

PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2025-2027 DELLA RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE

Presentazione dei progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del
decreto 26 gennaio 2000

Tema di ricerca 1.11

Titolo del progetto

Risorsa idrica e sistema energetico

- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]
- Alma Mater Studiorum Università di Bologna [UniBO-DICAM]
- Alma Mater Studiorum Università di Bologna [UniBO-DIN]
- Politecnico di Torino [POLITO]
- Università degli Studi di Catania [UniCT]
- Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Prevenzione [UniFE]
- Università degli Studi di Napoli, Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Telecomunicazioni Via Claudio, 21 Napoli [UniNA]
- Università degli Studi di Salerno [UniSA]

Durata del progetto: 36 mesi

Costo proposto: 3.999.999,98 €

2. DATI GENERALI DEL PROGETTO

2.1 Dati progetto

Titolo del progetto

Risorsa idrica e sistema energetico

Durata del progetto

36 mesi

2.2 Descrizione progetto

Abstract del progetto

La misura di quanto sia rilevante il tema della interazione tra il sistema energetico nazionale (SEN) ed il nostro sistema idrico integrato (SII) è evidente dal forte interesse che il tema suscita sia a livello del decisore pubblico che nei comuni cittadini, soprattutto nei periodi di siccità estivi quando alla carenza della risorsa idrica possono corrispondere diminuzioni nella capacità produttiva da idroelettrico, un problema la cui gestione si complica per via della contestuale maggiore richiesta di approvvigionamenti idrici da parte del settore agricolo e dalla necessità di compensare il deficit da idroelettrico aumentando la produzione energetica da fonti termoelettriche, stressandone così le possibilità operative in termini di capacità di raffreddamento di questa tipologia di fonti energetiche proprio in ragione di condizioni meteorologiche non favorevoli. Il problema è dunque assai evidente, tanto da essere peraltro richiamato in più parti del PNIEC, ma anche complicato soprattutto in relazione alla limitazione degli studi su questo tema nella comunità scientifica proprio in ragione della diversità di competenze che sono richieste.

In questo progetto, la tematica viene affrontata attraverso i WP:

WP1: Disponibilità della risorsa idrica in termini di studio della compatibilità tra i diversi usi e quello energetico;

WP2: Uso dell'acqua nei sistemi di produzione di energetica;

WP3: Strategie di adattamento ai cambiamenti climatici per la salvaguardia della risorsa idrica;

che affrontano diverse problematiche di questa ampia tematica, come di seguito meglio specificato.

Anche se l'interazione tra SEN e SII appare, a prima vista, abbastanza limitata: il consumo elettrico annuo del SII è pari a circa 7 TWh, certo rilevante, ma comunque circa il 3% del consumo elettrico annuo italiano (prevalentemente l'energia utilizzata nel settore idrico è energia elettrica) mentre il consumo di acqua dolce da parte del SEN, per il raffreddamento e la produzione di vapore in centrali termoelettriche è pari a solo circa 2 Mdm³/a, circa il 3% della disponibilità di acqua utile al settore civile ed ai cicli produttivi (industria ed agricoltura). Il livello di complicazione della interazione che occorre controllare aumenta però immediatamente quando si consideri che le centrali idroelettriche, che rappresentano oggi il 15%-20% della produzione elettrica nazionale, utilizzano grandi moli di acque dolci restituendole in buona parte a valle della produzione di energia (WP1) e che gran parte dell'acqua utilizzata nel ciclo produttivo delle centrali termoelettriche è acqua marina. Il comparto maggiormente idroesigente in Italia è il settore agricolo, che copre oltre la metà del fabbisogno idrico nazionale, ponendo in evidenza il tema della compatibilità con i fabbisogni idrici per gli altri usi (WP2, WP3). È immediato, ad esempio, pensare alla concorrenza tra il sistema irriguo necessario al funzionamento dei processi agricoli con quello legato alla produzione di energia da idroelettrico (R.J. Hogeboom et al. / *Advances in Water Resources* 113 (2018) 285–294). In effetti la maggior frequenza degli eventi siccitosi dovuta ai cambiamenti climatici in atto pone a rischio le produzioni agricole e spesso impone l'adozione di pratiche di approvvigionamento alternative energivore (es. dissalazione, pompaggi) (WP1). In linea con l'approccio Water-Energy-Food Nexus diviene quindi essenziale ricorrere a sistemi sostenibili di gestione della risorsa idrica in ambito agricolo, in termini di fabbisogni energetici e di risparmio di risorse, che includono mini-stoccaggi idrici e l'applicazione di pratiche agricole sostenibili (WP2), congiuntamente al ricorso a fonti idriche non convenzionali come le acque reflue depurate, pratica ancora poco diffusa a livello nazionale e di cui si rende necessario quantificare la potenzialità su base territoriale ed approfondire gli aspetti tecnico-economici tali da abilitarne l'effettiva disponibilità ed impiego (WP3). Un ulteriore grado di complicazione alla necessità di approfondire la conoscenza di questa interazione deriva dal fatto che il nostro paese, come tutta l'UE, ha deciso di accelerare il processo di transizione verso energie a minore impatto ambientale ed il cui impiego possa il più rapidamente possibile riflettersi positivamente sulla emissione di gas clima alteranti. Nel nostro paese, essendo ormai praticamente al limite la possibilità di utilizzo di idroelettrico, questo significa una forte spinta verso l'elettrificazione dei consumi e la produzione di energia elettrica attraverso la diffusione massiccia di centrali da fotovoltaico, da eolico e, infine, attraverso una forte spinta all'utilizzo di idrogeno. Come queste tecnologie energetiche impattino sulla risorsa idrica è, in buona parte, ancora oggetto di studio (WP2). Ciascuna delle tecnologie FER sopra menzionate si caratterizza con specifici Water Footprint (WF) che dipendono però dalle particolari tecnologie di produzione che vengono adottate e che dunque solo entrando nel dettaglio dello specifico processo di produzione possono confrontarsi con il corrispondente water footprint da fonti fossili. Ad esempio si stima che l'impronta idrica media per la produzione di energia prima da fonti fossili (petrolio, gas naturale e carbone) in Italia vari, nel ciclo operativo, tra 330 Mm³/TJ a 3200 Mm³/TJ (Sustainability 2018, 10, 228; doi:10.3390/su10010228). La produzione di idrogeno ha invece

WF che, a seconda delle tecniche possono variare tra meno di 1m³/TJ fino anche a 3000 m³/TJ (Environments 2018, 5, 24; doi:10.3390/environments5020024), diventando dunque perfino confrontabile col limite superiore delle fonti fossili. Poiché in Italia il consumo di energia fossile è nell'ordine di 1MTJ/a ne segue che l'impiego dell'idrogeno potrebbe avere un impatto sul WF positivo o negativo, a seconda delle tecnologie utilizzate. Nel caso dell'interazione acqua-energia, anche l'aspetto qualitativo, e cioè l'impatto che la produzione di energia ha sulla integrità dell'acqua come habitat di specie viventi, va infine tenuto in considerazione. Ad esempio, l'installazione di impianti fotovoltaici in bacini idrici (floating PV) comporta la diminuzione dell'apporto di luce solare e di ossigeno alle specie acquatiche viventi con il rischio di possibili forti impatti negativi sull'ambiente (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118851>) (WP2). Nell'ambito delle strategie che si rendono necessarie a salvaguardia della risorsa idrica per garantire l'adattamento ai cambiamenti climatici, risulta fondamentale riuscire a valutare l'effettiva disponibilità idrica a livello territoriale o locale, al fine di prevedere e contrastare gli impatti in termini di stress idrico dovuto ad utenze altamente idroesigenti (ad esempio proprio gli impianti di produzione dell'energia) (WP1). Lo sviluppo di modelli previsionali per tali scopi richiede la disponibilità di scenari meteo con risoluzioni spaziali e temporali adeguate a supportare i processi decisionali (WP1). Particolare attenzione in termini di strategie di adattamento va rivolta a realtà territoriali specifiche come le isole minori italiane, in cui gli aspetti di interconnessione tra la disponibilità di acqua e di energia appaiono particolarmente rilevanti e sensibili. In questi ambiti, spesso, le strategie di approvvigionamento idrico prevedono il ricorso a sistemi altamente energivori quali la dissalazione o il trasporto via mare, per cui in ottica di sostenibilità di lungo termine appare indispensabile il ricorso a strategie di recupero e risparmio della risorsa (WP3). Sempre in ottica di adattamento, occorre approfondire le esigenze di trattamento depurativo connesse all'abilitazione di pratiche di riutilizzo delle acque reflue depurate, con particolare riferimento alla rimozione di contaminanti emergenti in linea con le nuove normative settoriali (WP3). Meno immediata, ma almeno altrettanto rilevante è la constatazione che un sistema di distribuzione dell'acqua caratterizzato da forti perdite (come è da esempio il caso italiano) comporta di converso un rilevante impatto sul sistema energetico (Water 2023, 15, 3950. <https://doi.org/10.3390/w15223950>) in ragione della maggiore richiesta di energia per compensare le perdite lungo le linee. In questo ambito è importante sottolineare il ruolo che le tecnologie IoT e di digitalizzazione, più in generale, stanno avendo in termini di miglioramento del controllo e di conoscenza dei sistemi (WP1).

