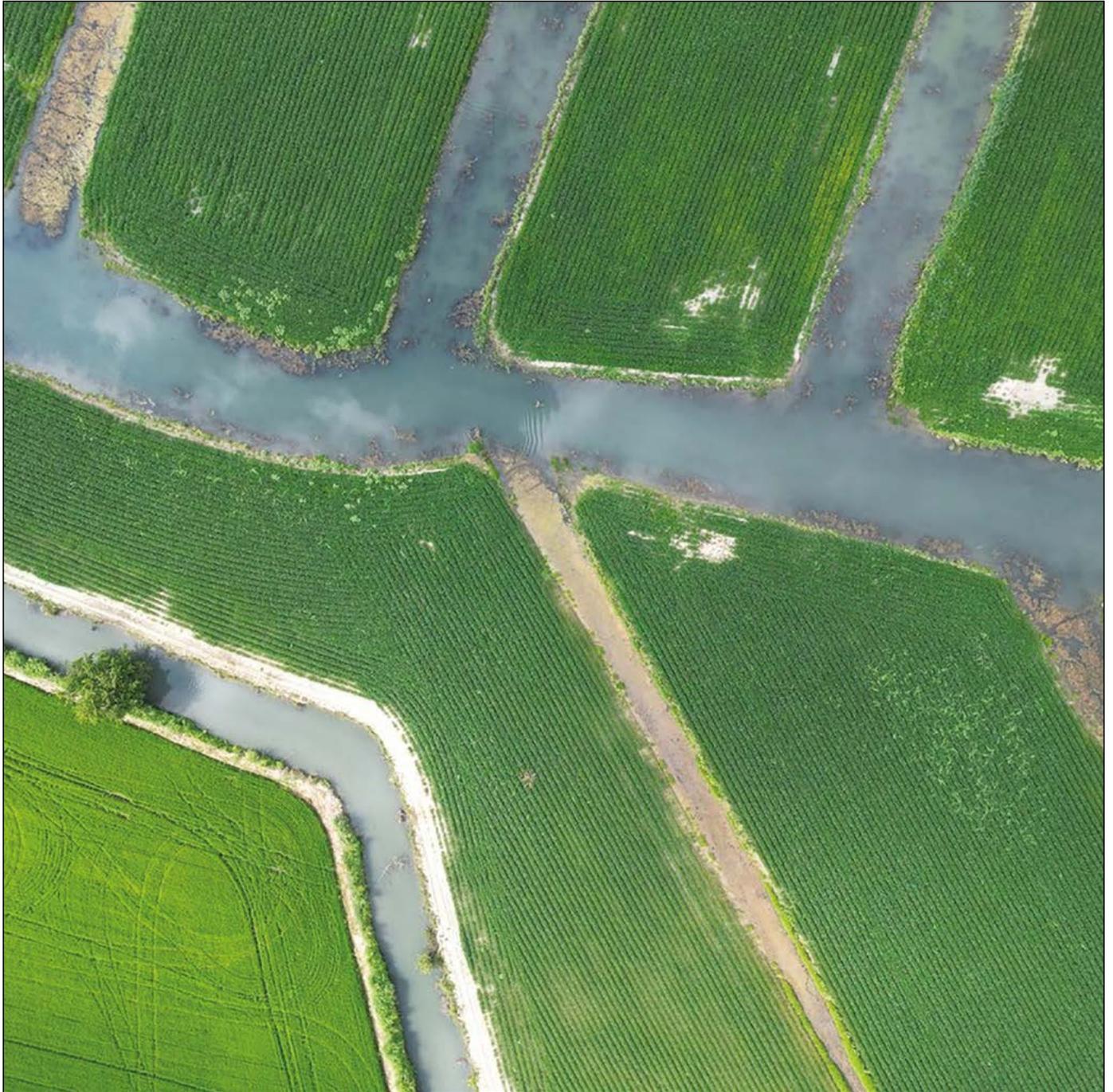




INGEGNERIA DELL'AMBIENTE



N. 2/2024



Nel trattamento delle acque il massimo rispetto per l'ambiente

Da anni ci dedichiamo con passione
allo sviluppo ed alla messa a punto
di sistemi per la depurazione delle acque
senza inquinare l'aria.

Ozono per ridurre i microinquinanti,
ossigeno per eliminare gli aerosol per soluzioni
a scala reale e sperimentazioni a cura del nostro
laboratorio di biologia e chimica ambientale.

Gruppo SIAD.
Technical gases, Engineering,
Healthcare, LPG and Natural Gas.

thesiadgroup.com

 **SIAD**



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

INDICE



VOL. 11
NUM. 2
2024

Ingegneria
dell'Ambiente
per il 2024
è sostenuta da:



better together



Editoriale

- 71 L'orizzonte dell'Unione Europea nel campo dei siti contaminati
Marco Falconi

Articoli

- 73 Quantificazione delle prestazioni ambientali della pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso tramite metodologia LCA
Mary Jo F. A. Nichilo, Giulia Cavenago, Mario Grosso, Lucia Rigamonti

Comunicazioni tecnico-scientifiche

- 90 Ricarica artificiale degli acquiferi sotterranei: possibilità e limiti
Renato Drusiani, Tania Tellini, Dario Giardi, Alberto Lasagna, Barbara La Comba, Claudio Benucci, Carlo Collivignarelli
- 98 Mercati del carbonio dell'Articolo 6 dell'accordo di Parigi e mercati volontari: similitudini, differenze e interazioni
Federica Dossi
- 112 La rimozione di CO₂ atmosferica, un emergente ambito di ricerca
Stefano Caserini
- 116 Valutazione dell'idoneità dell'energia nucleare alla mitigazione dei cambiamenti climatici: rischi tecnici, implicazioni economiche e incompatibilità con i sistemi di energia rinnovabile
Fabian Präger, Christian Breyer, Hans-Josef Fell, Christian von Hirschhausen, Claudia Kempfert, Björn Steigerwald Thure Traber e Ben Wealer

Pubbliredazionali

- 131 Carta e Cartone 2023: superati i 3,7 milioni di tonnellate e riciclo degli imballaggi cellulosici oltre il 90%
- 134 Al via l'Italian Geothermal Forum

