi impianti fotovoltaici ed eolici, essenziali per raggiungere gli ambiziosi obiettivi legati allo sviluppo delle FER entro il 2030 [27]. In conformità con il decreto legislativo 199/2021 [32], il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) ha predisposto un decreto attuativo (D.M. 21 Giugno 2024) per regolamentare le aree idonee e non idonee all'installazione di impianti a fonte rinnovabile (FER), che dovranno essere definite e quantificate dalle Regioni [33].

Nell'ambito delle attività di supporto istituzionale relative all'individuazione delle aree idonee per gli impianti FER, RSE ha collaborato con la Regione Piemonte nella realizzazione di uno studio per la sperimentazione di una metodologia di valutazione del potenziale fotovoltaico regionale basata sulla stima di aree potenzialmente idonee. Lo studio, descritto in dettaglio in [31], ha permesso di caratterizzare il territorio utilizzando informazioni geografiche sull'uso del suolo, la presenza di vincoli ambientali, paesaggistici e culturali, nonché l'ubicazione di impianti fotovoltaici esistenti, per identificare le superfici idonee disponibili e calcolarne l'estensione, sia al lordo che al netto delle aree vincolate e degli impianti già installati. La combinazione di questi dati geografici disponibili a scala nazionale o regionale, applicati ai criteri di idoneità per l'installazione di impianti fotovoltaici, permette ai decisori di valutare diversi scenari di utilizzo del territorio ai fini del raggiungimento degli obiettivi FER regionali.

Per agevolare l'accesso ai risultati, all'interno dell'interfaccia web GeoDB ETA è stato, quindi, implementato uno strumento che permette di scaricare la perimetrazione delle aree idonee a nuove installazioni fotovoltaiche basandosi su una serie di criteri decisionali (Figura 2.1). In particolare, lo strumento "Supporto alla stima delle aree idonee", raggiungibile dalla sezione "Servizi" e attualmente disponibile solo per la regione Piemonte, permette all'utente di selezionare sulla mappa uno o più limiti amministrativi (comuni, province oppure tutta la regione) nonché la classe di copertura del suolo secondo la definizione Corine Land Cover del 2018 [34], rispetto ai quali scaricare il dato risultante (Figura 2.2). In aggiunta, è possibile escludere dal calcolo dell'area disponibile risultante le zone soggette a vincoli di non idoneità selezionandole direttamente. Lo strumento offre, inoltre, l'opzione di includere nel calcolo delle aree disponibili

alcune aree di particolare interesse per nuove installazioni, come le aree già occupate da impianti esistenti, le aree limitrofe ad aree industriali e le aree limitrofe alle reti autostradali (Figura 2.3). Queste aree, infatti, secondo la normativa vigente in materia di aree idonee sarebbero da privilegiare in quanto superfici già compromesse dal punto di vista ambientale, perseguendo dunque l'obiettivo di minimizzare il consumo di suolo e gli impatti sull'ambiente, sul territorio e sul paesaggio. L'elenco dei vincoli e delle aree considerate, inclusi eventuali *buffer* utilizzati e fonte dei dati, è riportato in Tabella 2.1.

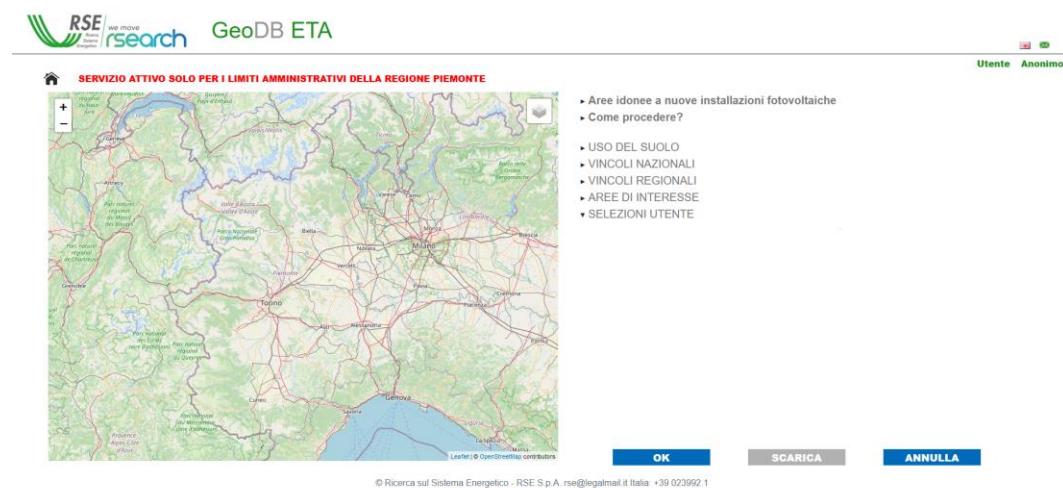


Figura 2.1 – Schermata di accesso in GeoDB ETA allo strumento di download della perimetrazione delle aree idonee per nuove installazioni fotovoltaiche in formato *shapefile*.

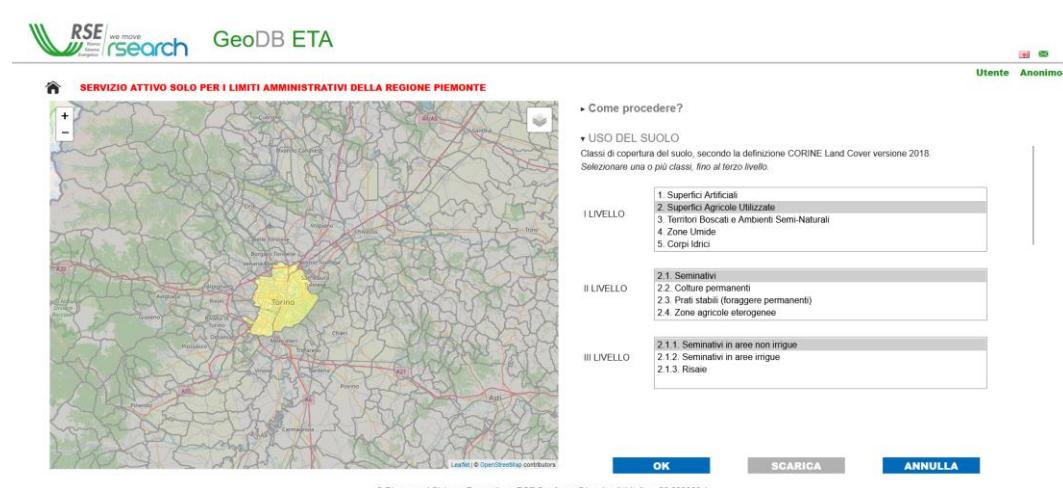


Figura 2.2 – Schermata di selezione della tipologia di copertura di suolo per la quale si intende avere una stima dell'estensione delle aree disponibili.

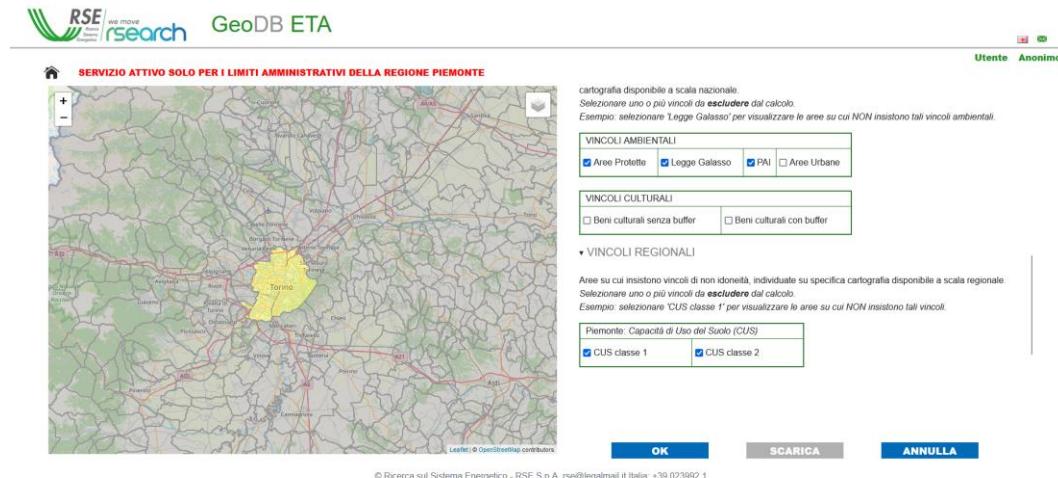


Figura 2.3 – Schermata di selezione delle aree soggette a vari tipi di vincolo da escludere dalla stima delle aree disponibili.

Tabella 2.1 – Elenco dei dati geografici utilizzati, in relazione a uso del suolo, aree vincolate e aree di particolare interesse, nella realizzazione dello strumento di supporto alla perimetrazione delle aree idonee a nuove installazioni fotovoltaiche all'interno di GeoDB ETA.

