

Dall'atomo al sistema

Idrogeno verde, grafene, cattura della CO₂ e biomasse: cinque temi sinergici per decarbonizzare l'intera catena del valore energetica

di Gianluca Pititto



Decarbonizzazione, digital twin, nuove energie e comunicazioni quantistiche: FP1 affronta la transizione energetica come sistema integrato. Grafica animata dei temi RT. Schermata del materiale video RAI: parole chiave dei temi di ricerca RT (Decarbonizzazione, AESA Radar Technology, Transizione digitale, Digital Twin, Riciclo, New Green Energy, Crittografia quantistica, Comunicazioni quantistiche) in sovrapposizione su immagine del globo.

Come il Flagship Project 1 affronta insieme produzione, stoccaggio, reti intelligenti e circolarità dei materiali - con le Comunità Energetiche Rinnovabili come scenario applicativo unificante.

Decarbonizzare non è solo cambiare le fonti elettriche: è cambiare la chimica di acciaio, cemento e trasporti pesanti, che producono CO₂ come sottoprodotto necessario. Serve un nuovo vettore energetico. FP1 lavora su tutta la catena - produzione, stoccaggio, distribuzione, circolarità - con idrogeno, grafene, carbon capture, biomasse e accumulo che lavorano insieme invece di essere studiati in laboratori separati.

TEMA 1: IDROGENO VERDE LA CATENA CHE MANCA

Il laboratorio di decarbonizzazione di Sapienza coordina la filiera dell'idrogeno. Il prof. Borello: "l'idrogeno è fondamentale nella transizione energetica perché consente la separazione necessaria tra produzione da rinnovabili - discontinua e difficile da conservare - e gli usi finali: energia, mobilità, settori industriali". Non è il vettore più semplice, ma spesso è l'unico per i settori non elettrificabili. Tre percorsi di produzione in parallelo: elettrolisi da fotovoltaico; reazione elettrocatalitica con catalizzatori senza platino (UCBM); idrogeno da biofuel integrato con la filiera biomasse (tema 04). "Ho sempre visto uno stretto legame tra la questione energetica e quella ambientale - e quindi sociale" (dottoranda Sapienza, elettrolisi dell'acqua), mentre un ricercatore senior aggiunge: la decarbonizzazione vale per utenze piccole e per quelle industriali. "il mio percorso può avere conseguenze soprattutto verso la transizione energetica, per-

mettendo di decarbonizzare sia le utenze piccole che quelle industriali", spiega una dottoranda Sapienza che coordina le attività sperimentali sull'elettrolisi. Una collega aggiunge: "ho sempre visto uno stretto legame tra la questione energetica e quella ambientale - e quindi sociale".

Lo scenario unificante: la Comunità Energetica Rinnovabile. I sistemi HESS a idruri stoccano il surplus solare estivo e lo rilasciano d'inverno nelle celle a combustibile. Gestione AI/ML in tempo reale per carichi elettrici e termici. Il Joint Lab al Gazometro Ostiense di ENI è il laboratorio fisico di questa integrazione a scala pre-industriale.

TEMA 2: FOTOVOLTAICO DI NUOVA GENERAZIONE E GRAFENE

Al CNR-ISM, Di Carlo lavora su fotovoltaico a perovskite con processi di stampa - materiali europei, senza dipendenze estere, integrabili su edifici e superfici indossabili. Il team sviluppa anche solventi verdi per gli inchiostri: "Lo sforzo è usare solventi green che rispettino ambiente e salute" (dottoranda Sapienza/CNR-Triolo). Coloranti estratti da mirtillo, solventi naturali: sostenibilità anche nei materiali, non solo nell'energia prodotta.