Rubriche

- 138 Informazioni dalle aziende



IdA



Direttore responsabileStefano Caserini (*Università di Parma*)**Direzione scientifica**Stefano Caserini (*Università di Parma*)Elena Sezenna (*Politecnico di Milano*)Roberto Canziani (*Politecnico di Milano*)**Comitato scientifico**Manuela Antonelli (*Politecnico di Milano*)Arianna Azzellino (*Politecnico di Milano*)Vincenzo Belgiorno (*Università di Salerno*)Giorgio Bertanza (*Università di Brescia*)Gianluigi Buttiglieri (*Catalan Institute for Water Research, Girona, Spagna*)Andrea Capodaglio (*Università di Pavia*)Alessandra Carucci (*Università di Cagliari*)Stefano Cernuschi (*Politecnico di Milano*)Paola Crippa (*Università di Notre Dame, USA*)Giovanni De Feo (*Università di Salerno*)Massimiliano Fabbri (*Università di Napoli Federico II*)Francesco Fatone (*Università Politecnica delle Marche*)Elena Ficara (*Politecnico di Milano*)Paola Foladori (*Università di Trento*)Mario A. Gandini (*Univ. Aut. de Occidente, Cali, Colombia*)Grazia Ghermandi (*Università di Modena e Reggio Emilia*)Daniele Goi (*Università di Udine*)Mario Grosso (*Politecnico di Milano*)Giovanni Lonati (*Politecnico di Milano*)Claudio Lubello (*Università di Firenze*)Francesca Malpei (*Politecnico di Milano*)Salvatore Masi (*Università della Basilicata*)Giulio Munz (*Università di Firenze*)Salvatore Nicosia (*Università di Palermo*)Senem Ozgen (*Laboratorio Energia e Ambiente, Piacenza*)Eleonora Perotto (*Politecnico di Milano*)Francesco Pirozzi (*Università di Napoli Federico II*)Alessandra Poletti (*Università di Roma La Sapienza*)Raffaella Pomi (*Università La Sapienza, Roma*)Marco Ragazzi (*Università di Trento*)Ezio Ranieri (*Politecnico di Bari*)Enrico Remigi (*DHI, Merelbeke, Belgio*)Lucia Rigamonti (*Politecnico di Milano*)Paolo Roccaro (*Università di Catania*)Francesco Romagnoli (*Riga Technical Univ., Riga, Lituania*)Diego Rosso (*University of California, Irvine, USA*)Sabrina Saponaro (*Politecnico di Milano*)Elena Sezenna (*Politecnico di Milano*)Fabio Tatano (*Università di Urbino*)Sergio Teggi (*Università di Modena e Reggio Emilia*)Davide Tonini (*JRC Siviglia*)Vincenzo Torretta (*Università dell'Insubria*)Mentore Vaccari (*Università di Brescia*)Paola Verlicchi (*Università di Ferrara*)Gaspere Viviani (*Università di Palermo*)Maria Chiara Zanetti (*Politecnico di Torino*)**Comitato di redazione**

Stefano Cernuschi, Arianna Azzellino, Mario Grosso,

Giovanni Lonati, Lucia Rigamonti, Elena Sezenna

Segretaria di redazione

Loredana Alaimo

**Copyright**

I testi sono pubblicati da Ingegneria dell'Ambiente con la licenza CREATIVE COMMONS Attribuzione – Non commerciale – Condividi allo stesso modo 3.0 Italia (CC BYNC-SA 3.0 IT)

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/it/deed.it>

Chiunque è libero di:

- *Condividere* – riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare questo materiale con qualsiasi mezzo e formato;
- *Modificare* – remixare, trasformare il materiale e basarsi su di esso per le sue opere;

alle seguenti condizioni:

- *Attribuzione* – Deve essere attribuita adeguatamente la paternità del materiale, fornendo un link alla licenza e indicando se sono state effettuate modifiche. È possibile realizzare queste condizioni in qualsiasi maniera ragionevole, ma senza suggerire che il licenziante avalli il modo in cui il materiale è usato.
- *Non Commerciale* – Non è possibile usare il materiale per scopi commerciali.
- *Stessa Licenza* – Se si trasforma il materiale o ci si basa su di esso, è fatto obbligo di distribuire il contributo così prodotto con la stessa licenza del materiale originario. Il licenziante non può revocare questi diritti fintanto che i termini della licenza sono rispettati.

Editore

COLORSHADE

di Cabrini Matteo M., Via Cristoforo Colombo, 7, 20068 Peschiera Borromeo (MI), Italia.

- Redazione e pubblicità: Loredana Alaimo, Tel. 329.3126157, e-mail: redazione@ingegneriadellambiente.net
- Registrata presso il Tribunale di Milano (n.108 del 21/3/2014)
- Per abbonamenti: Tel. 02.2847518, Fax 02.45482383, e-mail: amministrazione@ingegneriadellambiente.net
- Per informazioni: Prof. Roberto Canziani, Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA), Sezione Ambientale, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Tel. 02.23996410 – e-mail: info@ingegneriadellambiente.net

Publicato on-line il 2 agosto 2024

Finito di stampare in **settembre 2024**,

presso Colorshade di Cabrini Matteo M.,

Via Cristoforo Colombo, 7, 20068 – Peschiera Borromeo (MI)



Foto di Yogendra Singh da Pixabay

L'ORIZZONTE DELL'UNIONE EUROPEA NEL CAMPO DEI SITI CONTAMINATI

Marco Falconi

Coordinatore Scientifico di Remtech Europe, IMPEL chair, ISPRA –Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

La recente proposta di direttiva sul monitoraggio dei suoli [COM\(2023\) 416 final. Direttiva del parlamento europeo e del consiglio sul monitoraggio del suolo e la resilienza \(Normativa sul monitoraggio del suolo\)](#) rappresenta un passo significativo verso la creazione di un quadro uniforme per i 27 Stati membri dell'UE nel campo della gestione dei siti contaminati. Questa iniziativa, che pone la valutazione dei rischi al centro delle politiche di bonifica e prevenzione, offre nuove opportunità per migliorare la tutela ambientale e la salute pubblica.

La proposta di direttiva enfatizza l'importanza della valutazione dei rischi come strumento principale per gestire i siti contaminati. Questo approccio richiede un'individuazione sistematica e attiva dei siti potenzialmente contaminati, una pratica che si differenzia dall'attuale legislazione italiana. In Italia, la semplice esercitazione di una delle attività previste dall'articolo 13 può portare a un'indagine, ma la nuova direttiva suggerisce che non sia necessario il riscontro di una concentrazione chimica definita per avviare le valutazioni. Le autorità potranno classificare le priorità sulla base del rischio di contaminazione dei suoli.

Passando al rischio si evidenzia che la proposta di direttiva evidenzia il termine “Valutazione del rischio” e specifica “...adotta le opportune misure per portare i rischi a un livello accettabile” che significa una valutazione diretta o forward come misura da prendere in considerazione. Questo si sposa anche con la mia opinione personale che, con il D.Lgs 152/06 che nel 2024 ha raggiunto la “maggiore età”, sarebbe più corretto per una legislazione più matura passare dall'analisi di rischio inversa all'analisi di rischio diretta, che con successo è stata già applicata dal 2018 in poi ai casi di Valutazione di rischio da aeriformi. Questo perché le rassicuranti CSR, pur molto pratiche, ad esempio, per la fase finale di collaudo e certificazione, a volte nascondono sotto il tappeto un modello concettuale benevolo, ad esempio con l'obiettivo di bonifica posto a concentrazioni oltre 1 kg/kg di scarso significato fisico o, anche più controverso, che per taluni contaminanti, a concentrazioni che a volte sono sopra il limite di concentrazione previsto per legge per l'assimilabilità in una discarica per rifiuti pericolosi. E in una discarica ci

sono dei presidi ambientali per la gestione del percolato e del biogas, per non dire dello strato impermeabile alla base.