Definizione	Descrizione Vincoli		Fonte	Buffer
Uso del suolo	CORINE Land Cover III livello		Geoportale Nazionale	-
Aree Protette	Euap		Geoportale Nazionale	-
	Ramsar		Geoportale Nazionale	-
	SIC e ZPS		Geoportale Nazionale	-
	IBA		Geoportale Nazionale	-
Legge Galasso	Corsi d'acqua		Geoportale Nazionale	150 m
	Specchi d'acqua interni		Geoportale Nazionale	300 m
	Altitudine		Quota Galasso da DTM nazionale	-
	Linea di costa		Elaborazione da dati ISTAT	300 m
PAI	Rischio idraulico		Elaborazione da dati ISPRA	-
	Rischio idrogeologico		Elaborazione da dati ISPRA	-
Aree Urbane	Aree urbanizzate		Elaborazione da dati ISTAT	1000 m
Beni culturali senza <i>buffer</i>	Beni culturali poligonali		Elaborazione da dati MIBAC, UNESCO e MICvir	-
Beni culturali con <i>buffer</i>	MIBAC	Aree Legge 1497/1939		Ministero della Cultura
	MICvir	Beni da Vincoli in Rete		Vincoli in Rete
	UNESCO	Siti UNESCO		Opendata
CUS classe 1	Capacità Uso del Suolo Regione Piemonte		Geoportale Regione Piemonte	-
CUS classe 2	Capacità Uso del Suolo Regione Piemonte		Geoportale Regione Piemonte	-

Definizione	Descrizione Vincoli	Fonte	Buffer
Impianti Fotovoltaici	Impianti esistenti (anno 2021)	Elaborazione RSE	-
Aree limitrofe ad aree industriali	CORINE Land Cover, classe 121	Elaborazione RSE	500 m
Aree limitrofe a reti autostradali	Autostrade, superstrade	Grafo stradale, elaborazione RSE	300 m

Il risultato viene visualizzato sulla mappa web e rappresenta una griglia di celle di dimensioni 50 m x 50 m, in cui ogni cella soddisfa i criteri di selezione precedentemente impostati. I valori contenuti in ciascuna cella derivano da operazioni geospaziali svolte a priori in ambiente GIS.

Il dato può essere scaricato in formato *shapefile*, la cui *Tabella degli Attributi* è formata da cinque campi, di seguito dettagliati (esempio in Tabella 2.2):

- **idgrid**: codice univoco, identificativo di ciascuna cella;
- **COD_REG**: codice identificativo della Regione di appartenenza di ciascuna cella, secondo la codifica ISTAT;
- **COD_PROV**: codice identificativo della Provincia di appartenenza di ciascuna cella, secondo la codifica ISTAT;
- **PRO_COM**: codice identificativo del Comune di appartenenza di ciascuna cella, secondo la codifica ISTAT;
- **Vincoli**: stringa che sintetizza le informazioni su uso del suolo, vincoli nazionali, vincoli regionali e aree di interesse di ciascuna cella.

Tabella 2.2 – Esempio di tabella degli attributi di una griglia risultante dalla selezione di alcuni parametri all'interno dello strumento.

idgrid	COD_REG	COD_PROV	PRO_COM	Vincoli
0	1	96	96004	121,0,0,0,1,0,1,1,1,0,0,1,0
1	1	96	96004	311,0,1,0,1,0,0,0,1,1,0,0,1,0
2	1	96	96049	243,0,1,0,1,0,0,0,0,1,0,0,1,0

La stringa del campo "Vincoli" è composta da 14 valori intervallati da virgole, così ordinati:

1. Uso del suolo: valore a tre cifre, identificativo della classe di copertura del suolo secondo la mappa CORINE Land Cover versione 2018;
2. Aree Protette: vincolo nazionale di tipo ambientale, valore binario identificativo della presenza (valore 1) o non presenza (valore 0) di tale vincolo nella cella;
3. Legge Galasso: vincolo nazionale di tipo ambientale, valore binario identificativo della presenza (valore 1) o non presenza (valore 0) di tale vincolo nella cella;
4. PAI: vincolo nazionale di tipo ambientale, valore binario identificativo della presenza (valore 1) o non presenza (valore 0) di tale vincolo nella cella;
5. Aree Urbane: vincolo nazionale di tipo ambientale, valore binario identificativo della presenza (valore 1) o non presenza (valore 0) di tale vincolo nella cella;
6. Beni culturali senza buffer: vincolo nazionale di tipo culturale, valore binario identificativo della presenza (valore 1) o non presenza (valore 0) di tale vincolo nella cella;
7. Beni culturali con buffer - MIBAC: vincolo nazionale di tipo culturale, valore binario identificativo della presenza (valore 1) o non presenza (valore 0) di tale vincolo nella cella;
8. Beni culturali con buffer - MICvir: vincolo nazionale di tipo culturale, valore binario identificativo della presenza (valore 1) o non presenza (valore 0) di tale vincolo nella cella;
9. Beni culturali con buffer - UNESCO: vincolo nazionale di tipo culturale, valore binario identificativo della presenza (valore 1) o non presenza (valore 0) di tale vincolo nella cella;

10. CUS classe 1: vincolo regionale per la sola Regione Piemonte, valore binario identificativo della presenza (valore 1) o non presenza (valore 0) di tale vincolo nella cella;
 11. CUS classe 2: vincolo regionale per la sola Regione Piemonte, valore binario identificativo della presenza (valore 1) o non presenza (valore 0) di tale vincolo nella cella;
 12. Impianti Fotovoltaici Esistenti: area di interesse, valore binario identificativo dell'inclusione (valore 1) o non inclusione (valore 0) della cella in tale area;
 13. Aree limitrofe ad aree industriali: area di interesse, valore binario identificativo dell'inclusione (valore 1) o non inclusione (valore 0) della cella in tale area;
 14. Aree limitrofe a reti autostradali: area di interesse, valore binario identificativo dell'inclusione (valore 1) o non inclusione (valore 0) della cella in tale area.

Ad esempio, se un utente è interessato a quantificare le aree agricole disponibili nelle adiacenze di aree industriali indipendentemente dalla presenza di vincoli ambientali o culturali, dopo aver scelto il limite amministrativo di interesse potrà selezionare la classe di copertura del suolo corrispondente ai seminativi in aree non irrigue (classe *Corine Land Cover 211*) e definire come aree di interesse le “Aree limitrofe ad aree industriali (*buffer 500 m*)”. Il risultato di questa selezione per il comune di Torino è rappresentato in Figura 2.4 (a sinistra). L’utente potrà anche discriminare la presenza di eventuali vincoli di tipo ambientale o culturali esistenti nell’area così ricavata (Figura 2.4 a destra), semplicemente esplorando gli attributi delle singole celle e decodificando la stringa sulla base delle indicazioni sopraelencate. Tutte le informazioni necessarie all’interpretazione del risultato vengono fornite in uno specifico documento allegato al download del dato, insieme al quale viene anche fornito un file di testo contenente l’elenco delle selezioni effettuate.

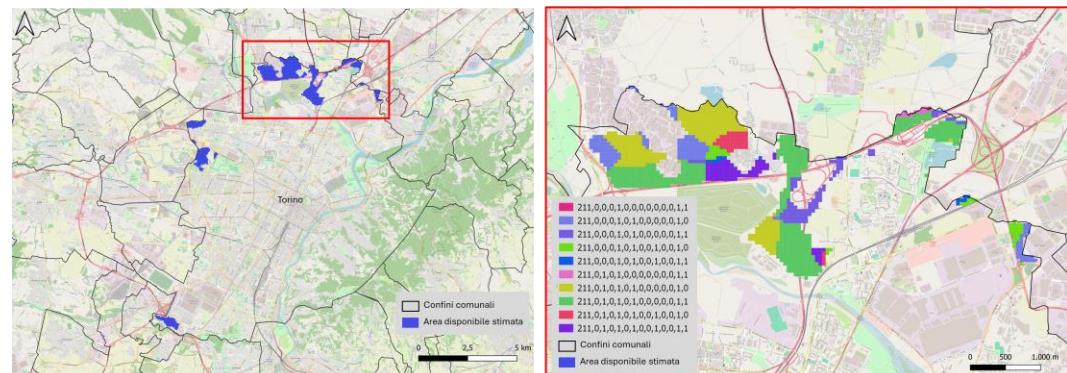


Figura 2.4 – Griglia corrispondente alle aree agricole (seminativi non irrigui) presenti nel buffer (500 m) di aree industriali indipendentemente dalla presenza di altri vincoli, ottenuta mediante lo strumento disponibile in GeoDB ETA per il comune di Torino.

