

PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2025-27 - RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE

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

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto 1.11 - Risorsa idrica e sistema energetico

Durata: 36 mesi

Periodo attività: 01/01/2025 - 31/12/2025

ABSTRACT ATTIVITA' ANNUALE:

Come da Capitolato approvato, il progetto Progetto 1.11 - Risorsa idrica e sistema energetico è suddiviso in quattro workpackage di cui si riporta, qui di seguito, lo stato al 31/12/2025.

WP1 – Disponibilità della risorsa idrica per il sistema energetico

Nell'ambito del WP1 "Disponibilità della risorsa idrica per il sistema energetico" sono state sviluppate tre Linee di Attività a responsabilità ENEA ed una affidata al co-Beneficiario Università di Salerno. Nella LA1.1 è stata avviata la creazione di una banca dati delle variabili meteo-climatiche: sono state condotte analisi preliminari sui cambiamenti attesi nelle condizioni di siccità in Italia entro fine secolo, individuando dataset di riferimento e proiezioni climatiche ad alta risoluzione per tre scenari futuri; il calcolo dell'Indice Standardizzato di Precipitazione a 3 mesi (SPI3) ha evidenziato un peggioramento delle condizioni di siccità nei prossimi decenni. È stato inoltre aggiornato il modello di elaborazione delle immagini Meteosat per il calcolo della Global Horizontal Irradiance sul territorio nazionale, validato con i dati del piranometro della Casaccia. Nella LA1.3 è stato messo a punto un approccio integrato EO-based (Sentinel-2, Landsat) e GIS-based per la localizzazione dei corpi idrici interni e la stima di parametri idro-morfometrici funzionali al fotovoltaico flottante (FPV), producendo mappe tematiche regionali. Nella LA1.5 (UNISA) ha definito la metodologia per la quantificazione della risorsa idrica nel bacino del Fiume Tanagro, mentre la LA1.6 ha sviluppato un digital twin delle perdite nelle reti idriche di distribuzione, con ricadute su efficienza, risparmio energetico e riduzione delle emissioni.

WP2 – Uso dell'acqua nei sistemi di produzione energetica

Nell'ambito del WP2 "Uso dell'acqua nei sistemi di produzione energetica" sono state avviate tre Linee di Attività a responsabilità ENEA. La prima, relativa al monitoraggio della qualità delle acque, ha riguardato lo sviluppo di uno studio sul monitoraggio ambientale di bacini idrici interessati dalla presenza di impianti fotovoltaici galleggianti. In tale ambito sono stati identificati i principali parametri ambientali da rilevare e sono state acquisite la piattaforma robotica e la sonda multiparametrica per le attività sperimentali. La seconda, dedicata all'impatto delle installazioni fotovoltaiche galleggianti sulla risorsa idrica, ha consentito di individuare le principali interazioni tra impianto flottante, bacino e usi secondari della risorsa, quali irrigazione e piscicoltura. Sono state inoltre definite le grandezze fisico-chimiche rilevanti, gli stakeholder coinvolti e gli indicatori chiave da integrare in un'interfaccia HMI informativa. Infine, la terza, relativa alla produzione di idrogeno

elettrolitico rinnovabile, ha riguardato l'analisi delle criticità connesse alla sovrapproduzione da FER e l'impostazione di modelli di ottimizzazione per integrare produzione di idrogeno verde e trattamento delle acque reflue, valutando costi, prestazioni e vincoli energetico-ambientali.