L'uso del suolo è stato voluto da tutti i Paesi come elemento centrale nella valutazione dei rischi e questo significa che sempre più sarà necessario un approccio integrato fra procedimenti di bonifica e pianificazione territoriale che può essere un volano per la riconversione, non sempre semplice, in particolare per quei siti orfani che gravitano lontano dai centri urbani dove i prezzi degli immobili facilitano gli investimenti per la successiva riqualificazione.

È poi previsto un registro dei siti contaminati e in questo ambito, l'Italia è già ben posizionata grazie ad ISPRA che ha sviluppato l'Anagrafe dei siti oggetto di procedimento di bonifica e il database MOSAICO, accessibile sia agli addetti ai lavori sia al cittadino.

La direttiva parla anche nell'Allegato V delle misure di riduzione del rischio e in questo ambito si colloca, il progetto IMPEL Water and Land Remediation che si pone l'obiettivo di migliorare le pratiche di bonifica dei terreni e delle acque contaminate attraverso la condivisione di conoscenze e l'implementazione di tecnologie innovative. Questo progetto, supportato da network come COMMON FORUM, Eionet WG Contamination e NICOLE, si propone di essere una risorsa informativa per i professionisti del settore, offrendo una serie di pubblicazioni tecniche che descrivono le varie tecnologie di bonifica disponibili.

Il progetto mira ad ampliare le conoscenze tra i Paesi e le regioni europee riguardo alle tecniche di bonifica e migliorare la comprensione di specifiche tecnologie, specificando le condizioni per la loro applicabilità. Inoltre, fornisce indicazioni sulla realizzazione di prove pilota e sull'implementazione delle tecnologie su scala di sito e aiuta le autorità di controllo a capire come monitorare l'efficacia delle tecnologie nel tempo.

Il progetto IMPEL Water and Land Remediation rappresenta un'importante iniziativa per promuovere la cooperazione internazionale e migliorare le pratiche di bonifica in tutta Europa. Le pubblicazioni tecniche prodotte offrono una risorsa preziosa per i professionisti del settore, facilitando la condivisione di conoscenze e l'adozione di tecnologie innovative. Tuttavia, è essenziale ricordare che ogni sito contaminato presenta caratteristiche uniche, richiedendo un approccio personalizzato per garantire il successo delle operazioni di bonifica.

Passando dalla scala internazionale a quella italiana, di grande rilevanza dell'ultimo anno è l'attività dell'ISPRA SNPA sui materiali di riporto. Le nuove linee guida propongono un percorso metodologico per

l'identificazione e la gestione dei materiali di riporto nell'ambito dei procedimenti di bonifica, in conformità con le recenti modifiche normative introdotte dalla Legge 108 del 29/07/2021.

La procedura conferma la centralità del modello concettuale del sito, prevedendo una valutazione complessiva degli esiti delle verifiche indicate dalla normativa e di ulteriori elementi ed evidenze di campo. La prima fase è l'identificazione della matrice distinguendo tra suolo, materiale di riporto o rifiuto. Nella seconda fase vi è il campionamento e caratterizzazione, in cui vengono raccolti dati dettagliati sui materiali, stratigrafici e chimici (compreso il test di cessione), mentre nella terza fase vi è la valutazione dei risultati attraverso la valutazione delle linee di evidenza. Queste linee guida rappresentano un passo avanti importante nella gestione sostenibile dei materiali di riporto e nella protezione dell'ambiente.

Infine, vorrei evidenziare l'importanza di Remtech Europe, una conferenza internazionale che si terrà dal 16 al 20 Settembre di cui sono coordinatore scientifico e che rappresenta un'importante piattaforma per discutere le ultime innovazioni e strategie nel campo della bonifica e della protezione ambientale.

La conferenza affronterà temi cruciali come la proposta di direttiva sui suoli, le strategie di caratterizzazione con droni e intelligenza artificiale, le ultimissime tecnologie di bonifica, la problematica apertissima dei PFAS, e includerà una sessione specifica con la Commissione Europea. Inoltre, si approfondiranno tematiche di rilievo internazionale grazie alla collaborazione con organizzazioni come ASTM, CL:AIRE, AESAS, Nicola Africa, RNEST e l'Interstate Technology Regulatory Council, con speaker provenienti da oltre 40 paesi diversi. Maggiori informazioni sono disponibili sul sito ufficiale di Remtech Europe e nella pagina seguente.

Un evento significativo sarà anche la Sustainathon, evento maratona di 24 ore continuative prevista per il 24-25 settembre, che promette di essere un'opportunità unica per esplorare soluzioni innovative che oltre 40 paesi hanno implementato per raggiungere uno o più dei 17 Sustainable Development Goals (<https://remtechexpo.com/sustainathon/>).

In conclusione, la proposta di direttiva sul monitoraggio dei suoli, i documenti di IMPEL, le linee guida dell'ISPRA sui materiali di riporto e la conferenza Remtech Europe rappresentano riferimenti importanti nel percorso verso una gestione ambientale più efficace e sostenibile. Questi sviluppi non solo migliorano la protezione dell'ambiente, ma promuovono anche la cooperazione internazionale e l'innovazione tecnologica, elementi fondamentali per affrontare le sfide ambientali del futuro.

QUANTIFICAZIONE DELLE PRESTAZIONI AMBIENTALI DELLA PRATICA DEL RIUTILIZZO PROMOSSA DAI CENTRI DEL RIUSO TRAMITE METODOLOGIA LCA

Mary Jo E. A. Nichilo*, Giulia Cavenago, Mario Grosso, Lucia Rigamonti

Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Milano.