Sul grafene, Fucci e Sibilia (Cassino): cavi con coating di grafene industriale per prestazioni termiche, schermatura EM e sensori di ghiaccio. "Il grafene puro è straordinario ma troppo costoso per la produzione di massa: usiamo grafene industriale per ottenere prestazioni migliori dei materiali convenzionali". Ucciardello coordina training su grafene green da scarti organici, con AI e VR per prevedere comportamenti e ottimizzare parametri. Cavi elettrici rivestiti con coating a base di grafene industriale per migliorare le prestazioni termiche, la schermatura elettromagnetica e la capacità di rilevare o rimuovere ghiaccio. Il nodo è cruciale: "il grafene puro ha proprietà eccezionali ma costi



Le energie rinnovabili a fonte variabile — fotovoltaico ed eolico — richiedono sistemi di stoccaggio avanzati per colmare il divario tra produzione e consumo: FP1 lavora sull'idrogeno verde come vettore energetico per i settori non elettrificabili. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

di produzione non compatibili con la produzione di massa. Stiamo usando grafene industriale - non puro - per ottenere prestazioni comunque migliori dei materiali convenzionali". La formazione è parte integrante: Nadia Ucciardello coordina training su grafene green prodotto da scarti organici o polimerici, integrati con tecniche di AI e realtà virtuale per prevedere il comportamento dei materiali e trovare parametri di processo ottimali.

TEMA 3: CARBON CAPTURE - CARBONATAZIONE ACCELERATA CON GLI SCARTI INDUSTRIALI

Il gruppo di Tor Vergata (Costa, Masi) lavora su un processo che ha una semplicità disarmante nella logica e una complessità reale nell'implementazione: accelerare la carbonatazione minerale, la reazione con cui la CO_2 si lega a minerali per formare carbonati stabili. In natura richiede millenni. Nel laboratorio? "In questo reattore, lavorando su temperatura, pressione e additivi, riusciamo a far avvenire la reazione in minuti, se non un'ora", spiega il gruppo.



La transizione energetica parte anche dagli impianti esistenti: carbon capture, biomasse e sistemi ibridi ridisegnano la catena del valore. Ciminiera di un impianto industriale che emettono vapore o fumo in un cielo grigio; immagine utilizzata per illustrare il tema della carbon capture e della decarbonizzazione industriale.

PEROVSKITE VS SILICIO:

LA NUOVA FRONTIERA DEL FOTOVOLTAICO

Il fotovoltaico tradizionale usa silicio cristallino (20-23% di efficienza). La perovskite la raggiunge con processi di stampa a bassa temperatura, costi inferiori e integrazione su superfici flessibili. Sfida: durabilità con umidità e calore.

Vantaggi: produzione a bassa temperatura con processi di stampa (ink-jet, slot-die coating), costi potenzialmente molto inferiori, flessibilità, integrazione su superfici curve o indossabili. Sfide: durabilità a lungo termine (degradazione con umidità e calore) e presenza di piombo in alcune formulazioni.

Il contributo FP1: celle sensibilizzate a colorante come gateway per la perovskite; solventi eco-compatibili per eliminare tossicità degli inchiostri; integrazione con sistema INFINITY per le REC.



La crisi idrica come scenario di riferimento: il recupero delle brine e le membrane al grafene collegano dissalazione, carbon capture e materiali critici. Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole.

La novità non è il processo in sé, già noto, ma il materiale di partenza: non rocce vergini, ma scarti industriali - residui di acciaierie, rifiuti da costruzione e demolizione, ceneri da termovalorizzazione - ricchi di calcio e magnesio disponibili a reagire con la CO_2 . Il risultato è un carbonato di calcio/magnesio solido che sequestra il carbonio in forma stabile e, se di qualità sufficiente, può essere reintrodotta nel ciclo produttivo come materia prima. È il doppio vantaggio: decarbonizzazione e valorizzazione dello scarto. "L'auspicio è ottenere risultati su scala di laboratorio utilizzabili per applicazioni su scala pilota, per testare la sinergia tra laboratorio e industria".

La sinergia grafene/carbon capture è deliberata: le stesse brine della desalinizzazione forniscono

calcio e magnesio per la carbonatazione, mentre le membrane al grafene separano materiali critici. Tre problemi - brine, CO_2 , materiali critici - risolti nello stesso impianto integrato.