Abstract del progetto ENG

The relevance of the interaction between the national energy system (SEN) and the integrated water system (SII) is evident from the strong interest it generates both among public decision-makers and ordinary citizens, especially during summer droughts when water shortages can lead to reductions in hydroelectric production capacity. Management of this issue is complicated by the simultaneous increased demand for water supplies from the agricultural sector and the need to compensate for the hydroelectric deficit by increasing energy production from thermoelectric sources, thus stressing the operational capabilities of this type of energy source in terms of cooling capacity, mainly because of unfavorable weather conditions. The problem is therefore very evident, so that it is widely referenced in the PNIEC, but also complicated, especially with respect to the limited research on this topic in the scientific community, because of the various expertises required.

In this project, the topic is addressed by the following WPs:

WP1: Availability of water resources in terms of studying the compatibility between different uses and energy use;

WP2: Water use in energy production systems;

WP3: Climate change adaptation strategies for water resource protection;

intended to investigate various issues of this broad topic, as better specified below.

Although the interaction between the SEN and the SII appears, at first glance, to be quite limited: the annual electricity consumption of the SII is approximately 7 TWh, certainly significant, but still approximately 3% of Italy's annual electricity consumption (the energy used in the hydroelectric sector is mainly electricity), while the SEN's consumption of freshwater for cooling and steam production in thermoelectric power plants is likewise only approximately 2 Mdm³/y, approximately 3% of the available water available for the civil sector and production cycles (industry and agriculture). The level of complexity of the interaction that must be controlled, immediately increases when considering that hydroelectric power plants, which currently represent 15% - 20% of national electricity production, use large amounts of freshwater, much of which is released downstream of energy production (WP1), and that much of the water used in the production cycle of thermoelectric power plants is seawater. The most water-demanding sector in Italy is agriculture, which covers over half of the national water requirement, highlighting the issue of compatibility with water requirements for other uses (WP2, WP3). It is immediate, for example, to think of the competition between the irrigation system required for agricultural processes and that linked to hydroelectric energy production (RJ Hogeboom et al. / *Advances in Water Resources* 113 (2018) 285–294). Indeed, the increased frequency of droughts due to ongoing climate change puts agricultural production at risk and often requires the adoption of alternative energy-intensive supply practices (e.g. desalination, pumping) (WP1). In line with the Water-Energy-Food Nexus approach, it is therefore essential to resort to sustainable water resource management systems in the agricultural sector, in terms of energy needs and resource savings, which include mini-water storage and the application of sustainable agricultural practices (WP2), together with the use of unconventional water sources such as purified wastewater, a practice that is still not widespread at the national level and whose potential needs to be quantified on a territorial basis and the technical-economic aspects need to be explored in order to enable its effective availability and use (WP3). A further degree of complication to the need to deepen the knowledge of this interaction comes from the fact

that our country, like the entire EU, has decided to accelerate the process of transition towards energy with a lower environmental impact and whose use can have a positive impact on the emission of climate-altering gases as quickly as possible. In our country, the possibility of using hydroelectric power is now practically at its limit, this means a strong push towards the electrification of consumption and electricity production through the widespread deployment of photovoltaic and wind power plants and, finally, a strong push towards the use of hydrogen. How these energy technologies impact water resources is still largely a matter of study (WP2). Each of the RES technologies mentioned above is characterized by specific Water Footprints (WFs), which, however, depend on the specific production technologies adopted and therefore can only be compared with the corresponding water footprint from fossil fuels by delving into the details of the specific production process. For example, it is estimated that the average water footprint for energy production from fossil fuels (oil, natural gas, and coal) in Italy varies, over the operating cycle, between 330 Mm³/TJ and 3200 Mm³/TJ (Sustainability 2018, 10, 228; doi:10.3390/su10010228). Hydrogen production, on the other hand, has WFs that, depending on the techniques, can vary from less than 1 m³/TJ up to even 3000 m³/TJ (Environments 2018, 5, 24; doi:10.3390/environments5020024), thus becoming comparable with the upper limit of fossil fuels. Since fossil energy consumption in Italy is in the order of 1 MTJ/y, it follows that the use of hydrogen could have a positive or negative impact on WF, depending on the technologies used. In the case of water-energy interaction, the qualitative aspect, i.e. the impact that energy production has on the integrity of water as an habitat for living species, must also be taken into consideration. For example, the installation of photovoltaic systems in water basins (floating PV) leads to a decrease in the supply of sunlight and oxygen to living aquatic species, with the risk of potentially strong negative impacts on the environment (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118851>) (WP2). As part of the strategies required to safeguard water resources and ensure adaptation to climate change, it is essential to be able to assess actual water availability at the territorial or local level in order to predict and mitigate the impacts of water stress due to highly water-demanding users (for example, energy production plants) (WP1). The development of forecasting models for these purposes requires the availability of weather scenarios with adequate spatial and temporal resolutions to support decision-making processes (WP1). Particular attention in terms of adaptation strategies must be paid to specific territorial realities such as the smaller Italian islands, where the interconnectedness between water and energy availability appears particularly relevant and sensitive. In these areas, water supply strategies often involve the use of highly energy-intensive systems such as desalination or maritime transport, so from a long-term sustainability perspective, the use of resource recovery and conservation strategies appears essential (WP3). Still with a view to adaptation, it is necessary to further investigate the purification treatment needs associated with enabling practices for the reuse of treated wastewater, with particular reference to the removal of emerging contaminants in line with new sector regulations (WP3). Less immediate, but equally relevant, is the observation that a water distribution system characterized by high losses (as is the case in Italy, for example) conversely has a significant impact on the energy system (Water 2023, 15, 3950. <https://doi.org/10.3390/w15223950>) due to the increased energy demand to compensate for losses along the lines. In this frame, it is important to underline the role that IoT and digitalization technologies, more generally, are having in terms of improving control and system knowledge (WP1).

2.3 TRL progetto

TRL iniziale: 2

TRL finale: 4

Le attività svolte nel triennio di ricerca consentiranno in generale un incremento tecnologico da TRL 2 (Strumento o tecnologia formulata a livello di concetto) a TRL 3 (Concetto sperimentale provato) e, in alcuni casi, anche a TRL 4 (Strumento o tecnologia convalidata in laboratorio).

Le tematiche affrontate nel progetto sono infatti caratterizzate da un elevato grado di interdisciplinarietà (Disponibilità della risorsa idrica e compatibilità tra i diversi usi e quello energetico; uso dell'acqua nei sistemi di produzione energetica; strategie di adattamento ai cambiamenti climatici per la salvaguardia della risorsa idrica) e sono stati dunque solo di recente investigati con sempre maggiore intensità, sotto la spinta della necessità di far fronte alle emergenze climatiche, in relazione alle evidenti emergenze che essi rappresentano. Pertanto, il TRL generale di partenza per l'intero progetto è condizionato dal più basso valore di TRL nei diversi settori coinvolti (TRL 2).

Gli sviluppi indirizzati nel progetto comportano uno sforzo rilevante in termini di produzione di conoscenze oggi non disponibili o comunque non accessibili in maniera organica poiché frutto di settori ad oggi considerati pressoché indipendenti tra loro. L'incremento a TRL 4 si concretizza attraverso prodotti di ricerca resi disponibili agli stakeholder a loro interessati per la transizione energetica, validati sulla base di dati misurati in campo ovvero in laboratori e infrastrutture energetiche di ricerca su scala ridotta, in particolare per quei prodotti (software, modelli, tecnologie) che risultino come prodotti della ricerca triennale.

2.4 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte

a) Stato dell'arte nazionale e internazionale relativamente alle attività previste nel progetto

L'interazione risorsa acqua-risorse energetiche, il cosiddetto Water-Energy Nexus, è tra i temi a più rapido sviluppo in termini di ricerca con un numero di lavori specifici pubblicati sul tema che è aumentato del 50% negli ultimi 5 anni. Ciascuno dei due termini del problema è critico nel nostro paese che è fortemente dipendente dall'estero per la propria autonomia energetica e che pur essendo un paese con ampie disponibilità in termini di risorse idriche è comunque stato inserito, già da 10 anni dall'OCSE, tra i paesi a stress idrico medio-alto, come espresso dal Water Exploitation Index. Come sopra descritto, sebbene l'emergenza della questione sia ormai evidente ed ancora di più essa è complicata dal fatto che non è ancora chiaro in quale verso i processi di transizione energetica verso sistemi più sostenibili

possano indirizzare i nuovi scenari di sviluppo, la complicazione nel suo studio connessa alla necessità di ricorrere a competenze diverse e trasversali, rendono la sua comprensione difficile. È necessario dunque costituire ambienti di studio complessivi del problema. In Olanda, per esempio, questo è ciò che fa il IHE, Institute for Water Education a Delft, ma anche più istituti in Germania (l'ISE -Fraunhofer o l'IDOS) e comunque iniziative simili sono già consolidate in altri paesi europei e non. Questo progetto mira dunque a lavorare in questa direzione, esaminando tre problematiche che appaiono prioritarie per il nostro territorio.