Sommario

Nel contesto dell'economia circolare, il presente lavoro mira a valutare se e in quale misura la pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso possa fornire benefici ambientali; successivamente all'impostazione metodologica, viene analizzato nello specifico il caso studio del centro del riuso "Panta Rei" di Vimercate (MB), applicando la metodologia dell'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment*, LCA) a dieci categorie di prodotto significative. L'impatto ambientale netto si ottiene dalla composizione delle due parti di cui il sistema è composto: la prima vita del bene (produzione, imballaggio, trasporto da industria a primo utente, utilizzo, conferimento del rifiuto e suo trasporto all'impianto di trattamento finale, fine vita) e la seconda vita del bene (trasporto del bene da primo utente a centro del riuso, trasporto da centro del riuso a secondo utente, riutilizzo). Gli impatti ambientali associati alla prima vita sono "evitati"; quelli associati alla seconda vita sono "aggiuntivi". L'analisi indaga 16 categorie d'impatto ambientale secondo il metodo di caratterizzazione *Environmental Footprint* 3.1. È emerso come il beneficio ambientale associato alla pratica del riutilizzo non sia scontato, ma dipenda da diversi fattori: tasso di sostituzione, tasso di qualità, tasso di prestazione energetica, distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente e tempo di utilizzo del bene. I risultati relativi allo scenario base definito hanno mostrato che nel 2022 la pratica del riuso promossa dal centro ha consentito benefici ambientali in sole 5 categorie d'impatto su 16. I risultati cambierebbero se si considerassero altri valori dei fattori sopra elencati: una sostituzione tra bene nuovo e usato del 100%, ad esempio, consentirebbe benefici ambientali in tutte le 16 categorie d'impatto. Sono così identificate tre azioni chiave per migliorare le prestazioni ambientali della pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso: sensibilizzare i cittadini, promuovere la mobilità sostenibile e ridurre le distanze tra centri e consumatori.

Parole chiave: *riutilizzo, analisi del ciclo di vita, centro del riuso, economia circolare, ruolo del consumatore*

QUANTIFICATION OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCES OF THE REUSE PRACTICE PROMOTED BY REUSE CENTRES WITH THE LCA METHODOLOGY

Abstract

Nowadays, humanity overexploits the planet by at least 75%, using the equivalent of 1.75 Earths to meet its annual resource consumption and absorb its waste generation. This occurs because the dominant economic model is currently based on a linear logic, which can be summarized through the concept "take-make-dispose". The circular economy paradigm aims to overcome the traditional linear model, first of all by prioritizing the design of products with an end-of-life perspective. The objective is to minimize waste generation, by creating goods optimized for their disassembly, reuse and recycling. In this regard, the Directive 2008/98/EC ("Waste Framework Directive") establishes a common legal framework for Europe: Member States must adopt hierarchical waste management, prioritizing prevention, preparation for reuse, recycling, followed by other types of recovery and finally, as a last option, disposal. Reuse, as part of prevention measures, forms the basis of the circular economy model. In this context, this work analyses the case study of the Panta Rei reuse centre in Vimercate (MB), a structure where the collection and subsequent sale of reusable goods are carried out. The aim is to examine whether and to what extent the reuse practice can actually contribute to providing environmental benefits: the analysis quantifies the environmental impact associated with the reuse of used goods, sold during the year 2022, by the Panta Rei reuse centre. This assessment has been conducted through the application of the Life Cycle Assessment (LCA) methodology to 10 significant product categories. The system is composed of two main parts: the first life of the good (production, packaging, transport from industry to the first user's home, use, waste collection, waste transport to the final treatment plant, end of life) and the second life of the good (good transport from the first user's home to the reuse centre, good transport from

* Per contatti: Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano. Tel: +39 3342350766; E-mail: maryjo.nichilo@mail.polimi.it

Ricevuto il 20-2-2024. Correzioni richieste il 10-4-2024. Accettazione il 19-5-2024.

the reuse centre to the second user's home, reuse). The impact allocated to the first life constitutes the avoided environmental impact, while the impact allocated to the second life constitutes the additional environmental impact. From the composition of these two parts of the system, the quantification of the net environmental impact generated by the reuse of 1 item is obtained and, consequently, by integrating the information on the weight and number of items sold in 2022, the total net environmental impact associated with the entire activity of the centre is obtained.

Keywords: *reuse, life cycle assessment, reuse centre, circular economy, role of the consumer.*

1. Introduzione

Attualmente l'umanità sovrasfrutta il pianeta almeno del 75%, cioè utilizza l'equivalente di 1,75 Terre per soddisfare il proprio consumo di risorse annuale e per assorbire i propri rifiuti (WWF, 2022). Questo si verifica perché il modello economico dominante è attualmente basato su una logica lineare, fondata sull'uso di risorse ritenute disponibili in modo illimitato e sintetizzabile attraverso i termini "prendi-produci-smaltisci".

Relativamente alla richiesta di materie prime, i dati globali mostrano che non c'è stato alcun periodo di declino, o anche solo di stabilizzazione, della domanda globale di materiali negli ultimi cinque decenni. L'estrazione e il consumo di risorse sono infatti aumentati di dieci volte dal 1900 (Lucchetti, 2023). Le proiezioni future mostrano che l'uso globale dei materiali è destinato ad aumentare ancora: tra il 2015 e il 2060 potrebbe più che raddoppiare, se le richieste saranno soddisfatte con gli attuali modelli di produzione (UNEP & IRP, 2019).

Per quanto riguarda la produzione di rifiuti, secondo i dati riportati da Kaza et al. (2018) risulta in aumento in tutto il mondo: considerando uno scenario *business as usual*, si prevede che la produzione annuale di rifiuti possa aumentare di circa il 69% tra il 2016 e il 2050.

Si rende così chiara la necessità di riprogettare l'attuale sistema produttivo sulla base di criteri che consentano di massimizzare l'utilizzo delle risorse attraverso una serie di strategie di circolarità. A tal proposito, la direttiva 2008/98/CE ("Direttiva Quadro sui Rifiuti") stabilisce un quadro giuridico comune a livello europeo per la gestione e il trattamento dei rifiuti e decreta che, salvo specifiche variazioni argomentate con studi al ciclo di vita, gli Stati membri devono adottarne una gestione improntata gerarchicamente e pri-

oritariamente alla prevenzione, poi alla preparazione per il riutilizzo, quindi al riciclaggio, seguito dal recupero di altro tipo (per esempio il recupero di energia) e infine, come ultima opzione, dallo smaltimento. Il riutilizzo, in quanto misura di prevenzione, è, quindi, alla base del modello di economia circolare.

Nel contesto appena descritto, il punto focale del presente lavoro è esaminare se e in che misura il riutilizzo dato dall'attività di un centro del riuso dedicato possa effettivamente comportare benefici ambientali. Successivamente all'impostazione metodologica dell'analisi, il caso di studio è costituito dal centro del riuso Panta Rei di Vimercate (MB), una struttura in cui si svolgono principalmente attività di consegna e successiva vendita di beni usati riutilizzabili. La consegna dei beni al centro è limitata ai residenti dei comuni serviti da CEM Ambiente (provincia di Monza-Brianza), mentre i beni usati possono essere acquistati da chiunque. Il centro è stato inaugurato a giugno 2019 per iniziativa del comune di Vimercate in collaborazione con la cooperativa Mani Tese, ente gestore, e con CEM Ambiente, che ha messo a disposizione gratuitamente i locali che ospitano il centro.

Lo scopo dello studio è dunque quantificare e valutare l'impatto ambientale derivante dal riutilizzo di beni usati venduti nel corso dell'anno 2022 da parte del centro del riuso Panta Rei.