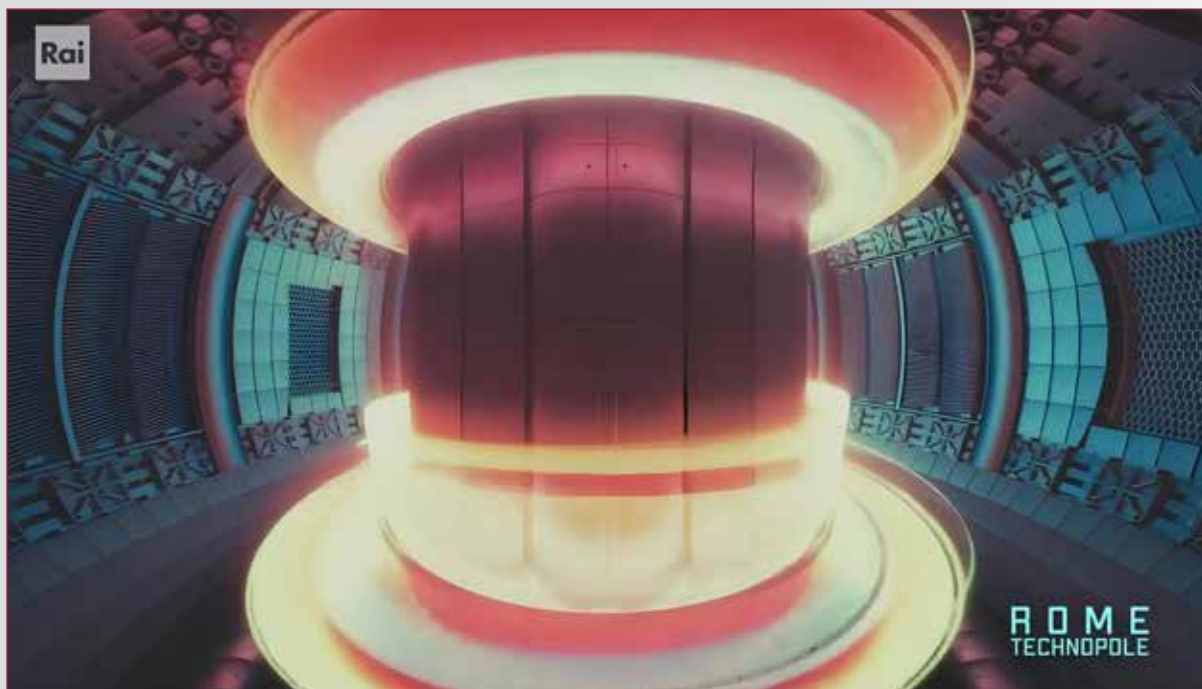
TEMI 4 E 5: BIOMASSE, BIOCHAR E IL NODO DELLO STOCCAGGIO

Le biomasse sono la filiera che chiude il cerchio. Il gruppo FP1 non brucia scarti agricoli: li trasforma con NADES (Natural Deep Eutectic Solvents) - miscele di composti naturali che estraggono selettivamente lignina, polifenoli e cellulosa di valore prima della valorizzazione energetica residua. L'altro strumento è la pirolisi per la produzione di biochar: carbone da combustione parziale in assenza di ossigeno, carbon sink stabile per secoli, ammendante del suolo con proprietà di ritenzione idrica. In una REC agricola, gli scarti delle colture producono biochar che viene reintegrato nel suolo - il ciclo del carbonio chiuso a livello locale.

Lo stoccaggio - tema 5 - è il connettore di tutto il sistema. Ai sistemi HESS a idruri si aggiunge il CAES (Compressed Air Energy Storage) con fluidi organici innovativi per migliorare l'efficienza dei cicli di potenza in ambito REC. Le microturbine eoliche per uso residenziale completano il quadro della generazione distribuita. La presenza di ADR (Aeroporti di Roma) tra i partner industriali chiarisce la dimensione: gli aeroporti sono grandi sistemi energetici con domanda variabile e vincoli di sicurezza stringenti - laboratori ideali per testare l'integrazione tra queste tecnologie.