Il primo è la disponibilità della risorsa idrica in termini di studio della compatibilità tra i diversi usi e quello energetico (WP1) particolarmente. Il tema di base affrontato è dunque quello relativo alle problematiche di gestione delle risorse primarie. La gestione delle risorse idriche (Water Resources Management) mira ad un uso responsabile della risorsa acqua e alla conservazione delle risorse ambientali ad essa correlate, al fine di raggiungere e sostenere il benessere economico e sociale, senza compromettere la sostenibilità nel tempo degli ecosistemi dipendenti dal ciclo dell'acqua. Attraverso l'insieme dei processi che costituiscono questo strumento è possibile trovare un equilibrio tra quelle che sono da una parte la disponibilità idrica e dall'altra la domanda che si fa della risorsa. Quest'ultima è spesso caratterizzata da una pluralità di usi. Nel nostro paese l'uso irriguo dell'acqua rappresenta la fetta di maggior consumo della risorsa, pari a circa il 70%. A questa contribuiscono poi gli usi domestici, quelli industriali, quelli finalizzati al mantenimento dei vincoli di tutela ambientale e gli usi legati alla produzione di energia. Dal punto di vista energetico, secondo quanto indicato nel "Rapporto statistico 2021 - Energia da fonti rinnovabili in Italia", a cura del GSE [1] gli usi più rilevanti della risorsa idrica in ambito energetico sono in relazione alla produzione idroelettrica che costituisce fino a circa il 40% del volume di energia prodotta in Italia da fonti rinnovabili, con il maggior numero di impianti localizzati nel settentrione del paese, per caratteristiche climatiche e morfometriche degli spartiacque idrologici, mentre tecnologie emergenti quali il fotovoltaico flottante e l'idrogeno verde non costituiscono ancora, in questa fase storica, contesti critici per la risorsa idrica, anche se potrebbero diventarlo nel futuro. La competizione tra risorsa idrica e richiesta energetica può dunque essere molto forte soprattutto nelle condizioni meteorologiche dove entrambe sono particolarmente stressate, come ad esempio la stagione estiva. In queste condizioni la previsione della disponibilità e del fabbisogno di entrambe diventa centrale per soddisfare separatamente ogni richiesta da parte dell'utente finale, sia del sistema elettrico che di quello idrico. La disponibilità combinata della risorsa idrica in funzione di usi energetici è poi affrontata in termini di realizzazione di una mappatura dei siti utilizzabili per la produzione energetica. Gli strumenti di analisi spaziale e di GeoAI (Geographical Artificial Intelligence), le metodologie modellistiche e numeriche nonché le tecniche di intelligenza artificiale generativa sono cruciali per l'obiettivo, in particolare nello scenario di cambiamento climatico che incide sulla disponibilità idrica e nella considerazione dell'impatto antropico esercitato dall'uomo. Più specificamente, l'uso di strumenti GIS consente di localizzare le risorse idriche e valutarne le caratteristiche che possono favorire il loro sfruttamento per usi energetici. Le tecnologie di intelligenza artificiale (IA) e di analisi geospaziale stanno peraltro rapidamente rivoluzionando anche questo settore di ricerca relativo alla valutazione della disponibilità idrica, combinando dati provenienti da sensori, satelliti e modelli numerici avanzati. La Geo-AI e il telerilevamento sono al centro di queste innovazioni, permettendo di monitorare e gestire le risorse idriche con maggiore precisione e rapidità [2]. Infine il tema viene affrontato anche in termini di sviluppo di modelli di bilancio idrologico che possano dare una quantificazione della disponibilità idrica. Recenti studi evidenziano come anche qui l'integrazione di intelligenza generativa e machine learning stia migliorando la capacità di modellare processi idrologici complessi e non lineari. Queste tecnologie consentono di ottimizzare la gestione delle risorse idriche, utilizzando dati eterogenei e big data raccolti da diverse fonti, tra cui sensori IoT e immagini satellitari. Tuttavia, l'applicazione dell'AI in idrologia presenta ancora delle sfide, in particolare nella trasparenza e interpretabilità dei modelli. Si sta lavorando per combinare modelli basati su principi fisici con quelli guidati dai dati per migliorare l'accuratezza e l'affidabilità delle previsioni [3]. Tecniche come il remote sensing e l'integrazione di dati geospaziali permettono anche in questi ambiti di ottenere misurazioni più accurate delle risorse idriche e di migliorare la gestione delle incertezze idrologiche [4].

Il secondo tema affrontato è quello dell'uso dell'acqua nei sistemi di produzione di energie rinnovabili (WP2), declinandolo in tre sotto-tematiche. La prima è l'utilizzo dei bacini idrici per la produzione di energia da fotovoltaico. In Italia, la ricerca sull'integrazione tra impianti fotovoltaici e bacini idrici è ancora agli inizi, ma sono in corso azioni significative, principalmente grazie ad Enel che è l'operatore principale che studia e sviluppa la tecnologia del fotovoltaico galleggiante. Dopo la sperimentazione iniziata qualche anno fa a Catania, Enel ha installato in diversi siti Italia alcune decine di MW e stima una potenzialità di qualche centinaio di MW [5,6]. I test fatti sono stati utili per la messa a punto di un impianto pilota nella centrale idroelettrica di Venaus, in Piemonte, dove sta costruendo un impianto

fotovoltaico galleggiante in un grande bacino di servizio della centrale. I moduli fotovoltaici che verranno installati avranno una potenza di circa 1 MW e una produzione annua attesa di circa 1.200 MWh. A livello internazionale, ci sono stati significativi sviluppi, specialmente in paesi come Cina e Paesi Bassi, dove l'integrazione di fotovoltaico su bacini idrici è vista come una soluzione innovativa per risparmiare spazio e ridurre l'evaporazione dell'acqua. In Giappone e Corea del Sud, sono in corso progetti che utilizzano sensori avanzati e tecniche di machine learning per monitorare in tempo reale la qualità delle acque nei bacini idrici utilizzati per impianti fotovoltaici flottanti. In questo progetto l'attenzione è rivolta in particolare al monitoraggio automatico della qualità delle acque su cui insistono questi impianti e che potrebbe essere inficiata proprio dalla presenza di questi sistemi [7]. Si tratta di tecniche innovative e di grande impatto per il sistema elettrico perché possono assicurare la compatibilità tra dei due sistemi, migliorando anche l'accettabilità sociale di questo tipo di installazioni. Lo studio dell'integrazione funzionale in termini anche di gestione ottimizzata dei sistemi fotovoltaici in contesti agricoli costituisce un secondo sottotema importante. Nel nostro paese l'integrazione di impianti fotovoltaici su serbatoi agricoli è stata esplorata principalmente attraverso progetti pilota in regioni come Puglia e Sicilia. Questi progetti mirano a migliorare l'efficienza dell'uso