2.2 Nuovo Atlante Integrato

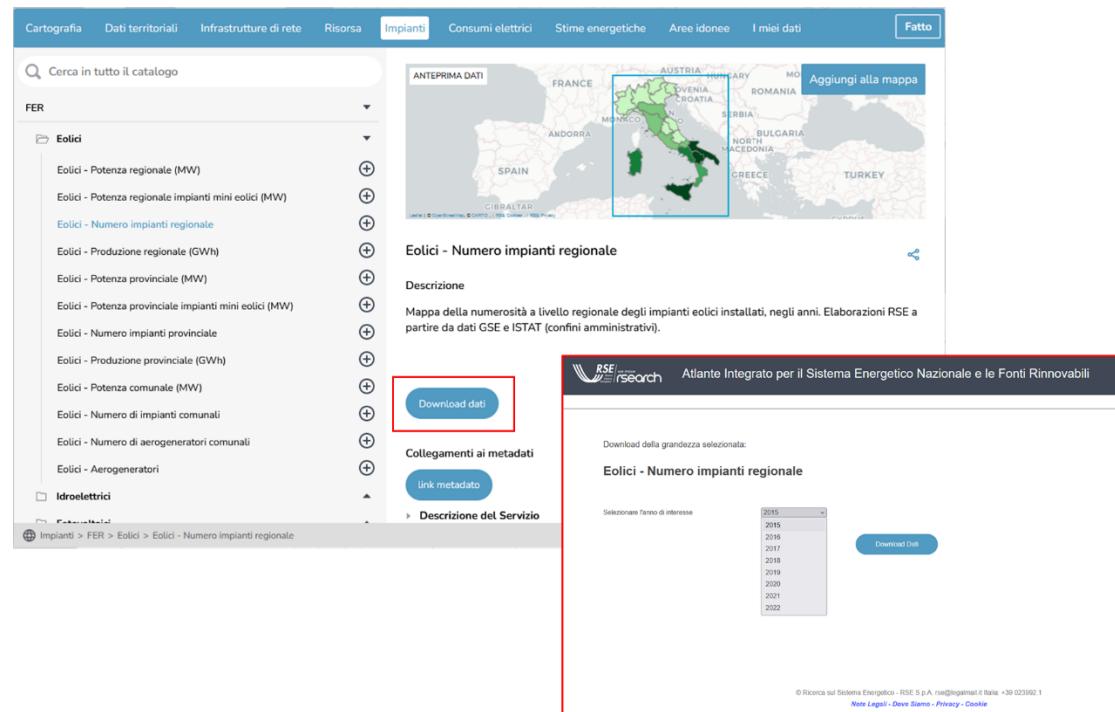
La visualizzazione su mappa della maggior parte dei dati contenuti nel GeoDB ETA avviene attraverso il WebGIS [Atlante Integrato](#) [16], che ha lo scopo di fornire un quadro sui diversi elementi del settore energetico (risorse, domande, vincoli territoriali, impianti, ecc.) quanto più possibile completo sul territorio nazionale a supporto della pianificazione energetica. Gli strati informativi, a diverse risoluzioni spaziali e temporali, sono organizzati in categorie tematiche riguardanti, ad esempio, limiti amministrativi e vincolistici, infrastrutture della rete elettrica nazionale, disponibilità di risorsa rinnovabile, distribuzione degli impianti installati nel territorio, consumi elettrici nei settori e risultati di studi sul tema delle aree potenzialmente sfruttabili per nuove installazioni fotovoltaiche (a terra o su tetto) ed eoliche (onshore e offshore).

Oltre alle classiche opzioni dei WebGIS, l'Atlante Integrato permette anche l'accesso a funzionalità avanzate relative principalmente ad analisi multienergetiche a scala locale e alla diffusione di risultati significativi sul tema dei sistemi multienergetici.

Come detto, oltre alle consuete operazioni di aggiornamento dati, durante la presente annualità l'Atlante Integrato è stato arricchito anche di nuovi contenuti e funzionalità.

L'aggiornamento dei dati e dei metadati presenti nel database descritto nel paragrafo precedente ha naturalmente influito anche sull'aggiornamento dei contenuti presenti in Atlante Integrato. Inoltre, la sezione relativa alla risorsa geotermica è stata arricchita con dati relativi alla conducibilità termica media del terreno, riferita ai primi 70 m di profondità, e con le mappe della profondità delle aree in cui si riscontrano temperature pari a 70°C, 120°C e 140°C considerando una profondità massima di 5000 m. Tali mappe sono state elaborate da RSE partendo dai dati presenti nell'Inventory delle Risorse Geotermiche Nazionali (UNMIG) [35] e nell'archivio del progetto VIGOR [36]. Le elaborazioni sono descritte nei rapporti di Ricerca di Sistema [37] [38] [39].

Infine, a partire proprio dall'Atlante Integrato, si è cominciato ad individuare opportune soluzioni che rendano i dati più fruibili agli utenti e migliorino l'interoperabilità tra gli strumenti. A questo scopo, le sezioni relative alle risorse, agli impianti e alle aree potenzialmente disponibili per nuove installazioni eoliche e fotovoltaiche sono state integrate con una funzionalità di download diretto dei dati. Sfruttando la struttura già sviluppata per il download dei dati da GeoDB ETA, questa funzionalità apre una finestra che consente di scaricare i dati per l'anno di interesse direttamente da una pagina dedicata, senza necessità di accedere al GeoDB ETA (Figura 2.5). I dati presenti nelle altre sezioni restano comunque fruibili e consultabili esternamente attraverso servizi web WMS dedicati e scaricabili tramite accesso a GeoDB ETA.



The screenshot shows the 'Impianti' (Installations) section of the Atlante Integrato interface. On the left, there's a sidebar with a search bar and a tree view of data categories under 'FER' (Fonti Rinnovabili Energia). One category, 'Eolici - Numero impianti regionale', has a 'Download data' button highlighted with a red box. To the right, there's a map of Italy and surrounding countries with a green overlay indicating regions. Below the map, there's a detailed description of the data and a 'Download data' button. A large red box highlights the entire right-hand panel, which contains a sub-menu for 'Eolici - Numero impianti regionale' with a dropdown for 'Selezione l'anno di interesse' (Select year of interest) showing years from 2015 to 2022, and a 'Download Data' button.

Figura 2.5 – Pagina di download dati per uno specifico anno di interesse attivata a partire dal pulsante "Download" presente per alcuni dati significativi dell'Atlante Integrato.

2.2.1 Aree agricole abbandonate disponibili per installazioni fotovoltaiche

L'Atlante Integrato dedica una sezione specifica alla caratterizzazione della disponibilità di aree potenzialmente sfruttabili per le nuove installazioni FER, in quanto elemento discriminante delle

diverse realtà territoriali e in grado di evidenziare anche potenziali limiti allo sviluppo stesso ed è quindi particolarmente utile alla pianificazione energetica del territorio. La sezione "Aree idonee", sviluppata negli anni precedenti di questo triennio [40], contiene dati ed elaborazioni frutto di un'attività di ricerca che RSE svolge da tempo sul tema del potenziale territoriale sfruttabile per nuove installazioni fotovoltaiche. In particolare, durante la presente annualità la sezione "Aree disponibili per il fotovoltaico a terra" è stata arricchita di uno strato informativo relativo alle aree agricole abbandonate, derivato dai risultati dello studio presentato in [41].

Le politiche per la decarbonizzazione indicate nel PNIEC prevedono che una quota significativa dell'obiettivo di sviluppo delle FER elettriche derivi dalla realizzazione di grandi impianti fotovoltaici, per la cui installazione sono necessarie ampie porzioni di territorio da adibire all'uso energetico (cosiddette aree idonee). Il ricorso alle aree agricole è fortemente condizionato dalla necessità di compromettere nella misura minore possibile la loro vocazione agricola, favorendone lo sfruttamento solo a determinate condizioni, sia tecnologiche che ambientali. Tenuto conto delle modifiche e delle restrizioni introdotte dai recenti decreti alla regolamentazione dell'installazione di impianti fotovoltaici in aree agricole [33] [42] [41], è ragionevole ritenerе che la condizione di abbandono effettivo o potenziale delle aree agricole, ovvero la loro non utilizzabilità, possa tradursi in una potenzialità dal punto di vista dello sfruttamento energetico, permettendo di identificare tali aree come potenzialmente idonee ad ospitare nuove installazioni fotovoltaiche. Il layer relativo alle aree agricole abbandonate rappresenta la percentuale di area agricola abbandonata stimata al netto della presenza di vincoli ambientali (aree protette, aree a rischio idraulico e idrogeologico e aree soggette alla prescrizione della legge Galasso) rispetto alla superficie comunale (Figura 2.6). Questo dato è stato elaborato utilizzando la metodologia *Land Cover Flow* (LCF) proposta dalla European Environment Agency (EEA) opportunamente adattata per scopi di pianificazione energetica. La metodologia, inizialmente applicata all'area di studio della Regione Toscana nella precedente annualità [27], è stata quest'anno estesa all'intero territorio nazionale [41]. Si specifica che i dati presenti in questa sezione derivano da studi che si basano su ipotesi specifiche e vanno intesi come una guida all'individuazione di aree potenzialmente disponibili a nuove installazioni fotovoltaiche, fornendo ai soggetti pianificatori indicazioni preliminari sulle aree a maggiore potenziale.