WP3 – Gestione integrata acqua-energia in ambito agricolo, depurativo e territoriale

Nell'ambito del WP3 "Gestione integrata acqua-energia in ambito agricolo, depurativo e territoriale" sono state sviluppate tre Linee di Attività a responsabilità ENEA. Nella LA3.1 sono stati analizzati i consumi energetici e i fabbisogni idrici del Sistema Elettrico Nazionale e del settore agricolo mediante fonti bibliografiche e piattaforme open source georeferenziate; per la depurazione è stato stimato il potenziale di acque reflue trattate riutilizzabili in linea con il Reg. 2020/741, integrando una survey con Utilitatis e Utilitalia e l'individuazione del caso studio agroindustriale Coop Agritalia. Nella LA3.4 sono state studiate le isole minori italiane quali contesti sensibili al nexus climate-water-energy-food, impostando una metodologia GIS-based per il recupero di acque meteoriche e reflue depurate; è stato individuato il caso studio dell'isola di Ventotene, formalizzato con una lettera di intenti con il Comune, e progettate le centraline di monitoraggio della LA3.5 in accordo con il gestore Acqualatina. Nella LA3.7 è stata aggiornata la bibliografia su microinquinanti emergenti e microplastiche nelle acque reflue, con ricognizione delle tecnologie di rimozione anche in ottica di produzione di idrogeno; è stata progettata una linea impiantistica completa e individuato l'impianto di depurazione di Cesena (Gruppo HERA) per le future campagne sperimentali.

WP4 – Coordinamento, disseminazione e organizzazione scientifica

Nell'ambito del WP4 "Coordinamento, disseminazione e organizzazione scientifica" si sono tenuti nel 2025 due incontri del Comitato di Coordinamento del Progetto 1.11, che vede ENEA e RSE come affidatari di attività sinergiche e complementari. La prima riunione (23 settembre 2025) ha condiviso lo stato di avanzamento delle proposte progettuali e approfondito sinergie su usi energetici della risorsa idrica, mappatura dei bacini a scala di distretto, usi agricoli e previsioni meteo; RSE ha illustrato il web-GIS "Atlante Integrato" sui consumi degli impianti termoelettrici e idroelettrici, mentre ENEA ne ha evidenziato l'uso come base informativa per i WP3 e WP1, anche tramite GeoIA per il fotovoltaico flottante. La seconda riunione (5 dicembre 2025) ha illustrato i risultati della prima annualità, tra cui la metodologia satellitare per il rilievo batimetrico degli invasi e gli impatti ambientali del fotovoltaico galleggiante. In parallelo, ENEA Portici ha iniziato a curare l'organizzazione della prima Water Resources and Energy Systems Conference 2026 (EW2026), in programma dal 1° al 3 luglio 2026 presso il Centro Ricerche di Portici, dedicata al nexus energia-acqua, con pubblicazione dei contributi selezionati nella collana Springer Lecture Notes in Energy.

ATTIVITA' SVOLTE

<i>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</i>	<i>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</i>
ENEA (WP1)	LA1.1 Creazione di una banca dati delle variabili meteo-climatiche di interesse per la risorsa idrica sono state condotte analisi preliminari relative ai cambiamenti attesi nelle condizioni di siccità in Italia entro la fine del secolo, rispetto agli standard attuali. Sono stati individuati datasets di riferimento per la ricostruzione della risorsa idrica sul territorio nazionale e proiezioni climatiche ad alta risoluzione per tre scenari climatici futuri. È stato calcolato l'Indice