dell'acqua nelle aziende agricole, riducendo l'evaporazione dai serbatoi e utilizzando l'energia prodotta per le operazioni agricole. A livello accademico, studi recenti si concentrano poi sull'efficienza dei sistemi di irrigazione assistiti da energia solare, e sull'impatto delle strutture fotovoltaiche sull'ecosistema agricolo, inclusi gli effetti sui microclimi locali e sulla biodiversità. A livello internazionale, i paesi come India e Israele stanno guidando la ricerca sull'integrazione di fotovoltaico e serbatoi d'acqua agricoli. In India, il progetto "KUSUM" è uno dei più grandi programmi di energia solare distribuita per l'agricoltura, con una forte enfasi sulla gestione sostenibile delle risorse idriche. In Israele, l'integrazione del fotovoltaico con i sistemi di irrigazione agricola ha portato a soluzioni innovative che combinano l'efficienza energetica con la gestione ottimale dell'acqua, riducendo l'impatto ambientale delle pratiche agricole tradizionali. Studi recenti negli Stati Uniti mostrano come l'uso di sistemi solari flottanti su laghetti agricoli possa ridurre le temperature dell'acqua e limitare la crescita delle alghe, migliorando la qualità dell'acqua e la salute degli ecosistemi. Questo progetto affronterà il problema in termini del tutto innovativi studiando come i sistemi di gestione basati su dispositivi IoT (SCADA-IoT) possano consentire la migliore integrazione funzionale degli impianti fotovoltaici con gli impianti asserviti ai processi di produzione agricola (in particolare i sistemi di pompaggio). Si tratta dunque di un approccio che considera simultaneamente il beneficio per l'utente del sistema elettrico e per l'impresa agricola quale consumatrice di energia ed acqua [8-9]. Terzo sottotema è quello relativo alla produzione di idrogeno in relazione allo specifico fabbisogno idrico richiesto da questo vettore. L'Italia sta esplorando l'idrogeno verde come soluzione futura per la decarbonizzazione. Attualmente, progetti pilota come quelli condotti da ENI e Snam si concentrano sulla produzione di idrogeno attraverso elettrolisi, cercando di minimizzare l'uso di acqua dolce attraverso l'adozione di tecnologie avanzate di desalinizzazione. In collaborazione con università e centri di ricerca, si stanno dunque sviluppando tecniche per ottimizzare l'uso dell'acqua nella produzione di idrogeno, come l'uso di acque reflue trattate. Alcuni progetti di ricerca nazionali stanno sviluppando tecnologie IoT per il monitoraggio ambientale, come l'iniziativa "Smart Water Grid" in Emilia-Romagna. Questi progetti si concentrano su tecniche automatizzate per la raccolta di dati relativi a parametri fisico-chimici e biologici, con un'attenzione crescente all'ecosostenibilità degli impianti di produzione energetica. A livello globale, l'Australia e il Medio Oriente stanno emergendo come leader nella produzione di idrogeno verde, con investimenti significativi nella desalinizzazione per ridurre l'impatto idrico della produzione di idrogeno. Nel contesto europeo, la Germania e i Paesi Bassi stanno sviluppando sistemi di produzione di idrogeno che integrano soluzioni di economia circolare, utilizzando acque reflue trattate per ridurre l'impatto sull'uso di acqua dolce. Le tecnologie emergenti includono anche l'uso di materiali catalitici più efficienti per ridurre il consumo di acqua durante l'elettrolisi. Approcci simili saranno investigati in questo progetto per contenere il consumo di acqua per la produzione di idrogeno attraverso innovative tecniche di elettrolizzazione [10-12].

Infine, con un terzo tema (WP3) si affronta il problema dell'interconnessione tra i fabbisogni idrici del comparto energetico e di settori idroesigenti (i.e. agricoltura), mettendo in luce i margini di mitigazione e contrasto a fenomeni competitivi e di stress idrico offerti dal ricorso alla pratica del riutilizzo delle acque reflue depurate. Le interconnessioni tra il sistema energetico, il sistema idrico integrato e il sistema agricolo – alla base del cosiddetto Water-Energy-Food (WEF) Nexus – rappresentano un aspetto cruciale da considerare nella pianificazione degli usi delle risorse in ottica di garantire la sicurezza dell'approvvigionamento, l'efficienza e la sicurezza energetica, la sostenibilità ambientale, la competitività economica e l'innovazione tecnologica. In riferimento al contesto italiano, tale esigenza viene richiamata nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC, 2024) e nel Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC, 2023), alla luce degli obiettivi sanciti dalle politiche comunitarie in termini di sostenibilità, sicurezza energetica, gestione responsabile delle risorse idriche e produttività dei sistemi.

Il settore energetico esercita una forte domanda di risorsa idrica, legata soprattutto alle esigenze di raffreddamento delle centrali termiche ed ai fabbisogni degli impianti idroelettrici, rappresentando in termini di idro-esigenza il terzo settore dopo quello agricolo e residenziale [13]. La vulnerabilità del settore energetico rispetto alla disponibilità di risorsa idrica si evidenzia soprattutto in periodi di siccità prolungata, con possibili criticità nella gestione degli invasi legate alla salvaguardia degli usi prioritari (potabile e irrigui) e ponendo a rischio gli obblighi produttivi da parte dei gestori idroelettrici (L. 12/2019). Nel 2022, in corrispondenza degli eventi siccitosi che in Italia hanno causato una perdita stimata del 31% delle risorse idriche rispetto al 2021 (36 miliardi di m³ in meno), è stata osservata una riduzione del 37% della produzione idroelettrica (circa 30,3 TWh, inclusi gli apporti di pompaggio) rispetto alla media del decennio 2012-2021 (48,4 TWh) [2, 3]. Analoghe criticità hanno interessato la produzione delle centrali termoelettriche, che rappresentano la principale fonte di elettricità del Paese (50,6% della potenza installata totale) e richiedono elevati prelievi di acqua per esigenze di

raffreddamento: la magra del Po dell'estate 2022 ha causato lo stop di 5 grandi centrali termoelettriche. Nel periodo estivo vanno poi considerati i picchi di domanda energetica esercitati dai settori produttivi, in particolare quello agricolo, e residenziale, con relativo aumento del rischio di blackout [14, 15].

Appare quindi indispensabile, soprattutto in sede di pianificazione, un approccio innovativo di tipo organico e non più settoriale, in grado di combinare la salvaguarda del bilancio idrico e la sicurezza energetica e produttiva, nel quadro dei cambiamenti climatici in atto. Si propone pertanto lo sviluppo di metodologie di analisi e valutazione a livello macro-territoriale finalizzate a mettere in luce le interconnessioni tra SEN, SII e settore agricolo, tenendo conto del bilancio idrico e dei livelli di stress idrico a livello di bacino. Allo stesso tempo, occorre identificare i possibili margini di ottimizzazione e razionalizzazione dei consumi idrici ed energetici in specifici settori produttivi e territoriali. Saranno monitorati i bilanci idrici di alcune aziende target di settori particolarmente idroesigenti (e.g. acquacoltura, agroalimentare, comparto ceramico) al fine di produrre set di dati aggiornati utili alle successive valutazioni di scenario. Analogamente, a livello territoriale saranno esaminati ambiti vulnerabili come le isole minori, identificati come capofila per la transizione energetica dall'iniziativa EU(Com) Clean Energy for EU Islands: sarà approfondito un caso studio con la valutazione del bilancio idrico, dei

consumi energetici e delle possibili misure di mitigazione tra cui il recupero dell'acqua piovana e delle acque reflue.

Tra le principali strategie di mitigazione e contrasto dei fenomeni di carenza idrica, tese a garantire la sicurezza alimentare ed energetica, rientra il riutilizzo degli effluenti degli impianti di depurazione municipali. Questi vanno considerati come veri e propri "processi produttivi" in grado di garantire risorsa idrica quantitativamente rilevante e, soprattutto, con volumi pressoché costanti nel tempo ed un livello di qualità fit-for-purpose, cioè modulabile in base alle effettive esigenze d'uso. La pratica del riutilizzo degli effluenti depurati rappresenta una forma di mitigazione a vantaggio soprattutto del settore agricolo, che è il maggior utilizzatore di acqua in Italia, con 11,6 miliardi di m³ di acqua prelevata nel 2021 [13], caratterizzato da forte stagionalità d'uso concentrata nei periodi estivi. Tra gli altri usi ipotizzabili, sarà approfondita anche la possibilità di destinare acque reflue di recupero ai fini della produzione di idrogeno. Per abilitare la pratica su larga scala, le recenti evoluzioni del contesto normativo (e.g. Reg. EU 741/2020 e nuova direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane EU 3019/2024) impongono approfondimenti sugli effettivi livelli di presenza di microinquinanti emergenti negli effluenti e sulle relative esigenze di rimozione, con conseguenti impatti sui fabbisogni energetici del settore depurativo che ad oggi, a livello nazionale, sottende a circa il 2% dei consumi elettrici [16].