La metodologia adottata è quella dell'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment*, LCA). Relativamente alla disponibilità di altri studi sul tema, è stato riscontrato che nel contesto della valutazione ambientale e della sostenibilità nel settore dell'usato, la letteratura scientifica basata sull'analisi del ciclo di vita (LCA) risulta particolarmente limitata. Ponendo, in particolare, l'attenzione su centri del riuso e mercatini dell'usato, le risorse informative risultano scarse: sono stati infatti reperiti solo tre studi relativi al contesto geografico italiano (Battisti et al., 2013; Castellani et al., 2015; Bartolozzi et al., 2017). Battisti et al. (2013) analizzano l'impatto ambientale associato al riutilizzo di oggetti usati commercializzati dai punti vendita della Mercatino Srl in alternativa all'acquisto di beni nuovi; Castellani et al. (2015) valutano i potenziali benefici associati alla vendita e al riuso di prodotti di seconda mano da parte di un centro del riuso; Bartolozzi et al. (2017) valutano i benefici ambientali associati a due centri del riuso, confrontando le prestazioni ambientali tra uno scenario senza e uno con riutilizzo su un definito arco temporale. In sintesi, gli aspetti significativi che emergono dai tre studi sono l'influenza sui risultati dei mezzi di trasporto adoperati per gli spostamenti e delle relative distanze percorse, l'impatto ambientale considerevole del ciclo di vita dei mobili, dovuto principalmente alla fase di produzione,

Tabella 1. Caratteristiche principali dei dieci prodotti analizzati.

Categoria di prodotto	Prodotto modellizzato	Caratteristiche del prodotto modellizzato		Motivazione della scelta delle caratteristiche del prodotto modellizzato
		Massa x_A [kg]	Ulteriori specifiche	
Oggettistica – T-shirt	T-shirt	0,25	Materiale: 100% cotone	Scelto lo stesso prodotto dello studio di Castellani et al. (2015)
Oggettistica – bicchieri	Bicchiere	0,4	Materiale: vetro	Scelto lo stesso prodotto dello studio di Castellani et al. (2015)
Libri, CD, VHS	Libro	0,86	Pagine: 400	Scelta dettata dalla disponibilità di dati
TV e monitor	TV	7,2	Tipologia: LCD-TV screen Dimensioni: 20,1”	Scelta del prodotto dettata dalla disponibilità di dati e dalla specifica presente nel regolamento per la gestione del centro del riuso secondo cui non è possibile il conferimento di elettrodomestici di grandi dimensioni
Computer	Computer	2,6	Tipologia: PC laptop	Scelta dettata dalla disponibilità di dati
Biciclette	Bicicletta	7,3	Tipologia: bicicletta con telaio in alluminio	Scelta dettata dalla disponibilità di dati
Letti	Letto	40,2	Tipologia: materasso a molle + rete; materiali principali: mix di polimeri, fibre, acciaio e legno	Scelta dettata dalla disponibilità di dati
Scarpe	Scarpe	1,2	Tipologia: scarpe in “gomma e plastica”	Scelta dettata dalla disponibilità di dati e dal fatto che la tipologia scelta può rappresentare diversi tipi di calzatura sportiva, da lavoro e per il tempo libero
Accessori neonati e bambini	Carrozzina	9,6	Materiali principali: polimeri e acciaio	Scelta dettata dalla disponibilità di dati
Elettrodomestici	Asciugacapelli	0,76	Tipologia: asciugacapelli ionico con diffusore di potenza pari a 2000 W	Scelta dettata dalla disponibilità di dati e ricaduta su un prodotto appartenente ai piccoli elettrodomestici poiché il regolamento per la gestione del centro del riuso afferma che non è consentito il conferimento di grandi elettrodomestici

e i conseguenti benefici ambientali derivanti dall’acquisto degli stessi come usati, e la rilevanza del riuso di capi di abbigliamento per via dell’elevato numero venduto.

2. Materiali e metodi

La quantificazione degli impatti ambientali associati all’attività di riutilizzo è stata effettuata con la metodologia dell’analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment*, LCA), che ha consentito di prendere in esame l’intera filiera produttiva, distributiva, di uso, riuso e fine vita di dieci categorie di prodotto scelte come significative (Ebli, 2023), in rappresentanza dell’elevata variabilità di beni venduti da un centro del riuso. Tale metodologia è stata applicata in accordo con i principi e i requisiti indicati dalla normativa tecnica internazionale attualmente in vigore, rappresentata dagli standard ISO 14040 (ISO 2006a) e ISO 14044 (ISO 2006b) e la modellizzazione e successiva valutazione degli impatti sono state effettuate con l’ausilio del software SimaPro 9.5. In linea con quanto riportato dalle norme ISO, la struttura di una LCA è sintetizza-

bile in quattro fasi principali: la definizione dell’obiettivo e del campo di applicazione, l’analisi di inventario, la valutazione degli impatti e l’interpretazione dei risultati. L’applicazione di queste fasi al caso studio è descritta nei seguenti paragrafi 2.1, 2.2, 2.3 e nel Capitolo 3.

2.1. Obiettivo dello studio e prodotti in analisi

Il presente studio LCA ha come obiettivo la definizione di una metodologia di valutazione dell’impatto ambientale della pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso e la sua applicazione al centro del riuso Panta Rei di Vimercate come caso di studio, con riferimento a un anno di vendite di prodotti usati appartenenti a dieci categorie selezionate come significative tra le venticinque categorie merceologiche coinvolte nell’attività del centro di riuso nel corso dell’anno 2022 (Mani Tesse Onlus, 2022). La selezione è avvenuta in accordo con la metodologia proposta da Ebli (2023): laddove possibile, è stato selezionato un prodotto rappresentativo per ciascuna categoria, per il quale un’analisi LCA preliminare è stata condotta; si è quindi stilata una classifica

in ordine decrescente rispetto all'impronta carbonica di ciascun prodotto analizzato. Le dieci categorie selezionate per il presente studio sono quelle rappresentate dai primi dieci prodotti in classifica. Considerata poi la variabilità delle tipologie di prodotto potenzialmente incluse in ciascuna categoria, è stato necessario scegliere un prodotto specifico da modellizzare per ciascuna categoria di prodotto stessa. Le dieci categorie di prodotto significative, i dieci prodotti scelti per la modellizzazione e le relative principali caratteristiche sono riassunti in Tabella 1.

La quantificazione dell'impatto ambientale totale, I , è stata effettuata mediante la seguente formula:

$$I = \sum_A I_A \quad (1)$$

Dove:

I_A : impatto ambientale netto totale, generato dall'attività del centro del riuso Pantà Rei di Vimercate nel 2022, relativo alla categoria A-esima.