Il reattore del laboratorio di carbon capture di Tor Vergata: accelerando la carbonatazione minerale, il processo lega la CO_2 a scarti industriali ricchi di calcio e magnesio in pochi minuti, contro i millenni richiesti in natura. FP1 lavora sulla connessione tra sperimentazione scientifica e applicazioni industriali. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)





La fusione nucleare (immagine artistica) rappresenta una frontiera di lungo periodo per la produzione energetica, ancora distante ma centrale nella ricerca avanzata. Il gruppo dell'Università della Tuscia studia il retrofit di impianti esistenti a carbone o fissione, sostituendo la fonte di calore primaria per decarbonizzare senza affrontare un decommissioning integrale. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

LA FRONTIERA PIÙ LONTANA: FUSIONE NUCLEARE E RETROFIT DELLE CENTRALI ESISTENTI

All'Università della Tuscia, il gruppo di Facci e Fama lavora su un orizzonte temporale che nessun altro tema di FP1 tocca: la fusione nucleare come fonte di base per la produzione elettrica entro il 2050. "La fusione nucleare è uno degli strumenti che tecnicamente rende possibile avere una produzione di energia elettrica totalmente priva di emissioni climalteranti - dobbiamo ancora dimostrare la sostenibilità economica", dice Facci.

Tuscia studia il retrofit: reattori a fusione come nuova fonte di calore per impianti esistenti a carbone o fissione. "Sostituire la fonte decarbonizza il settore elettrico e recupera aree già compromes-

se, evitando un decommissioning costoso". Tuscia è uno dei pochi atenei italiani con offerta magistrale dedicata alla fusione. Riconvertire impianti esistenti a carbone o fissione nucleare usando un reattore a fusione come nuova fonte di calore primaria - il cosiddetto retrofit. Due vantaggi: decarbonizzazione del settore elettrico e recupero di aree già compromesse ambientalmente, evitando il costo pieno del decommissioning. "Questi impianti sono inquinanti: sostituire la fonte di energia primaria con la fusione ha il vantaggio di decarbonizzare e di recuperare aree che altrimenti richiederebbero un decommissioning costoso". La Tuscia è uno dei pochi atenei italiani con un'offerta formativa dedicata alla fusione nucleare a livello magistrale.

RISULTATI GIÀ PUBBLICATI E IL JOINT LAB AL GAZOMETRO OSTIENSE

- ▶ Paper JCP 2023: Design, optimization and comparison of innovative strategies for cold exergy exploitation (Journal of Cleaner Production 420, 2023) - in collaborazione con Technip Energies.
- ▶ Paper Energies 2023: Review su Thermodynamics & Process Simulations of biomass gasification (Energies 2023, 16, 7042 - DOI: 10.3390/en16207042).
- ▶ Formazione: 7 seminari per studenti magistrali e dottorandi su Sustainability and Decarbonization Pathways con BHOS e Maire Technimont; 3 tenuti da UCBM incluso il contributo di Mauro Capocelli su Carbon Capture Storage & Use.
- ▶ Joint Lab al Gazometro Ostiense: impianti pilota pre-industriali per testare l'integrazione tra fotovoltaico, elettrolizzatore, sistema HESS a idruri e gestione AI dei carichi. Il Gazometro - deposito del gas di città degli anni Trenta, oggi simbolo della transizione - è il luogo fisico dove le cinque linee di FP1 convergono in un sistema integrato.