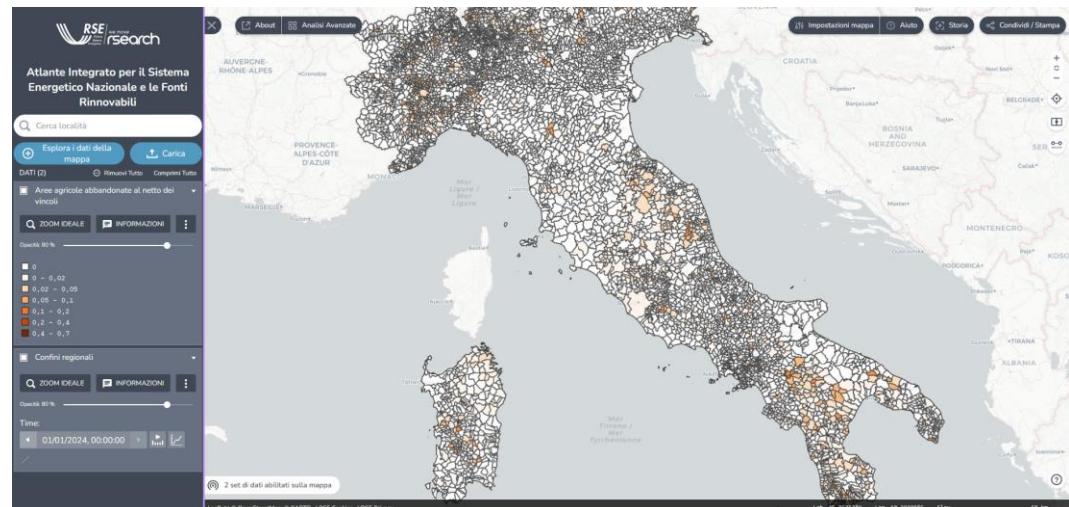


Figura 2.6 – Mappa a scala comunale della percentuale di area agricola abbandonata rispetto all'estensione comunale inserita all'interno della sezione "Aree idonee" dell'Atlante Integrato.

2.2.2 Recupero del calore di scarto

Grazie alla sua struttura e alla presenza di contenuti strategici sul sistema energetico, l'Atlante Integrato è stato ritenuto lo strumento più idoneo per ospitare e valorizzare i risultati dell'attività

di ricerca sul tema dello sfruttamento del calore di scarto per scopi energetici delle attività industriali, svolta nel progetto "Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali" e descritta nel deliverable [43]. Nell'ambito della transizione energetica verso emissioni zero di CO₂, l'utilizzo del calore di scarto, del tutto assimilabile all'uso delle rinnovabili in quanto a zero emissioni addizionali, rappresenta infatti un'opportunità significativa anche verso l'aumento dell'efficientamento del settore industriale.

All'interno del catalogo dei dati dell'Atlante Integrato è stata, quindi, inserita la sezione "Recupero del calore di scarto" contenente una mappatura delle industrie iscritte al registro ETS che rappresentano i settori industriali ad alta intensità energetica, tematizzati per range di temperatura e quantità di calore di scarto disponibile (Figura 2.7 e Figura 2.8). La sezione include, inoltre, i dati relativi al fabbisogno annuo di calore per riscaldamento ed acqua calda sanitaria previsto per il 2030 per area di censimento ISTAT [44] e ai costi della soluzione di teleriscaldamento (*Levelized Cost Of Heat*) della rete di distribuzione. In aggiunta, è stata sviluppata un'interfaccia che consente, per ciascun sito con calore di scarto disponibile, di attivare un modulo esterno sviluppato dal Politecnico di Milano e gestito da RSE per la stima del costo dello sfruttamento del calore di scarto a fini di teleriscaldamento su specifici tratti di rete (Figura 2.9). L'interfaccia è sviluppata nei linguaggi PHP, HTML e Javascript e contiene una mappa di supporto realizzata utilizzando OpenLayers [45], una libreria *open-source* Javascript comunemente impiegata per creare mappe interattive ed integrarle efficacemente in tutte le applicazioni web.

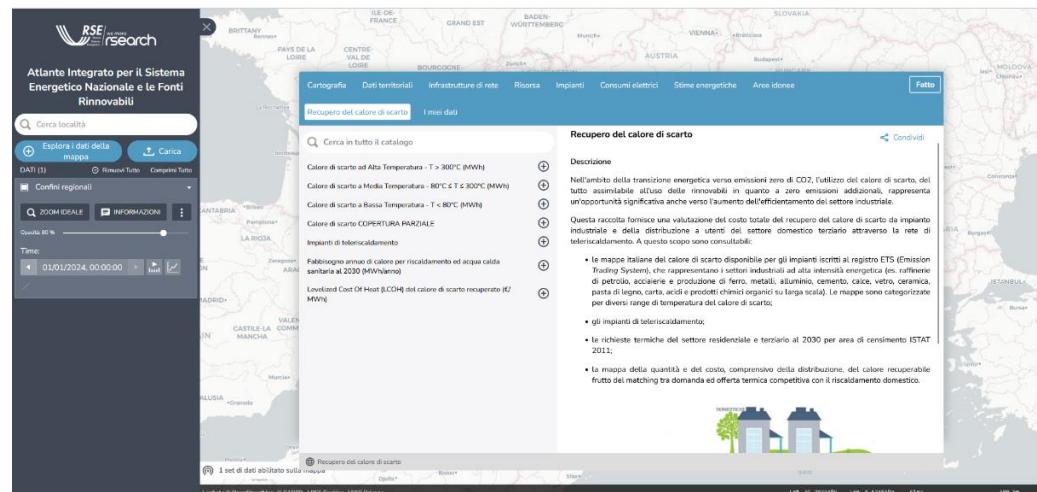


Figura 2.7 – Preview della sezione dedicata al calore di scarto delle attività industriali inserita nell'Atlante Integrato.

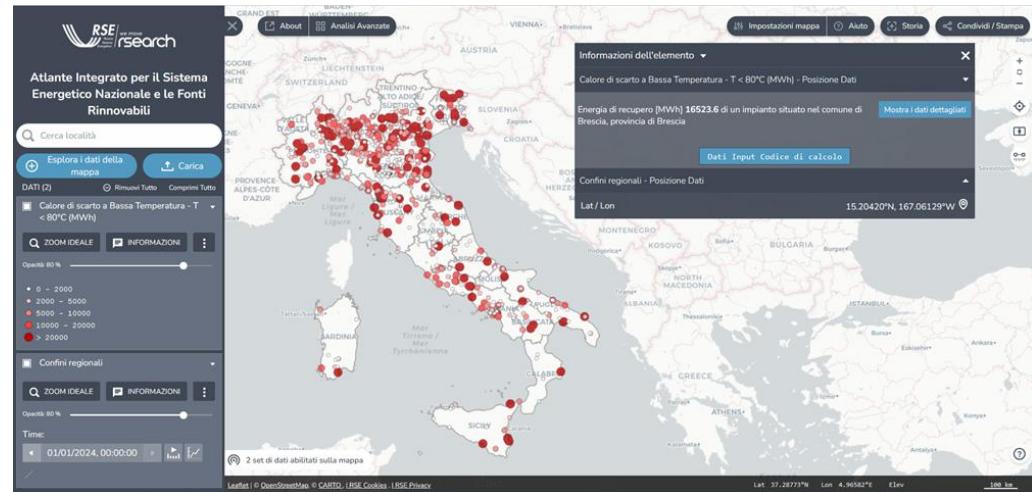


Figura 2.8 – Mappa dei siti con calore di scarto disponibile a scala nazionale.

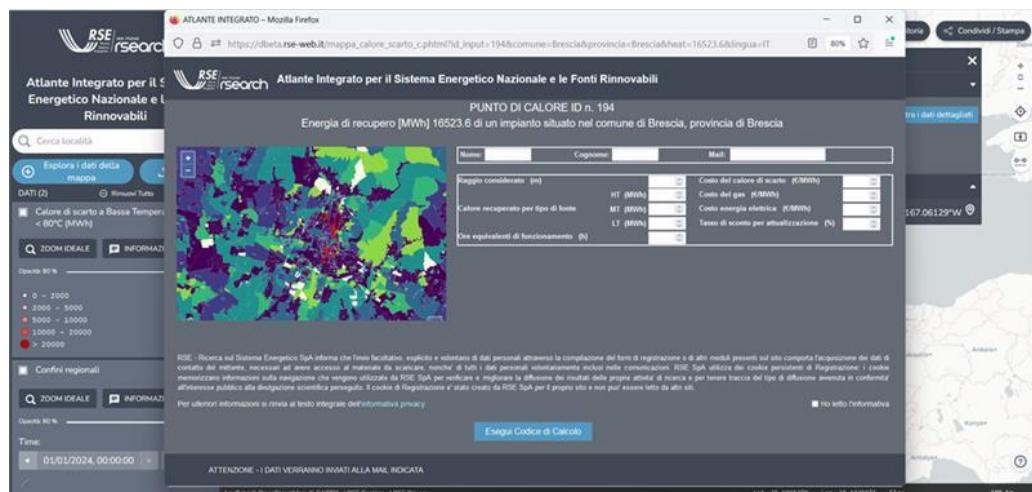


Figura 2.9 – Interfaccia per l’attivazione del modulo per il calcolo della sostenibilità economica dello sfruttamento del calore di scarto a fini di teleriscaldamento.

2.3 Geo-EnTer

Il [Geoportale Energia e Territorio](#) (Geo-EnTer) [20] costituisce la piattaforma d’accesso ai prodotti WebGIS sviluppati come l’Atlante Integrato e gli altri atlanti tematici, ed ospita contenuti interattivi legati a tematiche rilevanti del sistema energetico racchiuse nell’ambito del raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione previsti per i prossimi anni. Grazie alla sua struttura, fornisce una visione organica dei risultati ottenuti nelle annualità di ricerca sul tema Energia e Territorio, permettendo agli utenti di navigare facilmente tra contenuti specificamente organizzati, sfruttando le sinergie tra diversi prodotti. Mediante un’accurata selezione e organizzazione dei contenuti, Geo-EnTer offre un’esperienza guidata di navigazione tra i prodotti GIS sviluppati da RSE e, attraverso tool interattivi quali mappe, dashboard e geostorie, mette a disposizione degli utenti rappresentazioni di sintesi di alcuni aspetti di particolare interesse per il sistema energetico nazionale. Il Geoportale, quindi, contiene una molteplicità di prodotti diversi per argomento, struttura e funzionalità, accomunati tuttavia dal beneficiare di analisi e visualizzazioni su mappa.