La quantificazione di I_A è stata a sua volta effettuata attraverso la formula seguente:

$$I_A = I_{A,kg} \times m_A \times n_A \quad (2)$$

Dove:

- $I_{A,kg}$: impatto ambientale netto generato dal riuso di 1 kg di articolo appartenente alla categoria A-esima, ottenuto dividendo l'impatto ambientale netto generato dal riuso di 1 articolo, $I_{A,art}$ (definito nel sottoparagrafo 2.2.2), per la sua massa (massa dello specifico articolo modellizzato, x_A (Tabella 1), non necessariamente coincidente con m_A);

Tabella 2. Valori di massa media (media matematica) e numero di prodotti venduti per le dieci categorie di prodotto analizzate (fonte: Mani Tese Onlus, 2022).

Categoria di prodotto	Massa media degli articoli venduti dal centro del riuso nel 2022 m_A [kg]	Numero di articoli venduti dal centro del riuso nel 2022 n_A
Oggettistica – T-shirt*	1,26	2063
Oggettistica – bicchieri*	1,26	2063
Libri, CD, VHS	0,24	5026
TV e monitor	4,45	57
Computer	2,98	24
Biciclette	7,71	24
Letti	9,60	5
Scarpe	0,56	2043
Accessori neonati e bambini	0,29	1370
Elettrodomestici	8,79	129

* Si evidenzia che Ebli (2023) ha suddiviso la categoria di prodotto "oggettistica" in "oggettistica-T-shirt" e "oggettistica-bicchieri" per un'analisi più dettagliata, ripartendo equamente tra queste il numero di articoli venduti e mantenendo la massa media uguale per entrambe.

- m_A : massa media degli articoli appartenenti alla categoria A-esima venduti nel 2022 dal centro del riuso (Tabella 2);
- n_A : numero di articoli appartenenti alla categoria A-esima venduti nel 2022 dal centro del riuso (Tabella 2).

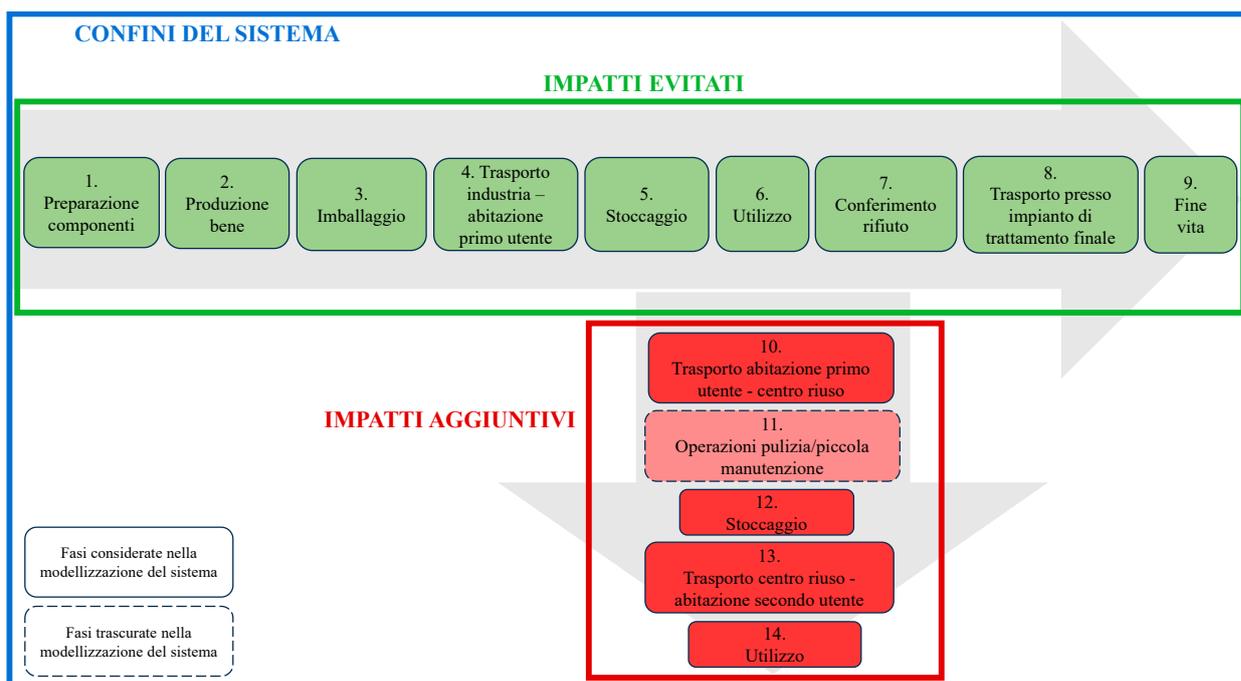


Figura 1. Confini del sistema.

2.2. Campo di applicazione

2.2.1. Unità funzionale

La funzione del sistema è la pratica di riutilizzare un prodotto. L'unità funzionale, formulata per ciascun prodotto modellizzato (Tabella 1), consiste nella seguente espressione: il riutilizzo di un prodotto A di massa x_A (massa del prodotto modellizzato).

2.2.2. Confini del sistema

I confini del sistema, uguali per tutti i prodotti analizzati, sono schematizzati in Figura 1.

Non tutte le fasi rappresentate in Figura 1 sono considerate nell'analisi: la fase 11 è omessa poiché, essendo variabile in base al tipo di oggetto, non si hanno a disposizione dati precisi al riguardo; le fasi 5 e 12 sono considerate nell'analisi solo per il primo prodotto esaminato, ossia la T-shirt, e trascurate, invece, nelle modellizzazioni degli altri prodotti (si veda Tabella 1, eccetto T-shirt), per via dei loro contributi trascurabili. Si sottolinea che, per quanto riguarda i processi di *foreground*, le infrastrutture sono escluse dai confini del sistema. Sono inoltre esclusi dai confini gli imballaggi e i pallet per la movimentazione.

Le fasi dalla 1 alla 9 generano impatti ambientali che sono stati allocati alla prima vita del bene, rappresentando il ciclo di vita completo di un articolo acquistato nuovo e poi smaltito. Le fasi dalla 10 alla 14 comportano invece impatti che sono stati allocati alla seconda vita del bene, costituendo il ciclo di vita di un articolo rimesso sul mercato, acquistato usato e riutilizzato. Il fine vita non è stato incluso nella seconda parte di vita degli oggetti in quanto si è deciso di allocarlo totalmente alla prima vita degli oggetti stessi. Poiché l'obiettivo dell'analisi è la quantificazione dell'impatto ambientale totale associato al riuso del bene, gli impatti allocati alla prima vita del bene, cioè allocati al bene nuovo che sarebbe stato prodotto se il bene non fosse acquistato usato, costituiscono degli impatti evitati, $I_{A,ev}$ (di segno negativo): il riutilizzo del bene consente di evitare il ciclo di vita del bene nuovo. Gli impatti associati alla seconda vita del bene, cioè al riuso del bene, costituiscono, invece, degli impatti aggiuntivi, $I_{A,agg}$ (di segno positivo). Stante il sistema sopra descritto, la quantificazione dell'impatto ambientale netto generato dal riuso di 1 articolo appartenente alla categoria A-esima, $I_{A,art}$, è stata effettuata nel modo seguente:

$$I_{A,art} = I_{A,agg} + I_{A,ev} \times t_{A,s} \quad (3)$$

Dove:

- $I_{A,agg}$: è l'impatto ambientale aggiuntivo, relativo alle fasi della seconda vita del prodotto appartenente alla categoria A-esima;

Tabella 3. Valori del tasso di sostituzione per le categorie di prodotto in analisi (derivanti da un questionario sottoposto a 577 utenti del centro del riuso nel mese di aprile 2023; fonte: Ebli, 2023)

Categoria di prodotto	Tasso di sostituzione $t_{A,s}$
Oggettistica – T-shirt	0,20
Oggettistica – bicchieri	0,20
Libri, CD, VHS	0,08
TV e monitor	1,00
Computer	1,00
Biciclette	1,00
Letti	0,75
Scarpe	0,07
Accessori neonati e bambini	0,22
Elettrodomestici	0,57

- $I_{A,ev}$: è l'impatto ambientale evitato, relativo alle fasi della prima vita del prodotto appartenente alla categoria A-esima;
- $t_{A,s}$: è il tasso di sostituzione della categoria A-esima, che assume valore tra 0 e 1 e serve a includere il significato della scelta del recarsi presso il centro del riuso (Tabella 3). Un valore pari a 0 significa che l'acquisto del bene usato non è necessario: l'utente sta acquistando poiché attirato dai prezzi convenienti rispetto ai normali prezzi di listino; se non acquistasse il bene usato al centro del riuso, non lo acquisterebbe nuovo altrove. Un valore pari a 1 significa, invece, che l'acquisto è necessario: se l'utente non acquistasse il bene al centro del riuso, lo andrebbe ad acquistare nuovo altrove; si ha, quindi, sostituzione del 100% tra bene nuovo e usato.

Un altro aspetto di cui tenere conto a livello metodologico è il fatto che non sempre un bene usato ha una qualità equiparabile a quella di un bene acquistato nuovo. La qualità di un prodotto può essere misurata attraverso diversi parametri. Nel presente studio si è assunto, in particolare, di misurare la qualità di un bene attraverso la sua vita utile, esplicitandola attraverso un coefficiente denominato tasso di qualità, $t_{A,q}$: è il rapporto tra la vita media attesa del bene usato e la vita media attesa del bene nuovo. Varia tra 0 e 1 ed è moltiplicato per il termine che rappresenta l'impatto evitato, riducendone così il contributo nel caso in cui bene nuovo e usato non si equivalgono dal punto di vista della qualità. Si suppone che sia inferiore a 1 solo per apparecchi elettrici ed elettronici, ma, vista la complessità nel definirne un valore in modo preciso, nello scenario base, cioè nella modellizzazione di riferimento, per semplicità è assunto pari a 1 anche nel caso di tali beni.

Nel caso di apparecchi elettrici ed elettronici, si aggiunge un'ulteriore considerazione: il bene usato, pro-

dotto alcuni anni prima rispetto al bene nuovo, verosimilmente ha una prestazione energetica inferiore e, quindi, un consumo energetico superiore. Per tenerne conto, è stato introdotto un ulteriore coefficiente, definito tasso di prestazione energetica, $t_{a,p,es}$, che varia tra 0 e 1, al fine di differenziare le fasi di utilizzo per il bene nuovo e il bene usato: è il rapporto tra il consumo energetico del bene nuovo e il consumo energetico del bene usato. Anche in questo caso, vista la complessità nel definirne un valore in modo preciso, nello scenario base è assunto pari a 1.

A conclusione dell'analisi, se l'impatto ambientale netto risulta di segno negativo, significa che l'impatto evitato è, in valore assoluto, maggiore di quello aggiuntivo e, dunque, la pratica del riuso apporta un beneficio ambientale. Se, invece, l'impatto ambientale netto risulta di segno positivo, significa che l'impatto aggiuntivo è, in valore assoluto, maggiore di quello evitato e, dunque, la pratica del riuso apporta un danno ambientale.

Per la modellizzazione delle fasi di produzione e di fine vita dei prodotti analizzati è stato seguito l'approccio modellistico del Sistema Internazionale *Environmental Product Declaration* (EPD®), descritto nelle relative *General Programme Instructions*, versione 4.0 (*The International EPD® System*, 2021), le cui indicazioni suggeriscono di adottare il cosiddetto approccio 100-0. La logica alla base di tale approccio è il principio "chi inquina paga": chi genera il rifiuto si deve fare carico degli impatti ambientali derivanti dal suo trattamento.

2.2.3. Analisi di sensibilità e di *breakeven*

Per comprendere come la variazione dei valori assunti per i diversi parametri (tassi di sostituzione, di qualità e di prestazione energetica, distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente, tempo di utilizzo di apparecchi elettrici ed elettronici) influiscono sui risultati finali dell'analisi, si è deciso di eseguire delle analisi di sensibilità:

- laddove il tasso di sostituzione è inferiore ad 1, esso è posto pari a 1, al fine di indagare come variano i risultati tra caso reale e caso migliore, cioè in caso di sostituzione di un bene nuovo con un bene usato pari al 100%;
- nel caso di prodotti su cui agiscono il tasso di qualità e il tasso di prestazione energetica (apparecchi elettrici ed elettronici), che di default sono posti pari a 1, sono testati rispettivamente i valori 0,5, ovvero il caso in cui il bene usato abbia una vita media utile pari alla metà della vita media utile del bene nuovo, e 0,8, cioè il caso in cui il consumo elettrico del bene nuovo sia pari all'80% del consumo elettrico del bene usato;

- la distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente è ridotta del 75%;
- nel caso di apparecchi elettrici ed elettronici, il loro tempo di utilizzo è aumentato del 50% o del 100%.

Per il tasso di sostituzione si è deciso, inoltre, di effettuare un'analisi di *breakeven*, allo scopo di individuare il valore minimo in corrispondenza e sopra al quale l'impatto netto ambientale associato a ciascun prodotto assume segno negativo, cioè la pratica del riuso apporta effettivamente un beneficio ambientale.