	Standardizzato di Precipitazione a 3 mesi (SPI3) e definite metriche basate su di esso. Rispetto a queste metriche è stato rilevato che le condizioni di siccità sono destinate a peggiorare nei prossimi decenni, con intensità diversa a seconda di specifici scenari. Inoltre, è stato modificato il modello di elaborazione delle immagini satellitari Meteosat, adattandolo al nuovo formato delle immagini disponibili. Il modello aggiornato è stato quindi utilizzato per il calcolo della Global Horizontal Irradiance (GHI) sull'intero territorio nazionale per l'anno 2025. La bontà del modello è stata valutata mediante il confronto con i dati di GHI acquisiti dal piranometro installato presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia. LA1.3 Sviluppo di un catasto delle risorse idriche disponibili per la produzione di energia rinnovabile È stato messo a punto un approccio integrato basato su analisi di dati multispettrali da Sentinel-2 e Landsat (EO-based), e analisi spaziali (GIS-based) per la localizzazione e l'analisi della variabilità stagionale e interannuale dei corpi idrici interni, nonché per la stima di parametri idromorfometrici, quali area, batimetria e temperatura superficiale dei corpi idrici, funzionali allo sviluppo del fotovoltaico flottante (FPV). I risultati sono stati elaborati sotto forma di mappe tematiche dei corpi idrici, a livello regionale, utilizzabili per la pianificazione e/o la progettazione di impianti FPV. Gli strumenti digitali sviluppati consentono di ottimizzare i processi di pianificazione e progettazione, ridurre tempi e costi di analisi preliminare e supportare la diffusione del FPV, contribuendo alla transizione ecologica e all'innovazione tecnologica del settore produttivo. LA1.6 (Definizione di un modello digitale per la caratterizzazione degli effetti delle perdite nelle reti idriche sulla disponibilità idrica) È stata sviluppata una metodologia innovativa per l'identificazione areale e la quantificazione delle perdite idriche, finalizzata alla valutazione della risorsa idrica dispersa, l'energia rinnovabile non prodotta, gli sprechi energetici associati, nonché i relativi impatti economici e l'impronta di carbonio. È stato realizzato un digital twin delle perdite in una rete idrica di distribuzione attraverso la georeferenziazione delle diverse componenti della rete di distribuzione, la modellazione idraulica della rete, l'acquisizione (data fusion) dei dati live dalla sensoristica distribuita lungo la rete e l'applicazione di algoritmi evolutivi di ottimizzazione per l'identificazione areale delle perdite. Il digital twin sviluppato ha ricadute rilevanti nella gestione proattiva delle reti idriche, favorendo la riduzione delle perdite d'acqua, degli sprechi energetici e delle emissioni associate. L'approccio sviluppato supporta l'efficienza e la sostenibilità delle infrastrutture idriche nel contesto del nexus acqua-energia.
Università di Salerno Dipartimento di Ingegneria Civile	LA 1.5 Gestione della risorsa idrica nel caso di usi plurimi Si è identificata la metodologia per la quantificazione della risorsa idrica. Il contesto geografico è quello del bacino del Fiume Tanagro nel quale ricade l'area di studio identificata, il Consorzio di Bonifica del Tanagro. La metodologia è costituita da un insieme di fasi come di seguito descritto. Una fase conoscitiva di raccolta dei dati climatici, precipitazioni e

	temperature, che, sono state testate con analisi di non stazionarietà per comprendere il contesto del cambiamento climatico che potrebbe compromettere le disponibilità per l'uso plurimo. Successivamente una fase di identificazione degli schemi idrici principali relativi alle capacità di invaso dalle quali il Consorzio trae approvvigionamento, identificandone la localizzazione spaziale. In ultimo la selezione della modellistica idrologica che ha condotto verso la scelta di modelli concettuali idrologici che nelle attività future saranno utilizzati per la valutazione dei volumi idrici utilizzabili per gli approvvigionamenti.
ENEA	Il WP1 è stato oggetto di attività di disseminazione delle finalità progettuali e dei primi risultati raggiunti attraverso la partecipazione a conferenze nazionali e internazionali, seminari tematici e momenti di confronto con stakeholder istituzionali e operatori del settore: • Incontro con stakeholder istituzionali e operatori del settore dal titolo “Il Progetto Energia e Risorse Idriche e presentazione della prima versione delle Linee Guida (LG) per l’installazione e l’integrazione degli impianti fotovoltaici flottanti sui bacini idrici interni”, ENEA Sede - 16 dicembre 2025, Roma (Italia) • Incontri tecnici con il gruppo di lavoro della Regione Basilicata costituito con Det. 1413 del 26/09/2025 della DG dell’Ambiente, del Territorio e dell’Energia e con l’ufficio cartografico regionale per la definizione dei criteri per l’integrazione degli impianti fotovoltaici flottanti su corpi idrici interni sotto il profilo tecnico e ambientale, caso studio della LA 1.3 • Incontri tecnici con il gestore GORI del servizio idrico integrato della Campania per acquisizione di dati e informazioni relative alla rete idrica di distribuzione di Marigliano, caso studio per la valutazione degli impatti delle perdite sulla disponibilità della risorsa idrica.
ENEA (WP2)	LA 2.1 Monitoraggio qualità delle acque Nel primo anno è stato sviluppato uno studio relativo al monitoraggio ambientale di bacini idrici interessati dalla presenza di impianti fotovoltaici galleggianti (FPV). Le attività hanno riguardato l’analisi della letteratura scientifica e della normativa tecnica nazionale ed europea, con particolare attenzione ai protocolli di monitoraggio delle acque superficiali e agli effetti ambientali associati agli impianti FPV. Sono stati identificati i principali parametri ambientali da monitorare e selezionata la sonda multiparametrica più idonea mediante comparazione tecnico-economica tra differenti piattaforme commerciali, portando all’acquisto della sonda AquaSonde 7000. Parallelamente è stata effettuata la valutazione di differenti piattaforme robotiche marine per il trasporto della sensoristica e l’esecuzione di campagne di misura distribuite, selezionando la combinazione BlueROV2 e BlueBoat. Le attività svolte costituiscono la base tecnologica e metodologica per future applicazioni di monitoraggio ambientale. LA 2.4 Impatto di installazioni PV sulla risorsa idrica Durante i primi 12 mesi di progetto si è proceduto a individuare:

	a) Interazioni di interesse tra impianto flottante, bacino idrico e usi secondari (irrigazione, piscicoltura) b) Grandezze fisico-chimiche rilevanti c) Stakeholders rilevanti d) Indicatori chiave per un'interfaccia HMI informativa per gli stakeholders del verticale di LA Lo studio è proceduto con l'individuazione di software e algoritmi per la modellazione delle interazioni rilevanti al punto a) con selezione della componentistica atta alla realizzazione del digital shadow del sistema individuato. LA 2.7 Produzione di idrogeno elettrolitico rinnovabile Durante la prima annualità sono state analizzate le criticità connesse alla sovrapproduzione da FER e individuati hotspot territoriali preliminari, in particolare nel Sud Italia, Sicilia e Sardegna. L'attività ha inoltre riguardato l'impostazione di modelli di ottimizzazione tecno-economica per l'integrazione tra produzione di idrogeno verde e trattamento delle acque reflue urbane. Sono stati infine avviati sviluppi metodologici basati su approcci multi-obiettivo, finalizzati a valutare soluzioni di compromesso tra costo dell'idrogeno, prestazioni dell'elettrolizzatore e vincoli energetico-ambientali.
ENEA (WP3)	LA 3.1 Analisi su base territoriale delle interconnessioni tra SEN, settore depurativo e settore agricolo; analisi delle esigenze di adeguamento del comparto depurativo e della filiera irrigua per il riutilizzo idrico Sono stati analizzati i consumi energetici e il fabbisogno idrico del SEN e del settore agricolo, utilizzando fonti bibliografiche e piattaforme open source con dati georeferenziali su scala nazionale. Per la depurazione sono stati consultati database settoriali ricavando il potenziale di produzione di acque reflue trattate a livello territoriale e i fabbisogni del settore per implementare pratiche di riutilizzo in linea con il Reg. 2020/741. L'analisi dei consumi energetici del SII è stata realizzata tramite la consultazione di database tecnici ed è stata condotta una specifica survey con Utilitatis e Utilitalia sulle filiere di riuso. Per il settore agroindustriale, è stato individuato il caso studio Coop Agritalia dove, a seguito di sopralluogo, sono state definite le sezioni da monitorare e programmate le relative azioni da implementare in campo per rilevare i consumi idrici ed energetici delle aziende coinvolte. LA 3.4 (Studio di ambiti sensibili alla disponibilità di acqua ed energia come le isole minori, individuazione del caso studio rappresentativo ed elaborazione di una metodologia GIS-based per la valutazione del potenziale di recupero di fonti idriche non convenzionali) Sono state studiate le isole minori italiane come contesti territoriali particolarmente sensibili alla disponibilità di acqua ed energia, mediante l'analisi di fonti bibliografiche, rapporti tecnici e progettualità nazionali ed europee. Per la valutazione del potenziale di recupero delle acque meteoriche e acque reflue depurate secondo un approccio climate-water-energy-food è stata impostata una metodologia GIS-based. È stato individuato il caso studio dell'isola di Ventotene, al quale applicare la