Riferimenti bibliografici

- [1] Dal Verme, M., Lipari, D., Lucido, G., Maio, V., Surace, V., Liberatore, P., 2023. Rapporto statistico 2021 - Energia da fonti rinnovabili in Italia. GSE - Gestore dei Servizi Energetici S.p.A.; https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/Rapporto%20Statistico%20GSE%20-%20FER%202021.pdf
- [2] Talukdar, S., Shahfahad, Pal, S., Naikoo, M.W., Ahmed, S., Rahman, A. (2024). Recent Trends in Application of Geospatial Technologies and AI for Monitoring and Management of Water Resources. In: Talukdar, S., Shahfahad, Pal, S., Naikoo, M.W., Ahmed, S., Rahman, A. (eds) *Water Resource Management in Climate Change Scenario. GIScience and Geo-environmental Modelling*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61121-6_1
- [3] Chang, F.-J.; Chang, L.-C.; Chen, J.-F. Artificial Intelligence Techniques in Hydrology and Water Resources Management. *Water* 2023, 15, 1846. <https://doi.org/10.3390/w15101846>
- [4] Duan, W.; Maskey, S.; Chaffe, P.L.B.; Luo, P.; He, B.; Wu, Y.; Hou, J. Recent Advancement in Remote Sensing Technology for Hydrology Analysis and Water Resources Management. *Remote Sens.* 2021, 13, 1097. <https://doi.org/10.3390/rs13061097>
- [5] <https://www.enelgreenpower.com/it/media/news/2020/10/fotovoltaico-galleggiante-catania>
- [6] <https://www.enelgreenpower.com/it/media/news/2023/06/venaus-impianto-fotovoltaico-flottante>
- [7] de Lima, R.L.P.; Paxinou, K.; C. Boogaard, F.; Akkerman, O.; Lin, F.-Y. In-Situ Water Quality Observations under a Large-Scale Floating Solar Farm Using Sensors and Underwater Drones. *Sustainability* 2021, 13, 6421. <https://doi.org/10.3390/su13116421>
- [8] Barron-Gafford, G. A., et al. (2019). Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), 848-855.
- [9] Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299-308.
- [10] Asghari, E., Abdullah, M. I., Froughi, F., Lamb, J. J., & Pollet, B. G. (2022). Advances, opportunities, and challenges of hydrogen and oxygen production from seawater electrolysis: An electrocatalysis perspective. In *Current Opinion in Electrochemistry* (Vol. 31). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2021.100879>
- [11] D'Amore-Domenech, R., Santiago, Ó., & Leo, T. J. (2020). Multicriteria analysis of seawater electrolysis technologies for green hydrogen production at sea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110166>
- [12] Drespe, S., Dionigi, F., Klingshof, M., & Strasser, P. (2019). Direct electrolytic splitting of seawater: Opportunities and challenges. In *ACS Energy Letters* (Vol. 4, Issue 4, pp. 933–942). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acsenerylett.9b00220>
- [13] The European House-Ambrosetti - Libro Bianco 2023. Il valore dell'acqua per l'Italia, 4a edizione
- [14] The European House-Ambrosetti e A2A - Position Paper 2023: "Acqua: azioni e investimenti per l'energia, le persone e i territori"
- [15] ARERA Relazione sullo stato dei servizi Direzione Mercati Energia luglio 2023

[16] Ganora, D., et al., 2019. Opportunities to Improve Energy Use in Urban Wastewater Treatment: A European-Scale Analysis. *Environmental Research Lett.* 2019, 14, 044028.

b) Attività svolte nel triennio precedente

La linea di progetto sopra delineata è nuova: non esistono dunque preesistenti attività di ricerca in relazione alla Ricerca Sistema Elettrico. È importate richiamare qui che, pur avendo i due dipartimenti ENEA coinvolti ampie competenze negli ambiti di studio di questo progetto (Energia e Risorse Idriche), esistono però pochissime iniziative strutturate che riguardano o hanno riguardato lo studio di temi di ricerca e sviluppo congiunti. Tra queste possiamo elencare:

- Progetto SISMEA Sistema Smart di Monitoraggio Energia ed Acqua (Contratto di ricerca, finanziato da MASAF), presso cooperativa di produttori agricoli orticoli nella provincia di Latina teso ad ottimizzare i consumi idrici dell'intera filiera produttiva di ortaggi da foglia e radice tuttora in corso.
- Progetto FISH-IMPACT (2024-27) programma europeo transnazionale ADRION che mira a modernizzare le micro, piccole e medie imprese nel settore ittico dell'acquacoltura promuovendo requisiti di qualità e sostenibilità, includendo l'efficienza d'uso di acqua ed energia.

Entrambi i progetti hanno però valenza assai specifica e puntuale, molto lontano dall'approccio esaustivo che si vuole perseguire con questa iniziativa.

c) Obiettivi scientifici e tecnologici e progressi attesi rispetto allo stato dell'arte

Gli obiettivi scientifici e tecnologici del progetto consentiranno di conseguire un effettivo progresso rispetto all'attuale gestione della disponibilità idrica per i diversi usi incluso quello energetico emergente, spesso frammentata e settoriale, attraverso un approccio che considera tutti gli elementi che contribuiscono all'equilibrio tra la disponibilità idrica e la domanda della risorsa per i diversi usi correnti ed emergenti. Questo approccio utilizza in maniera combinata tecnologie avanzate come l'analisi spaziale, la GeoAI, la modellistica numerica predittiva (modelli meteorologici, idrologici ed idraulici) e l'intelligenza artificiale per valutare la disponibilità idrica reale e il potenziale utilizzo per scopi energetici compatibilmente con gli usi correnti.

In particolare, nel WP1, attraverso l'uso di strumenti GIS e di tecniche di GeoAI saranno localizzate le risorse idriche distribuite sul territorio nazionale e valutate le caratteristiche che possono favorire il loro sfruttamento per usi energetici; i modelli di bilancio idrologico consentiranno di quantificare la disponibilità idrica delle risorse, prendendo in input dati meteorologici elaborati da dataset telerilevati o tramite modellistica climatica; i modelli di bilancio idrico, che tengono conto dei funzionamenti delle opere idrauliche, forniranno strumenti attraverso i quali in prospettiva futura è possibile sperimentare una gestione sostenibile della risorsa idrica rispetto agli usi plurimi anche in condizioni di scarsità della risorsa; la modellistica idraulica e l'intelligenza generativa a confronto forniranno gli strumenti per una gestione proattiva delle infrastrutture di distribuzione dell'acqua rilevando o prevedendo fallanze (e.g. perdite) lungo la rete e stimando gli effetti sulla disponibilità idrica e sulla domanda energetica.

Gli obiettivi scientifici e tecnologici relativi al WP2 possono portare a significativi progressi rispetto allo stato dell'arte attuale, evidenziato negli studi e nelle tecnologie citate precedentemente. Si svilupperanno infatti nuove metodologie di monitoraggio ambientale basate su sistemi robotici mobili e sensori multiparametrici, superando le attuali limitazioni delle tecniche statiche e satellitari. L'obiettivo specifico è migliorare la precisione, la frequenza spaziale e temporale delle misurazioni, garantendo una gestione ottimale degli impatti ambientali. L'introduzione di sistemi di monitoraggio autonomi e mobili rappresenta un avanzamento rispetto agli attuali strumenti di rilevamento statico. Si prevede di ottenere dati ambientali più accurati e tempestivi, migliorando la gestione degli impianti FPV e riducendo l'impatto sugli ecosistemi acquatici.

Altro obiettivo è dimostrare l'efficacia di sistemi fotovoltaici galleggianti e non, integrati con le produzioni agricole, massimizzando la produzione energetica e minimizzando l'evaporazione dai bacini idrici. In questo caso, si svilupperanno architetture sensoristiche avanzate basate su IoT e algoritmi predittivi di intelligenza artificiale, per ottimizzare la gestione di risorse come acqua ed energia in contesti agricoli. Attraverso l'uso di tecnologie predittive basate su AI e IoT, si attende un miglioramento nella gestione delle risorse idriche e nell'efficienza complessiva dei sistemi fotovoltaici, riducendo l'uso di acqua e ottimizzando la produzione agricola ed energetica. Nello scenario futuro della grande penetrazione dell'idrogeno come vettore energetico l'obiettivo che ci si pone di perseguire è implementare elettrolizzatori avanzati ad alta efficienza, che utilizzino acque reflue o desalinizzate, riducendo il consumo di acqua dolce. Saranno sviluppati modelli termodinamici per ottimizzare l'uso dell'energia rinnovabile e migliorare la continuità operativa degli impianti di produzione di idrogeno. L'ottimizzazione del processo di elettrolisi tramite l'uso di acque reflue o desalinizzate consentirà un significativo progresso rispetto alle soluzioni attuali, riducendo la dipendenza dalle risorse idriche dolci e aumentando la sostenibilità complessiva della produzione di idrogeno.

Il WP3, infine, si pone come obiettivi primari in primo luogo l'approfondimento della conoscenza e la valutazione delle interconnessioni esistenti tra il Sistema Elettrico, il comparto depurativo ed il settore agricolo, evidenziando il nesso Water-Energy-Food, proponendo un approccio innovativo e non più settoriale; in secondo luogo mira a valutare ed approfondire, anche dal punto di vista sperimentale, scenari di mitigazione delle possibili criticità in termini di allocazione della risorsa idrica primaria, inclusa la valutazione di tecnologie in grado di