Durante la presente annualità, sono stati inseriti nuovi contenuti divulgativi per valorizzare i risultati ottenuti in attività di ricerca anche molto diverse tra loro. Più nello specifico i temi trattati

riguardano la mobilità elettrica, lo sviluppo delle Comunità Energetiche Rinnovabili, la qualità dell'aria e l'impatto dei cambiamenti climatici sulla risorsa idrica.

2.3.1 Diffusione dei punti di ricarica per veicoli elettrici in Italia

L'adozione di veicoli elettrici, sostenuta da una rete di infrastrutture di ricarica sempre più capillare ed efficiente, rappresenta una componente fondamentale degli sforzi globali per ridurre le emissioni di gas serra e contrastare il cambiamento climatico. In questo contesto, la diffusione delle colonnine di ricarica elettriche pubbliche riveste un ruolo cruciale e dipende in larga misura dalla disponibilità di infrastrutture adeguate. Secondo le direttive dell'Unione Europea, gli Stati membri devono implementare una rete di ricarica accessibile e capillare, che supporti l'incremento esponenziale previsto per i veicoli elettrici.

Nell'ambito del progetto 2.07 "Mobilità sostenibile e interazione con il sistema energetico" (LA 1.05) grazie ai dati messi a disposizione da [Motus-e](#) [46], sono state svolte alcune analisi territoriali relative alla distribuzione delle infrastrutture di ricarica pubbliche in Italia finalizzate ad evidenziare l'adeguatezza della copertura del servizio di ricarica pubblica [47]. Per rendere più efficace la divulgazione dei risultati di queste elaborazioni, è stata realizzata una geostoria ([Diffusione dei punti di ricarica per veicoli elettrici in Italia](#) [48]) che fornisce, anche mediante mappe interattive, una panoramica sull'evoluzione della diffusione delle infrastrutture di ricarica pubbliche in Italia, non solo dal punto di vista numerico, ma anche in termini di copertura territoriale (Figura 2.10). Oltre a fornire una visione d'insieme sulla distribuzione dell'infrastruttura di ricarica sul territorio italiano, ciascuna sezione della geostoria è dedicata ad uno specifico approfondimento, analizzando il rapporto tra la distribuzione delle infrastrutture di ricarica elettrica e altri elementi territoriali quali la popolazione e la rete stradale. I risultati delle elaborazioni svolte nell'ambito del progetto 2.07 sono stati opportunamente sintetizzati in *shapefile* significativi, successivamente convertiti in servizi WMS per la visualizzazione e l'interrogazione su mappe interattive.

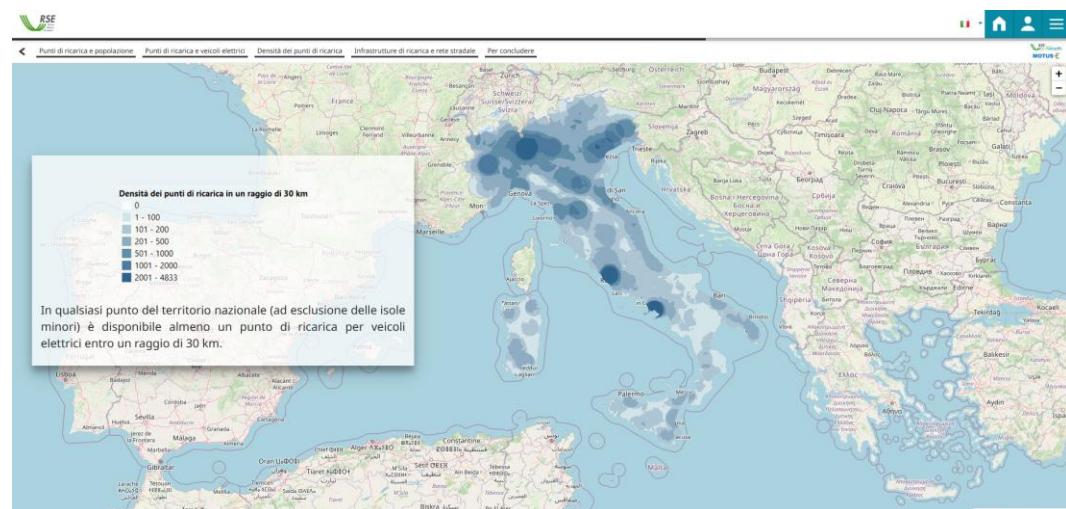


Figura 2.10 – Estratto della geostoria realizzata sul tema della mobilità elettrica.

2.3.2 Mappa delle iniziative CER in Piemonte

Un altro tema emergente nel contesto della transizione energetica è quello delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER), introdotte nel contesto italiano con l'adozione della direttiva RED II (*Renewable Energy Directive* 2018/2001) [49] attraverso il Decreto Legislativo 199/2021 [32]. Queste comunità consentono ai consumatori di energia elettrica di unirsi e costituire un'entità

autonoma in grado di produrre localmente energia da fonti rinnovabili e di condividerla tra i membri della comunità. Ad inizio 2024 è stato pubblicato il decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica volto proprio a promuovere lo sviluppo delle CER [50].

Le CER rappresentano così una grande opportunità, sia a livello nazionale che regionale, per lo sviluppo di impianti di piccola taglia alimentati da fonti rinnovabili che possano favorire una gestione sostenibile e condivisa dell'energia rinnovabile, apportando vantaggi sociali, ambientali ed economici ai partecipanti e promuovendo l'accettazione e l'uso delle energie rinnovabili da parte di cittadini, enti pubblici e privati.

Come risultato della ricerca svolta nell'ambito del progetto 2.08 "Utente al centro della transizione energetica" - WP3 "Energy community, transizione energetica e tutela degli utenti vulnerabili e in Povertà Energetica", è stata implementata la "[Mappa delle iniziative di CER in Piemonte](#)" [51] che fornisce indicazioni qualitative in merito alla realizzazione di comunità energetiche sul territorio regionale piemontese insieme ad alcune caratteristiche principali (livello di strutturazione, tecnologia di generazione, modello organizzativo) (Figura 2.11).

Nata con l'obiettivo di identificare e localizzare le iniziative e i progetti di comunità di energia rinnovabile avviati sul territorio nazionale, questa mappa interattiva è stata pubblicata in maniera preliminare solo per il territorio del Piemonte, in virtù di una collaborazione tra RSE, [Unioncamere Piemonte](#) [52] e [Fondazione Piemonte Innova](#) [53], con la supervisione di Regione Piemonte.

È stato fornito un supporto preliminare per definire e strutturare gli attributi del dato, con l'obiettivo di agevolarne la rappresentazione cartografica sulla mappa interattiva garantendo che le informazioni opportunamente tematizzate rispondessero alle esigenze degli utenti finali.

I dati rappresentati possono, quindi, essere visualizzati con tematizzazioni differenti basate sulle seguenti tre caratteristiche (Figura 2.12):

- livello di strutturazione: Fase 0 - Attività preliminari, Fase 1 - Progettazione, Fase 2 - Attuazione in corso, Fase 3 - Costituzione avvenuta;
- modello organizzativo: *Public Lead, Community Energy Builder, pluralista*;
- tecnologia di generazione: fotovoltaico, eolico, idroelettrico, biomassa/biogas, geotermia o combinazione di più fonti.

Inoltre, per garantire una maggiore fruibilità della mappa, la visualizzazione del dato è stata suddivisa in due livelli di zoom crescenti. In questo modo la localizzazione delle CER avviene ad ampia scala per punti, corrispondenti al centroide della CER (inteso come punto baricentrico del comune o dell'insieme dei comuni interessati dalla CER) e a minore scala per poligoni, corrispondenti al perimetro della CER (inteso come confine del comune o dell'insieme dei comuni interessati dalla CER).

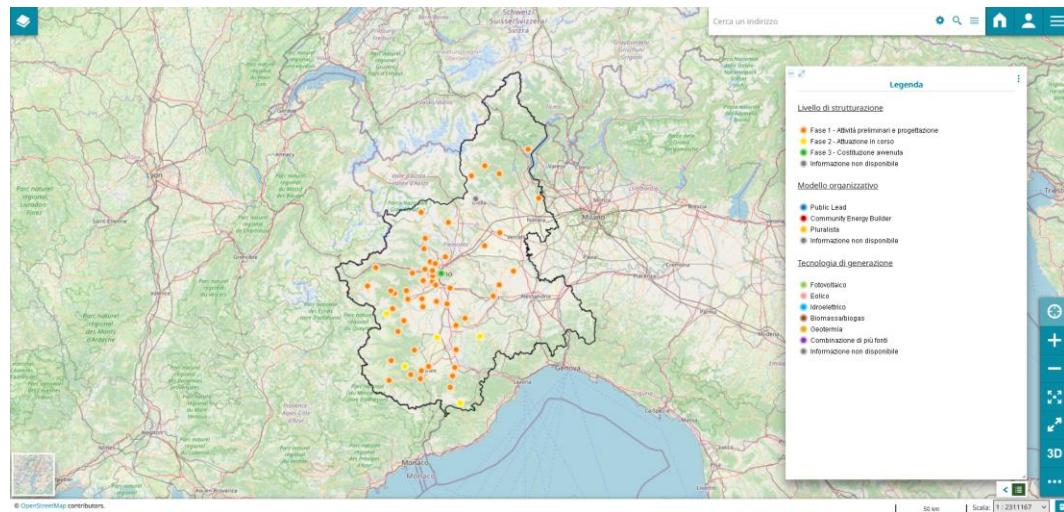


Figura 2.11 – Schermata principale della mappa delle Comunità Energetiche Rinnovabili presenti nella regione Piemonte.