	metodologia in via preliminare, nell'ambito di un percorso condiviso con il Comune, con cui è stata sottoscritta una lettera di intenti. Sono stati raccolti e sistematizzati dati meteoclimatici, informazioni sui sistemi idrici integrati e sui fabbisogni di acqua non potabile, attraverso database open source, dati georeferenzabili e interviste agli stakeholder locali. Sono inoltre state progettate le centraline di monitoraggio previste nella LA 3.5, Strategie di adattamento per ambiti sensibili alla disponibilità di acqua ed energia come le isole minori, replicabili a contesti simili. Monitoraggio della qualità delle acque meteoriche e delle acque reflue depurate con valutazione delle possibili opzioni di riutilizzo, ed è stato predisposto un accordo con il gestore del servizio idrico integrato Acqualatina per le future attività di monitoraggio. LA 3.7 Indagini di letteratura e creazione di database sulla presenza nelle acque reflue di MiE e MPs in ottica del loro riutilizzo in agricoltura e per usi energetici. Definizione piano di monitoraggio e selezione dei trattamenti quaternari da testare sperimentalmente E' stato effettuato l'aggiornamento della bibliografia scientifica relativa alla presenza di microinquinanti emergenti (MiE) e microplastiche (MPs) nelle acque reflue. L'analisi ha incluso una ricognizione delle tecnologie di rimozione e abbattimento nei trattamenti delle acque reflue, anche in ottica di possibile impiego per la produzione di idrogeno. Le informazioni sono state organizzate in database Excel. L'indagine ha permesso di individuare i MiE e le MPs target da investigare nel progetto e le tecnologie da testare mediante successive prove sperimentali. È stata progettata una linea impiantistica completa e sono state definite le specifiche tecniche per la realizzazione dell'impianto sperimentale. È stato infine individuato l'impianto di depurazione di Cesena (Gruppo HERA) per lo svolgimento delle future campagne sperimentali. I risultati ottenuti supportano la pianificazione delle attività della LA 3.7 nel 2026 e della successiva LA 3.8. Il WP3 è stato oggetto di attività di disseminazione descrittive delle finalità progettuali attraverso la partecipazione a conferenze nazionali e internazionali, incontri tematici dedicati alla gestione sostenibile delle risorse idriche e momenti di confronto con stakeholder istituzionali e operatori del settore: • 28th INTERNATIONAL SYMPOSIUM THE ENVIRONMENT AND THE INDUSTRY 2025. <i>“Water and wastewater management in the context of climate adaption”</i>, 23 – 24 ottobre 2025, Bucharest, Romania • QUINTA RIUNIONE DELLA SETTIMA EDIZIONE 2025/2026, COMMUNITY VALORE ACQUA, SCENARI, STRATEGIE E POLICY PER LA FILIERA DELL'ACQUA E L'OTTIMIZZAZIONE DEL SUO SVILUPPO, <i>“Ricerca e innovazione per la gestione circolare di acqua e reflui”</i>, 26 novembre 2025, Milano, Italia • Apulia water forum 2025, <i>“Il contributo ENEA alle sfide della nuova direttiva acque reflue urbane”</i> 17 giugno 2025, Bari, Italia
--	---