abilitare il riuso a fonti idriche non convenzionali quali i reflui depurati. Le dimensioni spaziali e temporali delle indagini costituiranno la base per lo sviluppo di metodologie di analisi e valutazione a livello macro-territoriale mirate a mettere in luce le interconnessioni tra i fabbisogni idrici ed energetici ed individuare i contesti territoriali con maggiori criticità. Inoltre, specifiche valutazioni riguarderanno gli effetti dell'evoluzione normativa di settore attualmente in corso (e.g. Reg. (UE) 2020/741, nuova Direttiva UWWTD EU 3019/2024)) ed i conseguenti impatti sulla gestione dei processi depurativi e del relativo bilancio energetico. Sul fronte degli usi, saranno analizzate nel dettaglio, mediante specifici casi studio di approfondimento, le interconnessioni acqua-energia in ambiti produttivi idro-esigenti (e.g. agroalimentare, piscicoltura) ed in ambiti territoriali particolarmente vulnerabili come le isole minori dove, mediante uno specifico caso studio, saranno indagate le connessioni acqua-energia secondo un approccio sistemico e d'insieme, valutando il recupero di fonti di acqua non convenzionali, quali acque meteoriche e acque reflue depurate, come pratica sostenibile per mitigare le pressioni sul sistema di approvvigionamento idrico e, conseguentemente, sul sistema energetico. Infine, in relazione alla pratica del riutilizzo delle acque reflue depurate su larga scala, vista come una delle principali strategie di mitigazione e contrasto dei fenomeni di carenza e siccità idrica atte a garantire la sicurezza alimentare ed energetica, saranno approfonditi gli aspetti scientifici legati all'inquinamento da microinquinanti emergenti (MiE), consentendo di verificarne l'andamento a lungo termine e gli aspetti di stagionalità. Saranno approfondite le fonti,

l'andamento, la degradabilità e la tossicità di alcune classi di contaminanti. Opportune valutazioni ecotossicologiche supporteranno la creazione di una banca dati a supporto della valutazione del rischio qualitativa e semi-quantitativa di alcuni inquinanti emergenti identificati come target, elemento innovativo previsto dalle nuove normative di settore al fine di minimizzare i rischi per la salute e l'ambiente connessi con il riuso delle acque reflue. Tali valutazioni, unitamente alla verifica sperimentale di tecnologie per il loro abbattimento (trattamenti quaternari), contribuiranno all'identificazione di soluzioni innovative ed energeticamente sostenibili per il corretto recupero e riutilizzo dei reflui depurati.

d) Eventuali collegamenti con altri progetti relativamente alle attività previste nel progetto

Di seguito vengono riportati i progetti di ricerca che, pur non affrontando la tematica specifica di questo progetto, hanno negli scorsi anni contribuito a consolidare le competenze sulle quali fa riferimento l'affidatario per l'esecuzione di questo progetto. A questi si aggiungono ovviamente anche quelli già riportati al punto b.

- Progetto RISES ha lavorato sull'uso di un carrier robotico di superficie, adattabile come supporto e piattaforma di sperimentazione.
- Progetto LAHKE ha consentito lo sviluppo di specifiche metodologie di classificazione.
- Progetto H2020-VIDIS ha sviluppato l'utilizzo di architetture di reti di sensori basate su microcontrollori e AI in-edge. UIA-Progetto AirHeritage è connesso per la progettazione di un ecosistema IoT con nodi fissi e mobili per il monitoraggio ambientale.
- Progetto POR-SIMONA ha lavorato all'integrazione in uno SCADA, di informazioni provenienti da prototipi di monitoraggio di parametri distribuiti sulla rete di trasporto reflui.
- Progetto POR H2 coordinato da ENEA, è collegato con la filiera di ricerca sull'idrogeno in particolare nello sviluppo di elettrolisi in scala di laboratorio per applicazioni navali, con validazione in stack prototipali.
- Progetto Ricerca di Sistema Elettrico, PTR 2016-2018, 2019-2021: sviluppo di metodologie di valutazione del bilancio energetico di impianti di depurazione e individuazione di soluzioni migliorative tecnico-gestionali dei processi.
- Progetto Energia e Sostenibilità per la PA (ES-PA, PON Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020): elaborazione di linee guida per l'efficienza energetica e la riduzione dei consumi negli impianti di trattamento reflui e nelle imprese agricole (LL.GG. 2.3.5, 2.3.6, 2.4.1).
- Progetto Value CE-IN (POR-FESR 2014-2020 Regione Emilia-Romagna): realizzazione di un prototipo di monitoraggio della qualità delle acque reflue trattate ai fini del riutilizzo agricolo in linea con il Reg (UE) 2020/741, messa a punto di metodiche di campionamento ed analisi di MiE e MPs.
- Progetto ISSPA, PO FEAMP 2014-2020 - Innovazione, sviluppo e sostenibilità della pesca e dell'acquacoltura per la Regione Campania: identificazione di MPs in diversi corpi idrici e studio della loro degradazione e diffusione in ambiente.
- Polyrisk, Horizon 2020: identificazione di metodi analitici idonei alla caratterizzazione dell'esposizione e degli effetti delle MPs
- PON R&I 2014 - 2020 E FSC "RAFAEL- SISTEMA PER LA PREVISIONE E LA GESTIONE DEL RISCHIO SULLE INFRASTRUTTURE CRITICHE NEL SUD ITALIA" - CODICE IDENTIFICATIVO ARS01_00305 -OR4: "Infrastrutture Critiche: sistemi elettrici e per il trasporto dell'acqua" ha lavorato alla modellazione dell'interdipendenza tra reti di idriche e reti elettriche attraverso un approccio euristico basato sulla modellistica fisica di simulazione del funzionamento delle reti idriche e algoritmi di ottimo multi-obiettivo per la dislocazione delle reti di monitoraggio lungo la rete idrica
- Accordo Di Programma Mite - Enea PNRR- Missione 2 - Componente 2 - Investimento 3.5 "Ricerca E Sviluppo Sull'idrogeno", POR - "Ricerca E Sviluppo Di Tecnologie Per La Filiera Dell'idrogeno" - LA 4.3.3 " Metodologie e strumenti GIS per la identificazione di siti ottimali e la valutazione del potenziale di idrogeno " ha lavorato alla definizione di metodi e strumenti digitali spazialmente basati per la dislocazione ottimale di infrastrutture di idrogeno verde sul territorio regionale e per la valutazione del potenziale di idrogeno verde in riferimento a casi d'uso nel settore delle industrie hard-to-abate

- PON Ricerca e Competitività 2007-2013: Progetto integrato PON4a2_F “BE&SAVE-AQUASYSTEM-SIGLOD”- “Sviluppo di procedure e tecnologie innovative per la gestione sostenibile delle risorse idriche superficiali e sotterranee, l’ottimizzazione energetica ed il controllo della qualità dell’acqua nei sistemi acquedottistici” ha lavorato allo sviluppo di un metodo e un sistema per il controllo della qualità delle acque nei reti acquedottistiche basati su reti di sensori distribuiti, modellistica fisica idraulica e algoritmi di IA – Brevetto ENEA TR10201800006379

2.5 Obiettivi e risultati

a) Obiettivi finali del progetto

Nella fase di transizione energetica che stiamo sperimentando, la risorsa idrica torna a riscoprire quella centralità in termini di connessione col sistema energetico, sia in termini diretti, attraverso per esempio centrali idroelettriche, sia attraverso vie del tutto nuove, come possono essere la produzione di idrogeno oppure l’utilizzo di bacini per ospitare centrali fotovoltaiche o, anche, il recupero dell’acqua utilizzata in ambiti diversi, sia per fini connessi al sostentamento dell’uomo e sia per la produzione di energia. Si tratta chiaramente di un problema complesso che non può che essere affrontato in termini molto parziali.

Questo progetto esamina il problema seguendo tre approcci (i tre workpackage di progetto). Il primo guarda alla disponibilità della risorsa idrica in termini di studio della compatibilità tra i diversi usi e quello energetico, intendendosi qui col termine energetico tutto ciò che fa riferimento al complesso delle fonti che costituiscono gli asset portanti della nuova transizione energetica. L’obiettivo finale in questo caso è definire metodi e strumenti per accertare quante sono le risorse idriche utilizzabili per la produzione di energia rinnovabile e come queste possano essere tenute sotto controllo e salvaguardate nei nuovi scenari produttivi e con i nuovi strumenti di analisi del reale (p.e. i metodi di intelligenza artificiale generativa). Il secondo approccio guarda nello specifico all’uso dell’acqua nei sistemi di produzione di energie rinnovabili, con particolare riferimento al fotovoltaico ed all’idrogeno. Si tratta di questioni centrali. L’annebbiamento culturale collegato all’utilizzo delle energie fossili ha indotto un metodo di analisi dei problemi energetici che solo di recente ha riscoperto la necessità di visuali più ampie che tengano anche d’acconto le esternalità. La nuova transizione nasce invece con un’ottica già più aperta in termini di valutazione dell’impatto ambientale delle scelte che si operano. L’obiettivo finale è in questo caso dunque lo sviluppo di tecniche di controllo con metodologie avanzate, robotiche e di IoT management, di sistemi energetici integrati con sistemi idrici di varia natura per minimizzarne l’impatto ambientale e massimizzarne l’efficienza sia in termini di produzione di energia e sia in termini di utilizzo di quella stessa energia. L’ultimo aspetto che sarà affrontato è quello della interconnessione relativa all’uso della risorsa idrica tra il settore energetico, gli usi agricoli ed il settore depurativo, visti i crescenti fenomeni di competizione per l’utilizzo della risorsa idrica a fini produttivi, accentuati dal cambiamento climatico. Saranno condotte analisi territoriali e definiti approcci e metodi per valutare la disponibilità della risorsa idrica ed assicurarne il riutilizzo, soprattutto nei contesti territoriali in cui si innescano fenomeni competitivi di approvvigionamento, anche in relazione ai fabbisogni di tipo energetico. A tale scopo, saranno considerati specifici casi studio di insediamenti produttivi (agro-industria) e contesti territoriali vulnerabili come le isole minori. Sarà infine affrontata la tematica dei rischi del riutilizzo in ambito agricolo associati alla presenza di microinquinanti emergenti (MiE), valutandone da un lato gli aspetti eco-tossicologici mediante indagini di laboratorio e prevedendo, dall’altro lato, un approfondimento sperimentale per monitorarne la presenza in impianti di depurazione reali e per testare tecnologie di processo atte alla loro rimozione da acque reflue depurate, procedendo a conseguenti valutazioni di efficienza funzionale ed energetica.