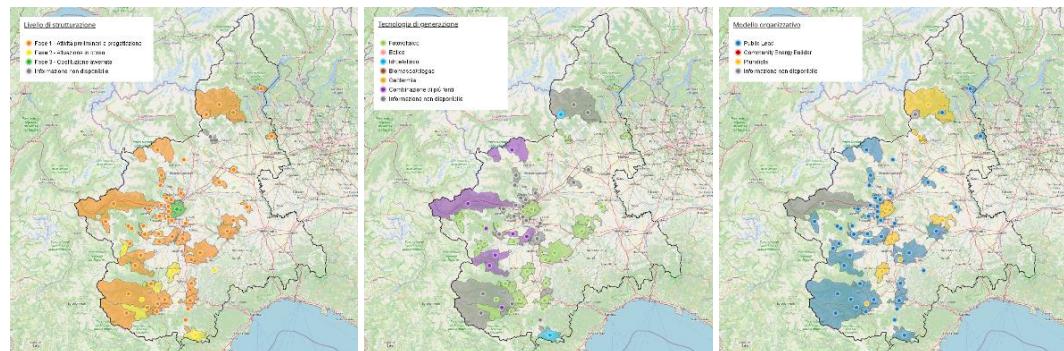


Figura 2.12 – Tematizzazione della mappa per livello di strutturazione, tecnologia di generazione e modello organizzativo.

2.3.3 Mappe di qualità dell'aria: stime odierne e previsioni a tre giorni

Nell'ambito della LA 3.15 del progetto 2.6 "Resilienza e sicurezza del sistema energetico" RSE ha sviluppato e mantenuto un sistema modellistico complesso di qualità dell'aria che fornisce quotidianamente le previsioni dei principali inquinanti presenti in atmosfera con un orizzonte temporale di 72 ore (Figura 2.13). Il sistema, simulando i processi chimico-fisici che coinvolgono gli inquinanti aeriformi, genera mappe di concentrazione e deposizione dei composti gassosi (O_3 , NO_2 e SO_2), dei particolati (PM₁₀ e PM_{2.5}) e delle principali componenti del PM (carbonio elementare EC, carbonio organico OC, ammonio NH_4^+ , nitrato NO_3^- e solfato SO_4^{2-}) per l'intero territorio italiano con una risoluzione spaziale di 4 km. Tali stime vengono utilizzate con lo scopo di valutare la contaminazione superficiale degli isolatori delle linee elettriche aree di alta tensione [54].

Per rendere i risultati della modellistica fruibili agli utenti è stata creata una mappa interattiva e aggiornata quotidianamente che contiene le concentrazioni medie giornaliere al suolo per il giorno corrente e per i due giorni successivi dei seguenti inquinanti ("[Mappe di qualità dell'aria: stime odierne e previsioni a tre giorni](#)" [55]):

- NO₂ – Biossido di azoto
- PM_{2.5} – Particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 micron

- PM₁₀ – Particolato atmosferico con diametro aerodinamico uguale o inferiore a 10 micron
- EC – Carbonio elementare
- NH₄⁺ – Ammonio
- NO₃ – Nitrato
- SO₄²⁻ – Solfato.

Per una maggiore efficienza nell'aggiornamento giornaliero delle mappe, i dati derivanti dal modello in formato NetCDF vengono ricorsivamente convertiti in dati medi giornalieri puntuali e memorizzati in un database PostgreSQL con estensione PostGIS. Ogni punto rappresenta il centroide della cella del dato originario NetCDF. Per ciascun inquinante e per ogni punto della mappa vengono visualizzate le informazioni sulla concentrazione stimata per il giorno indagato e i due giorni successivi (Figura 2.14).



Figura 2.13 – Mappa sulla qualità dell'aria rappresentante la distribuzione della concentrazione dei principali inquinanti sul territorio nazionale per il giorno corrente e la previsione per i due giorni successivi.

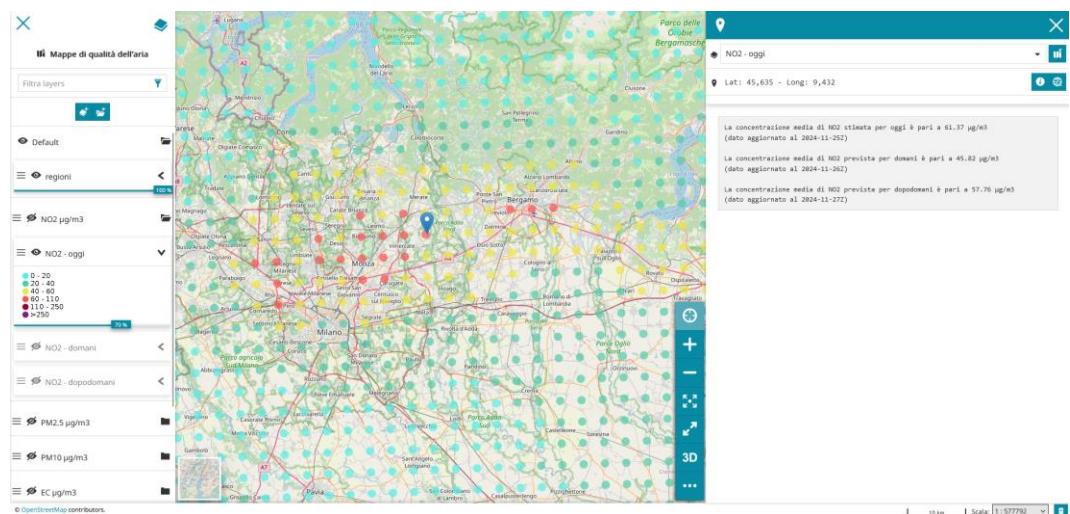


Figura 2.14 – Visualizzazione degli attributi di ciascun punto della mappa di concentrazione di un determinato indicatore di qualità dell'aria.

2.3.4 Cambiamenti climatici e risorsa idrica: tra incertezze, sfide ed opportunità

Un tema sicuramente molto attuale nell'ambito della pianificazione energetica è quello relativo agli effetti dei cambiamenti climatici sul settore idrico. La quantificazione numerica di come i cambiamenti climatici potranno influire sulla disponibilità di risorse è di fondamentale importanza, soprattutto in Italia, dove circa il 45% della produzione di elettricità rinnovabile (media del periodo 2018-2022) deriva dall'idroelettrico.

Durante le precedenti annualità di ricerca è stata sviluppata una metodologia articolata per misurare l'impatto dei cambiamenti climatici sulla risorsa idrica a scala nazionale, tenendo conto delle proiezioni climatiche ad alta risoluzione ricavate dagli scenari emissivi ipotizzati dall'IPCC [56] e dei risultati del modello idrologico BIGBANG [57] in termini di scorrimento superficiale, variabile direttamente disponibile per molteplici utilizzi, soprattutto quello idroelettrico [58].

La geostoria “[Cambiamenti climatici e risorsa idrica: tra incertezze, sfide ed opportunità](#)” [59] presenta una sintesi di tale metodologia e dei principali risultati attraverso mappe interattive che mostrano la disponibilità idrica superficiale media nel lungo termine per ciascuno scenario emissivo rispetto alla disponibilità storica.

I dati risultanti dall'applicazione della metodologia sono stati sottoposti ad ulteriori aggregazioni o elaborazioni spaziali per ottimizzarne la rappresentazione su mappe web. Ad esempio, la scala di analisi ha determinato la scelta dei dati da utilizzare: in alcuni casi è stato possibile impiegare *shapefile* a basso dettaglio spaziale, come i limiti amministrativi, mentre in altri casi, la necessità di un elevato dettaglio spaziale e tematico ha richiesto l'adozione di dati puntuali, opportunamente tematizzati, per garantire una visualizzazione immediata e una efficace interrogazione all'interno della mappa web.