Produzione e stoccaggio dell'idrogeno: il passaggio dalla sperimentazione alla scala industriale resta una delle sfide decisive della transizione verde. Il surplus fotovoltaico prodotto nelle ore diurne alimenta l'elettrolisi; l'idrogeno viene stoccato in idruri metallici e riconvertito in elettricità nelle ore di bassa produzione solare. Il sistema è al centro del Joint Lab al Gazometro Ostiense di ENI. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)



IL CONTESTO EUROPEO E LE DOMANDE APERTE

FP1 occupa il segmento che manca: sistemi di scala media-piccola tra i laboratori universitari e i grandi impianti industriali da gigawatt. Il Graphene Flagship europeo (1 mld, 10 anni) ha esplorato grafene per elettronica; FP1 presidia le applicazioni ambientali - membrane per desalinizzazione e carbon capture - meno sviluppate. Graphene Flagship europeo (1 miliardo di euro in dieci anni) è illuminante: il Flagship ha esplorato grafene per elettronica e compositi; FP1 si concentra sulle applicazioni ambientali - membrane per desalinizzazione e carbon capture - meno presidiate, con un collegamento diretto alla chimica industriale dei partner italiani.

Tre domande rimangono aperte. Prima: i tempi di maturità delle tecnologie chiave - sistemi HESS a idruri, membrane al grafene industriale, carbonatazione integrata - sono ancora lontani dalla commercializzazione. Cinque anni? Dieci? La risposta dipende da fattori (costo materie prime, politiche di incentivo, mercato idrogeno) fuori dal controllo dei ricercatori. Seconda: come i risultati di FP1 si integrino con la strategia di grande scala ENI - elettrolisi da centinaia di MW, sequestro geologico CO₂ - è ancora da chiarire in modo esplicito. Terza: chi possiede gli impianti delle REC, chi beneficia degli incentivi.

PROGETTO

FP1 · DECARBONIZZAZIONE E DIGITALIZZAZIONE NELLE NUOVE ENERGIE VERDI · CAPOFILA: ENI · PARTNER: SAPIENZA, TOR VERGATA, ROMA TRE, UCBM, TUSCIA, CASSINO, CNR, ENEA · INDUSTRIA: ADR, ACEA, CATALENT ANAGNI

ABSTRACT

Flagship Project 1 of the Rome Technopole ecosystem, led by ENI (coordinator: Juan Andres Buonadonna), addresses decarbonisation and digitalisation in green energy research across five synergistic themes: (1) renewable energy conversion - green hydrogen via electrolysis, electrocatalysis and biofuels, AI/ML-managed REC grids, CAES, Dye Solar Cells + INFINITY storage, HESS metal hydride systems; (2) graphene - perovskite solar cells via printing processes with green solvents (CNR-ISM, Di Carlo and Triolo), graphene-coated electrical cables for thermal management (Cassino), graphene-green training with AI and VR (Ucciardello); (3) carbon capture - accelerated mineral carbonation of industrial residues for CO₂ sequestration and critical material recovery (Tor Vergata, Costa/Masi); (4) biomass valorisation - NADES solvents, biochar production via pyrolysis; (5) energy storage - HESS systems for REC, nuclear fusion retrofit of existing coal/fission plants (Tuscia, Facci/Fama). Published outputs include studies in Journal of Cleaner Production (2023) and Energies (2023). The unifying application scenario is the Renewable Energy Community, with the Joint Lab at ENI Gazometro Ostiense as the physical integration testbed.

KEYWORDS:

GREEN HYDROGEN, PEROVSKITE SOLAR CELLS, GRAPHENE, CARBON CAPTURE, BIOMASS, HESS, NUCLEAR FUSION RETROFIT, CAES, RENEWABLE ENERGY COMMUNITIES, ROME TECHNOPOLE

AUTORE

GIANLUCA PITITTO, DIRETTORE RESPONSABILE WWW.RIVISTAGEOMEDIA.IT, REDAZIONE@MEDIAGEO.IT

®
E
G
I
N
T
E
R
G
E
O

2026

SEPT. 15 – 17
MUNICH

INSPIRATION

FOR A SMARTER

WORLD



GET YOUR

TICKET NOW!

VOUCHER CODE: IG26-GEOMEDIA

EXPO
CONFERENCE STAGE
NETWORKING



Host: DVW e.V.
Conference organiser: DVW GmbH
Expo organiser: HINTE Expo & Conference GmbH

WWW.INTERGEO.DE