b) Principali risultati attesi/deliverable

In termini formali, i risultati/deliverable di questo progetto sono elencati in dettaglio nella successiva sezione e riassunti nella Tabella 4. Qui di seguito sono invece riportati i risultati di progetto, attesi al mese 36, in termini di effettivo cambiamento rispetto allo stato dell’arte attuale, sopra descritto, suddivisi per i tre approcci utilizzati, con particolare riferimento al contesto nazionale.

WP1-Disponibilità della risorsa idrica e compatibilità tra i diversi usi e quello energetico

Risultati:

- Metodo di previsione della disponibilità idrica in funzione delle condizioni meteorologiche utilizzabile dagli operatori di settore per gestire la competizione tra usi energetici della risorsa idrica ed altri utilizzi (Macro-Task 1A);
- Mappatura, alla più ampia scala possibile, delle risorse idriche presenti nel paese ed utili a fini energetici e valutazione del potenziale energetico (Macro-Task 1B).
- Valutazione di sistemi di intelligenza artificiale anche generativa come tecniche per l’ottimizzazione della gestione delle perdite di infrastrutture idriche (Macro-Task 1C).

WP2-Uso dell’acqua nei sistemi di produzione energetica

Risultati:

- Messa a punto di sistemi automatici per il controllo di qualità (Macro-Task 2A) e la gestione (Macro-Task 2B) di bacini utilizzati per la produzione di energia da fotovoltaico e/o come risorsa per i sistemi di irrigazione agricola;
- Selezione di metodi per l’ottimizzazione della produzione di idrogeno mediante tecniche a ridotto impatto idrico, volte a rendere i

processi più efficienti (Macro-Task 2C).

WP3-Strategie di adattamento ai cambiamenti climatici per la salvaguardia della risorsa idrica.

Risultati:

-Studio su base territoriale dei fabbisogni di acqua per usi energetici in rapporto agli altri utilizzi possibili, valutazione del potenziale delle acque reflue di riutilizzo come risorsa idrica non convenzionale a livello territoriale e con riferimento a singoli insediamenti idro-esigenti, anche a fronte di approfondimenti di casi studio di riferimento (Macro-Task 3A);

-Messa a punto di metodiche ed approcci modellistici territoriali su base GIS, individuazione di soluzioni infrastrutturali e tecnologie per la sostenibilità del sistema idrico ed energetico in contesti territoriali particolarmente vulnerabili come le isole minori (Macro-Task 3B).

-Monitoraggio analitico e studio sperimentale di tecniche e processi di rimozione di microinquinanti emergenti (MiE) al fine di abilitare la pratica del riutilizzo delle acque reflue depurate in ambito agricolo ed energetico, come misura di mitigazione dello stress idrico dovuto agli usi competitivi per i fini energetici ed agricolo (Macro-Task 3C).

Va infine rimarcato che anche lo specifico WP (WP4) dedicato alla gestione progettuale è stato qui concepito non solo in termini della sua capacità di assicurare la usuale produzione di rapporti tecnici, pubblicazioni scientifiche etc., ma anche per attivare studi e discussioni su queste tematiche nuove e diverse che sono certamente ancora poco recepite dalla opinione pubblica e che hanno invece un forte impatto sulla vita quotidiana.

Tutti i risultati sopra descritti contribuiranno al raggiungimento degli obiettivi di progetto e all'avanzamento rispetto allo stato dell'arte, come sopra descritto. La quantificazione delle prestazioni dei risultati non può essere stimata, a priori, rispetto a studi preesistenti data l'innovatività della tematica e l'assenza di dati di riferimento.

Il raggiungimento degli obiettivi di progetto sarà valutato e misurato mediante la predisposizione di opportuni indicatori in grado di valutare l'incremento di obiettivo dovuto ai protocolli, ai dispositivi, alle piattaforme e agli strumenti sviluppati nel progetto e di fornire un riscontro della bontà delle soluzioni proposte e una misura dell'avanzamento del progetto rispetto allo stato dell'arte.

I singoli risultati sono riportati nella Tabella della sezione 4 del PTR. Nella descrizione delle attività e nella Tabella della sezione 4, ogni Deliverable è identificato da un codice specifico secondo il metodo di codifica (simile ma non identico in quanto riflette la codifica prodotti utilizzata internamente da ciascun affidatario), illustrato nel seguito.

SAL-Stato Avanzamento Lavori

Indipendentemente dalla programmazione temporale prevista per i risultati della ricerca, le singole LA presenteranno SAL con cadenza 18 mesi, costituiti da Report di SAL, contenenti la descrizione delle attività tecnico-amministrativa svolta nel periodo e della corrispondente documentazione tecnico-amministrativa a supporto. I Report di SAL possono essere inglobati nei Report Tecnici periodicamente previsti, se la tempistica risulta coincidente.

Codifica prodotti ENEA

Rapporti Tecnici: RT_1.11_LAx.y_ENEA_N Protocolli: PRC_1.11_LAx.y_ENEA_N Prototipi: PRT_1.11_LAx.y_ENEA_N Infrastrutture:

INF_1.11_LAx.y_ENEA_N Piattaforme: PTF_1.11_LAx.y_N

Componenti software: SW_1.11_LAx.y_ENEA_N dove:

x è il numero di WP

y è il numero progressivo di LA del WP

N la lettera maiuscola che identifica il Deliverable della LA

Esempi: RT_1.11_LA1.2_ENEA_A; PRC_1.11_LA1.7_ENEA_A; PRT_1.11_LA2.7_ENEA_A; INF_1.11_LA3.4_ENEA_A;

PTF_1.11_LA3.7_ENEA_A; SW_1.11_LA3.13_ENEA_A

2.6 Fattibilità tecnico-scientifica

a) Fattibilità tecnico-scientifica

Il progetto si basa sulle competenze dei dipartimenti TERIN e SSPT di ENEA rispettivamente principalmente nel settore energetico e in ambito idrico. Laddove specifici elementi risultino meglio e più efficientemente conseguibili all'esterno, saranno attivate specifiche linee condotte da selezionati co-beneficiari. I rischi intrinseci all'implementazione delle singole attività e le possibili vie di mitigazione, sono riportate all'interno della descrizione delle attività stesse, nella sezione successiva, anche se è bene precisare che tutti i dataset che saranno utilizzati originano da test in campo e saranno sostituiti con dataset sintetici solo se eventi di forza maggiore (p.e. eventi estremi) ne rendessero impossibile l'utilizzo. Qui si dà invece conto solo della organizzazione dei piani di lavoro, di chi sono gli attori chiamati in causa, dell'articolazione delle attività e dei rischi di fallimento, ex ante, delle attività che si vogliono realizzare.

Il Macro-Task 1A chiama le competenze TERIN ed SSPT in termini da un lato di conoscenze specifiche di forecasting dell'irraggiamento solare legato alla produzione di energia fotovoltaica e dall'altro in termini di competenze sull'evoluzione dei sistemi meteo-climatici. Le due competenze si fonderanno nello sviluppo di un modello di evapotraspirazione da bacini idrici interni per raggiungere il primo dei risultati previsti. La milestone ai 18 mesi, corrispondente al primo SAL, legata ai primi confronti con i dati di letteratura, consentirà di

valutare la raggiungibilità dell'obiettivo finale che appare però realisticamente conseguibile nei tempi previsti dal progetto.