	• Corso di formazione AICQ SICEV 2025, Valorizzare il Capitale Naturale mediante la gestione Sostenibile dell'Acqua, <i>"L'innovazione tecnologica al servizio del water management"</i>, 21 novembre 2025, Online • Ecomondo 2025 - Riminifera 05/11/2025 Ecosister Spoke 5 – Economia Circolare ed Economia Blu Presentazione ENEA <i>"Integrazione del prototipo pilota per il monitoraggio in tempo reale della qualità delle acque reflue per il riutilizzo agricolo"</i>. Nel seguito si riportano le pubblicazioni in cui è stata data evidenza del progetto 1.11: - L. Petta, G. Sabia, N. Colonna, G. Di Francia, "Comprendere il Nexus Acqua, Energia e Cibo". Energia, Ambiente e Innovazione 1/2025. DOI 10.12910/EAI2025-038 - L. Petta, M. Langone, "Risorse idriche e cambiamenti climatici". Villaggio Globale (rivista on-line). Giugno 2025.
ENEA (WP4)	Nel corso del 2025 si sono tenuti due incontri del Comitato di Coordinamento del Progetto di Ricerca di Sistema 1.11 "Risorsa idrica e sistema energetico", che vede ENEA e RSE come affidatari di attività ritenute sinergiche e complementari. La prima riunione, svoltasi in modalità Teams il 23 settembre 2025 con la partecipazione, tra gli altri, di Girolamo Di Francia e Luigi Petta per ENEA e Alessia Gargiulo per RSE, ha condiviso lo stato di avanzamento delle rispettive proposte progettuali e approfondito specifiche sinergie già in corso. La discussione si è focalizzata su quattro temi: gli usi energetici della risorsa idrica (con riferimento ai consumi d'acqua negli impianti termoelettrici e idroelettrici), la mappatura dei bacini idrici a scala di distretto, gli usi agricoli della risorsa e le previsioni meteo. RSE ha illustrato la propria esperienza sul water-energy nexus, la metodologia di stima dei consumi idrici degli impianti termoelettrici e il web-GIS "Atlante Integrato", che raccoglie dati georeferenziati su impianti termoelettrici (circa l'80% della potenza censita da TERNA) e idroelettrici (circa il 90%). ENEA ha chiarito che tali database costituiscono una base informativa per le proprie valutazioni progettuali nel WP3 (Linea 3.1) e nel WP1 (Linee 1.3 e 1.4), dove i dati vengono incrociati con quelli del comparto agricolo e depurativo, nonché con geometrie di bacini estratte da immagini satellitari tramite GeoIA per applicazioni di fotovoltaico flottante. Sul fronte agricolo è stato avviato un confronto con il CREA per l'estrazione dei dati dal database SIGRIAN, mentre sulle previsioni meteo le due strutture lavorano su orizzonti temporali differenti (breve periodo per ENEA, stagionale per RSE). La seconda riunione, tenutasi il 5 dicembre 2025, ha consentito di illustrare avanzamenti e risultati della prima annualità: ENEA ha presentato la metodologia satellitare per il rilievo batimetrico degli invasi e un documento sugli impatti ambientali del fotovoltaico galleggiante; RSE ha riepilogato i risultati delle Linee di Attività in conclusione al 31 dicembre 2025, tra cui il catalogo di indicatori idro-climatici, l'analisi dei modelli previsionali stagionali, lo studio preliminare sul soprizzo delle dighe esistenti e l'approfondimento sull'accettabilità sociale dell'idroelettrico. Il prossimo incontro è previsto per giugno 2026. In parallelo, ENEA Portici è impegnata nell'organizzazione della prima edizione della <i>Water</i>

	<i>Resources and Energy Systems Conference 2026</i> (EW2026), in programma dal 1° al 3 luglio 2026 presso il Centro Ricerche di Portici, con Di Francia come meeting chair. La conferenza, a partecipazione gratuita, è dedicata al nexus energia-acqua e prevede lezioni plenarie, talk su invito, presentazioni orali, sessioni poster ed eventi sociali su numerose aree tematiche; i contributi selezionati saranno pubblicati nella collana Springer <i>Lecture Notes in Energy</i>.
--	--