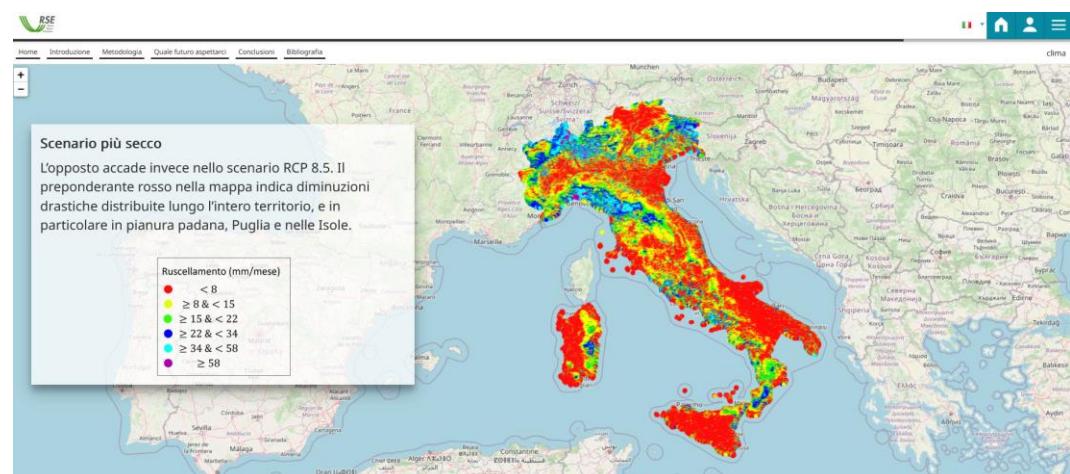


Figura 2.15 – Estratto della geostoria realizzata sul tema cambiamenti climatici e risorsa idrica.

3 - CONCLUSIONI

Nel contesto della transizione energetica è necessario affrontare in maniera dettagliata il tema delle relazioni tra energia e territorio per accogliere le sfide legate alla pianificazione energetica e allo sviluppo sostenibile. È necessario, quindi, considerare la molteplicità di fattori che possono influenzare l'integrazione delle fonti rinnovabili, come fattori meteo-climatici, concentrazione di inquinanti atmosferici, distribuzione di impianti esistenti, disponibilità di risorse, aree disponibili a nuove installazioni e presenza di vincoli ambientali.

In quest'ottica, RSE ha sviluppato e gestisce diversi strumenti GIS e WebGIS, come il GeoDB ETA, l'Atlante Integrato e il Geoportale Energia e Territorio, che organizzano e visualizzano i dati relativi al settore energetico a supporto della pianificazione energetica. Questi strumenti sono progettati per rispondere alla necessità di un'analisi integrata, garantendo fruibilità e interoperabilità.

Nel corso dell'anno e in continuità con le annualità precedenti, sono stati effettuati una manutenzione ed un aggiornamento continuo degli strumenti WebGIS, intervenendo sulle funzionalità e dedicando un grande sforzo all'inserimento di contenuti derivanti da attività di differenti progetti di Ricerca di Sistema. Un'attività particolarmente importante ha riguardato la selezione, il trattamento e l'organizzazione dei dati, spesso eterogenei, che alimentano le piattaforme al fine di rappresentarli nella forma e con le modalità più adeguate.

In questa direzione andranno i futuri sviluppi delle piattaforme qui presentate: da una parte si continuerà ad alimentarle con nuovi contenuti sfruttando la crescente diffusione dell'adozione di questo tipo di rappresentazioni; dall'altra, ricorrendo alle potenzialità fornite dagli sviluppi tecnologici informatici, si apporteranno miglioramenti per una maggiore fruibilità dei dati da parte degli utenti e una migliore interoperabilità tra gli strumenti.



4 - BIBLIOGRAFIA

- [1] Q. Wang, M. Mwirigi M'Ikiugu e I. Kinoshita, «A GIS-Based Approach in Support of Spatial Planning for Renewable Energy: A Case Study of Fukushima, Japan,» *Sustainability*, vol. 6, n. 4, pp. 2087-2117, 2014.
- [2] J. Van Hoesen e S. Letendre, «Evaluating potential renewable energy resources in Poultney, Vermont: A GIS-based approach to supporting rural community energy planning,» *Renewable Energy*, vol. 35, n. 9, pp. 2114-2122, 2010.
- [3] A. N. Arnette e C. W. Zobel, «Spatial analysis of renewable energy potential in the greater southern Appalachian mountains,» *Renewable Energy*, vol. 36, n. 11, pp. 2785-2798, 2011.
- [4] A. Miller e R. Li, «A Geospatial Approach for Prioritizing Wind Farm Development in Northeast Nebraska, USA,» *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 3, n. 3, pp. 968-979, 2014.
- [5] P. Diaz-Cuevas, «GIS-Based Methodology for Evaluating the Wind-Energy Potential of Territories: A Case Study from Andalusia (Spain).,» *Energies*, vol. 11, n. 10, p. 2789, 2018.
- [6] M. La Guardia, F. D'Ippolito e M. Cellura, «Construction of a WebGIS Tool Based on a GIS Semiautomated Processing for the Localization of P2G Plants in Sicily (Italy),» *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 10, n. 10, p. 671, 2021.
- [7] B. Resch, G. Sagl, T. Törnros, A. Bachmaier, J.-B. Eggers, S. Herkel, S. Narmsara e H. Gündra, «GIS-Based Planning and Modeling for Renewable Energy: Challenges and Future Research Avenues,» *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 3, pp. 662-692, 2014.
- [8] A. Alhamwi, W. Medjroubi, T. Vogt e C. Agert, «GIS-Based Urban Energy Systems Models and Tools: Introducing a Model for the Optimisation of Flexibilisation Technologies in Urban Areas,» *Applied Energy*, vol. 191, pp. 1-9, 2017.
- [9] A. Angelis-Dimakis , M. Biberacher, J. Dominguez, G. Fiorese, S. Gadocha, E. Gnansounou, G. Guariso, A. Kartalidis, L. Panichelli, I. Pinedo e M. Robba, «Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, n. 2, pp. 1182-1200, 2011.
- [10] L. Ramirez Camargo e G. Stoeglehner, «Spatiotemporal modelling for integrated spatial and energy planning,» *Energy, Sustainability and Society*, vol. 8, n. 32, 2018.
- [11] J. Vinuela-Martinez, M. Correa-Peralta, R. Ramirez-aormaliza, O. F. Arias e D. V. Paredes, «Geographic Information Systems (GISs) Based on WebGIS Architecture: Bibliometric Analysis of the Current Status and Research Trends,» *Sustainability*, vol. 16, n. 15, p. 6439, 2024.
- [12] F. Pasanisi, G. Righini, M. D'Isidoro, L. Vitali, G. Briganti, S. Grauso, L. Moretti, C. Tebano, G. Zanini, M. Mahahabisa, M. Letuma, M. Raliselo e M. Seitlheko, «A Cooperation Project in Lesotho: Renewable Energy Potential Maps Embedded in a WebGIS Tool,» *Sustainability*, vol. 13, n. 18, p. 10132, 2021.
- [13] I. R. E. Agency, «Global Atlas for Renewable Energy,» [Online]. Available: <https://globalatlas.irena.org>.
- [14] «Global Wind Atlas,» [Online]. Available: <https://globalwindatlas.info/en/>.
- [15] «Global Solar Atlas,» [Online]. Available: <https://globalsolaratlas.info/>.
- [16] RSE, «Atlante Integrato per il Sistema Energetico Nazionale e le Fonti Rinnovabili,» [Online]. Available: <https://atlanteintegrato.rse-web.it/>.
- [17] A. Gargiulo e G. Stella, «Il nuovo Atlante Integrato per il sistema energetico nazionale,» *Ricerca di Sistema*, RSE, n. 20010691, Milano, 2020.
- [18] RSE, «GeoDB ETA,» [Online]. Available: <http://dbeta.rse-web.it>.
- [19] A. Gargiulo, M. Aiello, L. Stucchi, M. A. Vergata e M. Volonterio, «Il geoportale RdS su FER e Territorio,» *Ricerca di Sistema*, RSE, n. 21010331, Milano, 2021.
- [20] RSE, «Geoportale Energia e Territorio,» [Online]. Available: <https://geoportale.rse-web.it/#/>.
- [21] RSE, «SunRISE Atlante Solare e previsioni meteo,» [Online]. Available: <http://sunrise.rse-web.it/>. [Consultato il giorno 2024].