Il Macro-Task 1B è finalizzato allo sviluppo di mappe interattive di bacini idrici nazionali utilizzabili per fini energetici. Si basa sulle competenze essenzialmente di TERIN nello sviluppo di metodi e strumenti spazialmente basati relativi a diversi ambiti energetici (fotovoltaico, agrivoltaico, CER etc.). Si tratta di competenze ben assestate e le uniche incertezze relative alla raggiungibilità del risultato sono collegabili alla disponibilità di dati connessi con la problematica. Anche qui la milestone al mese 18 consentirà di sperimentare un primo rilascio di sistema che dovrebbe corrispondere già abbastanza strettamente a quanto atteso al termine del progetto. E' prevedibile qui l'attivazione di una linea di ricerca attraverso un co-beneficiario per la definizione specifica dell'utilizzo possibile dei bacini individuati. Il Macro-Task 1C è relativo invece all'utilizzo di metodi innovativi in termini di intelligenza generativa, per la valutazione di perdite in reti idriche e del loro impatto energetico. Anche questa linea si basa sulle competenze di IA di TERIN, consolidate in ambito energetico. Questa è una attività a TRL decisamente inferiore ed i risultati attesi sono in termini soprattutto di studio di fattibilità certamente raggiungibile nei tempi di progetto. La milestone ai 18 mesi prevista in corrispondenza del SAL darà indicazioni sulla digitalizzazione della rete idrica, attività già svolta dall'affidatario e qui propedeutica allo sviluppo delle più avanzate tecniche IA.

Il Macro-Task 2A studia l'impatto di sistemi fotovoltaici flottanti sulla qualità delle acque di bacini idrici. Si basa sulle competenze dirette di TERIN in campo di robotica acquatica e di fotovoltaico galleggiante e non e sulle competenze di SSPT in termini di ecotossicologia di sistemi acquatici. La milestone ai 18 mesi sarà relativa in questo caso alla acquisizione della attrezzatura necessaria mentre il risultato finale sarà il test in campo al 36 mese. Le competenze chiamate in causa sono tutte ben consolidate e consentono di considerare più che realistico il risultato prefigurato. In questo caso sarà anche attivata una linea di ricerca esterna relativamente alle tecniche di indagine sperimentale specifiche per impianti flottanti, su cui ENEA ha relativamente scarsa familiarità.

Il Macro-Task 2B è finalizzato alla realizzazione di sistemi di gestione integrata fotovoltaico-agricolo con particolare riferimento ai sistemi di pompaggio. Si tratta di innovativi sistemi SCADA-IoT sui quali ENEA ha grande esperienza derivante da specifici progetti di ricerca (p.e. MARTA) già in stato avanzato che confortano sulla raggiungibilità del risultato finale. La milestone ai 18 mesi sarà relativa al disegno prescelto del sistema ed alla acquisizione dei componenti necessari.

Il Macro-Task 2C è relativo alla connessione produzione idrogeno-minimizzazione del fabbisogno idrico con metodi che guardano anche all'utilizzo di risorse idriche di qualità inferiore a quella normalmente attesa dagli elettrolizzatori. In particolare, sarà anche attivata una sottolinea relativo all'utilizzo di acque marine per la produzione di idrogeno attraverso un cobeneficiario specializzato in questo ambito di ricerca. Si tratta di attività a TRL basso, vicina ad uno studio di fattibilità e si considera in questo caso una milestone al mese 26 come punto di controllo relativo alla definizione di bacini idrici adatti alla produzione di idrogeno.

Il Macro-Task 3A consentirà la definizione di un quadro conoscitivo su base territoriale delle interconnessioni esistenti tra sistema elettrico e sistema idrico anche in relazione ai consumi di specifici settori idroesigenti assunti come casi studio, dedicando poi uno specifico focus al comparto depurativo. La milestone ai 18 mesi fornirà una prima disamina su base nazionale a seguito dell'acquisizione del quadro informativo di riferimento. Tale linea prevede il coinvolgimento di TERIN per quanto concerne l'analisi dei consumi energetici di alcune aziende del servizio idrico, ma avrà prevalentemente il contributo di SSPT.

Il Macro-Task 3B prende a riferimento le isole minori come laboratorio di studio in scala reale delle criticità di interconnessione sistema idrico-sistema elettrico in condizioni di potenziale forte stress dei due. Ci si concentra in questo caso sulle tecniche volte al recupero delle risorse idriche (acque meteoriche, reflui depurati), attività che è stata già avviata dal dipartimento SSPT. La milestone al mese 18 darà le prime indicazioni operative relative all'approccio applicabile in un caso studio di riferimento finalizzato alla implementazione di sistemi di recupero ed efficientamento acqua/energia. Il risultato finale è realisticamente conseguibile in virtù delle competenze in campo.

Il Macro-Task 3C guarda invece agli aspetti di contaminazione da microinquinanti emergenti (MiE) e microplastiche (MPs) connessi al riutilizzo delle acque reflue depurate, sia in ambito agronomico che come possibile fonte a vantaggio di elettrolizzatori per la produzione di H₂. Le pratiche di riutilizzo si rendono sempre più necessarie soprattutto nei periodi siccitosi, nei quali si osservano perdite di produttività al sistema elettrico fino al 30% in termini di capacità, ovvero decine di TWh che devono essere recuperati con l'utilizzo di fonti fossili a costi ambientali (CO₂ emessa) ed economici (prezzi spot) che richiedono urgentemente la messa a punto di soluzioni tecniche innovative. Nello specifico, saranno condotte attività sperimentali che guardano alle tecniche più avanzate di rimozione in relazione alle efficienze depurative e ai fabbisogni di tipo energetico. La milestone al mese 18 darà indicazioni sulle specifiche esigenze e sulle tecniche da testare nella seconda parte delle attività. Dal punto di vista economico, il progetto mira a proporre soluzioni operative in un settore, quello della connessione acqua-energia, estremamente oneroso per il paese.

2.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi

a) Impatto e benefici sul sistema energetico

I benefici che questo progetto potrebbe avere sul sistema energetico nazionale e sull'ambiente sono definiti da quanto sopra riportato. In sintesi:

- migliore gestione delle risorse idriche, sia in termini di capacità di previsione del loro utilizzo a fini energetici, sia in termini di conoscenza definita del fabbisogno per altri utilizzi;
- definizione di metodi di gestione avanzata del combinato risorsa idrica-risorsa energetica con tecniche tali da abilitare possibili gestioni

automatizzate in funzione anche delle condizioni metereologiche;

- gestione ottimizzata della produzione di energia da rinnovabili;
- ricorso a fonti idriche non convenzionali come le acque reflue depurate, sia ai fini agricoli che ai fini energetici e produttivi.

In ultima analisi l'impatto più rilevante è la risoluzione già in fase di pianificazione di ogni possibile conflitto sull'utilizzo della risorsa idrica per fini energetici in confronto con richieste provenienti da altri settori altrettanto socialmente rilevanti.

b) Benefici per gli utenti

Il sistema energetico nazionale si avvia ad essere, a transizione energetica completata, per il 60% - 70% un sistema elettrificato dipendente da fonti rinnovabili e, dunque, dalle condizioni metereologiche. Queste stesse condizioni influenzano in maniera diretta la disponibilità di risorsa idrica. La competizione tra i due usi è dunque sia direttamente attraverso la produzione di energia e sia indirettamente attraverso la competizione sull'utilizzo di acqua come supporto alla produzione energetica. Questo progetto inizia a prendere in considerazione tre aspetti di questa interconnessione e, anche dal suo successo, potrà dipendere la possibilità per l'utente finale di usufruire di energia pulita a costi contenuti e prodotta in maniera tale da non avere alcun impatto negativo su altri segmenti, quali ad esempio, la produzione e la disponibilità di cibo.

c) Previsione delle ricadute applicative

Le ricadute applicative sono collegate alla messa a disposizione di strumenti di pianificazione energetica utili sia al decisore pubblico che agli amministratori locali che, infine, agli operatori di settore. Questi beneficeranno anche dei risultati dello sviluppo di tecnologie di gestione integrata avanzata (IoT) nel caso di operatori agricoli.

Poiché l'obiettivo del progetto è la salvaguardia della risorsa idrica anche in termini di qualità della stessa, un'ulteriore ricaduta in termini applicativi sarà la possibilità di valutare l'utilizzo, diretto o indiretto, di acque secondarie di recupero per la produzione energetica ovvero per gli usi agricoli a vantaggio della resilienza del sistema produttivo (con benefici indiretti anche per il settore energetico).

Vale la pena infine sottolineare a questo riguardo che non si riscontrano benefici economico-finanziari diretti per gli enti di ricerca proponenti derivanti dalle ricerche del progetto. L'incremento di competenze acquisite da affidatari e cobeneficiari aumenteranno le loro possibilità di accesso a finanziamenti di ricerca futuri su temi affini.

2.8 Verifica dell'esito del progetto

a) Oggetti e documentazione dei risultati finali

La verifica dell'esito del progetto sarà basata sui deliverable indicati nella Tabella riassuntiva della sezione 4 e che includono Rapporti Tecnici, Protocolli, Prototipi, Piattaforme e Infrastrutture.

Per la valutazione dei Rapporti Tecnici si farà riferimento ai contenuti descritti nelle rispettive Linee di Attività.

La verifica di protocolli, prototipi, piattaforme e infrastrutture potrà avvalersi dei risultati delle valutazioni e dei test effettuati descritti nei relativi rapporti, o della loro presa visione presso le sedi degli affidatari.