- [22] G. Decimi, E. Collino e P. Marcacci, «SunRiSE: realizzazione di un portale per la diffusione di dati e previsioni per le FRNP,» Ricerca di Sistema, RSE, n. 17001777, Milano, 2017.
- [23] RSE, «AEOLIAN, Atlante EOLico ItaliANO,» [Online]. Available: <https://atlanteeolico.rse-web.it/>.
- [24] D. Airoldi, S. Sperati, M. Aiello, A. Amaranto, G. Decimi, M. Vergata e F. D'amico, «L'Atlante EOLico ItaliANO (AEOLIAN) - Il nuovo WebGIS,» RSE, Ricerca di Sistema, n. 22014065, Milano, 2022.
- [25] RSE, «GeoWebGIS,» [Online]. Available: <http://geowebgis.rse-web.it/map.phtml>.
- [26] S. Maran, M. Aiello e G. Decimi, «Sintesi delle attività di comunicazione e disseminazione per l'anno 2024 del Progetto "Energia da fonti rinnovabili e integrazione nel territorio",» RSE, Ricerca di Sistema, n. 24011110, Milano, 2024.
- [27] E. Garofalo, G. Ronchetti, M. Aiello, I. Galbiati, D. Airoldi, G. Palazzo e M. A. Vergata, «Studi a supporto della pianificazione territoriale per lo sviluppo degli impianti eolici e fotovoltaici,» Ricerca di sistema, RSE, n. 23013092, Milano, 2023.
- [28] ISTAT, «Basi territoriali e variabili censuarie,» [Online]. Available: <https://www.istat.it/it/archivio/104317>.
- [29] «Geoportale Nazionale,» [Online]. Available: <https://gn.mase.gov.it/portale/home>.
- [30] P. d. C. d. M. Dipartimento della Protezione Civile, «Classificazione sismica del territorio,» [Online]. Available: <https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/sismico/attivita/classificazione-sismica/>.
- [31] E. Garofalo, I. Galbiati, M. Aiello e A. Gargiulo, «Aree idonee e pianificazione energetica regionale: il caso del Piemonte,» Ricerca di Sistema, RSE, n. 23013424, Milano, 2023.
- [32] G. Ufficiale, «Decreto legislativo dell'8 novembre 2021, n. 199 Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili,» 2021.
- [33] G. Ufficiale, «DECRETO 21 giugno 2024 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Disciplina per l'individuazione di superfici e aree idonee per l'installazione di impianti a fonti rinnovabili.,» 2024.
- [34] Copernicus, «Copernicus Land Monitoring Service Corine Land Cover,» [Online]. Available: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>. [Consultato il giorno October 2024].
- [35] «Inventario delle risorse geotermiche nazionali,» UNMIG, [Online]. Available: <https://unmig.mase.gov.it/risorse-geotermiche/inventario-delle-risorse-geotermiche-nazionali/>.
- [36] «Progetto VIGOR,» [Online]. Available: <http://www.vigor-geotermia.it/>.
- [37] G. Squarzoni, F. Colucci, N. Bernardo e G. Agate, «Analisi di casi studio relativi a sistemi geotermici a circuito chiuso e a scambiatori in pozzo,» RSE, Ricerca sul Sistema Energetico, n. 23013130, Milano, 2023.
- [38] G. Squarzoni, N. Bernardo e F. Colucci, «Zonazione geotermica a bassa entalpia del territorio nazionale,» RSE, Ricerca di Sistema, n. 24011097, Milano, 2024.
- [39] N. Bernardo e G. Squarzoni, «Analisi geologiche finalizzate alla stima del potenziale geotermico a bassa entalpia delle aree italiane,» RSE, Ricerca sul Sistema Energetico, n. 23013090, Milano, 2023.
- [40] E. Garofalo, M. Aiello, A. Gargiulo e L. Stucchi, «Studi, dati e metodologie a supporto dell'elaborazione del decreto attuativo sulle Aree Idonee per impianti fotovoltaici ed eolici,» Ricerca di Sistema, RSE, n. 22014089, Milano, 2022.
- [41] E. Garofalo, M. Aiello, D. Airoldi, A. Amaranto, I. Galbiati, G. Ronchetti e Y. Bellone, «Tecnologie FER e potenzialità per il raggiungimento degli obiettivi FER per la transizione energetica,» RSE, Ricerca di Sistema, n. 24011099, Milano, 2024.
- [42] U. Gazzetta, «DL 15 maggio 2024, n. 63, recante: «Disposizioni urgenti per le imprese agricole, della pesca e dell'acquacoltura, nonche' per le imprese di interesse strategico nazionale.»,» 2024.
- [43] A. Del Corno, A. Denarie, G. Muliere e G. Spirito, «Valutazione dei benefici economici e ambientali per il teleriscaldamento a basse emissioni e strumento configurabile con banca dati GIS,» RSE, Ricerca di Sistema, n. 24011333, Milano, 2024.



- [44] ISTAT, «Censimento della Popolazione e delle Abitazioni,» 2011. [Online]. Available: <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx>.
- [45] OpenLayers, «OpenLayers,» [Online]. Available: <https://openlayers.org/>.
- [46] «Motus-e,» [Online]. Available: <https://www.motus-e.org/>. [Consultato il giorno Novembre 2024].
- [47] A. C. M. Cazzaniga, S. Salamone, I. Galbiati e M. Aiello, «Mobilità sostenibile in Italia: analisi sul territorio e nuove soluzioni possibili,» RSE, Ricerca di Sistema, n. 23012996, 2023.
- [48] RSE, «Diffusione dei punti di ricarica per veicoli elettrici in Italia,» [Online]. Available: <https://geoportale.rse-web.it/#/geostory/shared/770>. [Consultato il giorno 2024].
- [49] Parlamento Europeo; Consiglio Europeo, «Direttiva 2018/2001 dell'11 dicembre 2018 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili,» <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/LSU/?uri=CELEX%3A32018L2001>, 2018.
- [50] U. Gazzetta, «DM n. 414, 7/12/2023, pubblicato in GU il 7/2/2024 sull' "Individuazione di una tariffa incentivante per impianti a fonti rinnovabili inseriti in comunità energetiche rinnovabili e nelle configurazioni di autoconsumo singolo a distanza e collettivo",» 2024.
- [51] «Mappa delle iniziative di CER in Piemonte,» [Online]. Available: <https://geoportale.rse-web.it/#/viewer/openlayers/769>.
- [52] «Unioncamere Piemonte,» [Online]. Available: <https://pie.camcom.it/>.
- [53] «Fondazione Piemonte Innova,» [Online]. Available: <https://piemonteinnova.it/>.
- [54] A. Balzarini, N. Luciano, D. Toscano, A. Piccoli, I. Gini, A. M. Toppetti e M. Marzinotto, «Previsione e mappatura dei livelli di contaminazione degli isolatori della rete italiana,» RSE, Ricerca sul Sistema Energetico, n. 24012618, Milano, 2024.
- [55] RSE, «Mappe di qualità dell'aria. Stime odierne e previsioni a tre giorni.,» 2024. [Online]. Available: <https://geoportale.rse-web.it/#/viewer/openlayers/931>.
- [56] IPCC, «The Intergovernmental Panel on Climate Change,» [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/>.
- [57] G. Braca e D. Ducci, «Development of a GIS based procedure (BIGBANG 1.0) for evaluating groundwater balances at National scale and comparison with groundwater resources evaluation at local scale,» *Groundwater and Global Change in the Western Mediterranean Area*, Springer International Publishing, pp. 53-61, 2018.
- [58] R. Bonanno, A. Amaranto e L. Mancusi, «Aggiornamento e integrazione degli scenari climatici di produttività eolica e di ruscellamento,» RSE, Ricerca di Sistema, n. 23013091, Milano, 2023.
- [59] RSE, «Cambiamenti climatici e risorsa idrica: tra incertezze, sfide ed opportunità,» [Online]. Available: <https://geoportale.rse-web.it/#/geostory/shared/705>.
- [60] RSE, «Dashboard GeoDB ETA da Geoportale Energia e Territorio,» [Online]. Available: <https://geoportale.rse-web.it/#/dashboard/47>.
- [61] TERNA, «Pubblicazioni statistiche,» [Online]. Available: <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/pubblicazioni-statistiche>.
- [62] F. M. Institute, «Marine Regions,» [Online]. Available: <https://www.marineregions.org/>.
- [63] R. e. e-distribuzione, «Mappa interattiva PNRR per connessioni presso stazioni di rifornimento di carburanti tradizionali,» [Online]. Available: <https://geoportale.rse-web.it/#/context/SdR-PNRR/587>.
- [64] M. d. I. e. d. M. i. Italy, «Carburanti - Prezzi praticati e anagrafica degli impianti,» [Online]. Available: <https://www.mimit.gov.it/index.php/it/open-data/elenco-dataset/carburanti-prezzi-praticati-e-anagrafica-degli-impianti>.
- [65] «Leaflet,» [Online]. Available: <https://leafletjs.com/>.
- [66] S. Maran, A. Gargiulo, M. Vergata e G. Decimi, «Sintesi delle attività di comunicazione e disseminazione per l'anno 2023 del Progetto "Energia da fonti rinnovabili e integrazione nel territorio,» Ricerca di Sistema, RSE, n. 23013096, Milano, 2023.
- [67] «ISTAT - Basi territoriali e variabili censuarie,» [Online]. Available: <https://www.istat.it/it/archivio/104317>.

[68] «CER Piemonte,» [Online]. Available: <https://cer-piemonte.it/>.

[69] D. Cilio, I. Galbiati e M. Zulianello, «Applicazione della metodologia per la misurazione degli impatti socio-territoriali a un caso studio e relative valutazioni,» RSE, Ricerca sul Sistema Energetico, n. 24012776, Milano, 2024.

5 - ACRONIMI

Acronimo	Descrizione
BIGBANG	Bilancio Idrologico "GIS BAsed" a scala Nazionale su Griglia regolare
CER	Comunità Energetiche Rinnovabili
CUS	Capacità di uso del suolo
DTM	Modello digitale del terreno
EC	Carbonio Elementare
EEA	European Environment Agency
EUAP	Elenco ufficiale delle aree naturali protette
FER	Fonti Energetiche Rinnovabili
GIS	Geographical Information System
GSE	Gestore Servizi Energetici
IBA	Important Bird Areas
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
ISTAT	Istituto nazionale di Statistica
LCF	Land Cover Flow
MASE	Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Economica
MIBAC	Ministero per i Beni e le Attività Culturali
MICvir	Ministero della Cultura – Vincoli in rete
PAI	Piano per l'Assetto Idrogeologico
RdS	Ricerca di Sistema
RED	Renewable Energy Directive
RSE	Ricerca Sistema Energetico
SIC	Siti di Importanza Comunitaria
UNESCO	Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Educazione, la Scienza e la Cultura
ZPS	Zone di Protezione Speciale