2.2.4. Indicatori ambientali analizzati

Per la valutazione dell'impatto ambientale sono state esaminate 16 categorie di impatto, così ripartite:

- otto categorie di impatto sull'ambiente naturale: Cambiamento Climatico (CC), Assottigliamento dello strato di Ozono (AO), Formazione di Ozono fotochimico (FO), Eutrofizzazione in acqua Dolce (ED), Eutrofizzazione Marina (EM), Eutrofizzazione Terrestre (ET), Acidificazione (A), ECotossicità delle acque dolci (EC);
- quattro categorie di impatto sulla salute umana: Radiazione Ionizzante (RI), Assunzione di materiale Particolato (AP), Tossicità Umana Non Cancerogena (TU_{NC}) e Tossicità Umana Cancerogena (TU_C);
- quattro categorie di impatto sull'esaurimento di risorse: Consumo di Suolo (CS), Consumo di risorse idriche (CA), Consumo di Risorse Energetiche non rinnovabili (CR_E) e Consumo di Risorse, Minerali e Metalli (CR_M).

Gli indicatori associati a tali categorie di impatto e i modelli di caratterizzazione usati per il loro calcolo sono quelli proposti nel metodo *Environmental Footprint* (EF 3.1), sviluppato per la Commissione Europea dal *Joint Research Centre* (Andreas Bassi et al., 2023).

2.3. Analisi di inventario

La documentazione fornita dal centro del riuso Panta Rei è al momento limitata: i dati primari a disposizione sono insufficienti per poter effettuare un'analisi LCA. Si è reso allora necessario ricorrere a dati secondari derivati dalla letteratura scientifica, da altri progetti e da banche dati LCA (ecoinvent 3.8), adattati al caso studio, o dati terziari, cioè dati stimati e dati assunti. In Tabella 4 sono riportate le fasi del ciclo di vita considerate per ogni prodotto e la fonte dei dati utilizzati per la relativa modellizzazione. Ulteriori dettagli sono reperibili nella tesi di laurea magistrale "Quantificazione dei benefici ambientali associati all'attività del centro del riuso Panta Rei tramite metodologia LCA" (Nichilo, 2023).

Nel caso in cui la modellizzazione del prodotto finito sia già presente nella banca dati di riferimento (ad

Tabella 4. Fonti dei dati utilizzati nella modellizzazione delle fasi del ciclo di vita dei 10 prodotti in analisi: T-shirt (A), bicchiere (B), libro (C), TV (D), computer (E), bicicletta (F), letto (G), scarpe (H), carrozzina (I), asciugacapelli (L). La numerazione delle fasi è la stessa riportata in Figura 1. La fase 11 non è presente in tabella in quanto non è considerata nello studio.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	
1	Castellani et al. (2015)	Castellani et al. (2015)	Tua et al. (2022)	Talens Peirò et al. (2016)	Ecoinvent	Pré Sustainability (2023)	Cordella et al. (2012)	Gottfridsson e Zhang (2015)	Kerdlap et al. (2021)	Ecoinvent	
2	Castellani et al. (2019)	Hp		Sala et al. (2019) con modifica	Sala et al. (2019)			Castellani et al. (2019)	Hp	Ashby (2009)	
3	PEF, hp, ACI (2022, 2023)						PEF, hp, ACI (2022)	PEF, hp, ACI (2022, 2023)			
4	PEF e hp	\	\	\	\	\	\	\	\	\	
5	PEF		\	Dato primario, Sala et al. (2019), ACI (2022, 2023), Falbo et al. (2015) e hp		Pré Sustainability (2023) e ACI (2023)	\	\	Kerdlap et al. (2021)	Dato primario e Ashby (2009)	
6	Hp e ACI (2023)	\	\	Hp e ACI (2023)			Hp e ACI (2022)	Hp e ACI (2023)			
7	People to People (2021), CEM (2022), PRGR Lombardia (2022)	CEM (2022), PRGR Lombardia (2022) e hp						Cordella et al. (2012), CEM (2022), PRGR Lombardia (2022) e hp	Humana People to People (2021), CEM (2022), PRGR Lombardia (2022) e hp	CEM (2022), PRGR Lombardia (2022) e hp	
8	Schmidt et al. (2016), Humana People to People (2021),	PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013)	PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013)	Falbo et al. (2015), PRGR Lombardia (2022)	Falbo et al. (2015), PRGR Lombardia (2022)	Hp, PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013)	Cordella et al. (2012), PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013), dato primario	Schmidt et al. (2016), Humana People to People (2021), PRGR Lombardia (2022)	Hp, PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013)	Falbo et al. (2015), PRGR Lombardia (2022), Rigamonti et al. (2013), dato primario	
9	PEF con modifica, ACI (2023)			Hp, ACI (2023)	PEF con modifica, ACI (2023)		Hp, ACI (2022)	PEF con modifica, ACI (2023)			
10	PEF	\	\	\	\	\	\	\	\	\	
11	PEF con modifica, ACI (2023)			Hp, ACI (2023)	PEF con modifica, ACI (2023)		Hp, ACI (2022)	PEF con modifica, ACI (2023)			
12	PEF		\	Dato primario, Sala et al. (2019), ACI (2022, 2023), Falbo et al. (2015), hp		\	\	\	Kerdlap et al. (2021)	Dato primario e Ashby (2009)	
13	PEF		\	Dato primario, Sala et al. (2019), ACI (2022, 2023), Falbo et al. (2015), hp		\	\	\	Kerdlap et al. (2021)	Dato primario e Ashby (2009)	
14	PEF		\	Dato primario, Sala et al. (2019), ACI (2022, 2023), Falbo et al. (2015), hp		\	\	\	Kerdlap et al. (2021)	Dato primario e Ashby (2009)	

esempio, computer e asciugacapelli), si è scelto quel prodotto; al contrario, ci si è basati su studi di letteratura, i quali a loro volta combinano dati primari e dati secondari.

Si sottolinea che, per quanto concerne la fase di trasporto del bene dal produttore all'abitazione del primo utente, siccome la modellizzazione delle diverse categorie di prodotto non riguarda uno specifico bene originario di uno specifico paese, bensì un prodotto generico, per tutti i beni si è deciso di seguire le linee guida relative a trasporti e logistica indicate nella Raccomandazione 2021/2279/EU (CE, 2021; pp.46-47) per la parte riguardante la *Product Environmental*

Footprint (PEF). Tali linee guida forniscono in particolare tre alternative di percorso tra industria e primo utente (trasporto diretto, trasporto con un sito di transito intermedio presso un centro di distribuzione e trasporto con un sito di transito intermedio presso un punto vendita al dettaglio) e i relativi mezzi di spostamento di filiera locale, intracontinentale e internazionale (il trasporto avviene in parte via mare tramite un container transoceanico e in parte via terra tramite un autocarro di grandi dimensioni). Per quanto riguarda le alternative di percorso, per cui la PEF non impone le relative percentuali di occorrenza, non avendo informazioni precise a disposizione, si è assunto di ripartir-

le in modo uguale, cioè con una percentuale di accudimento pari al 33,3% ciascuna. Lo stesso approccio è stato adottato per i tre tipi di filiera (locale, intracontinentale e internazionale) e le relative combinazioni di trasporto che non sono già indicate nella PEF: sono assunte pari a 33,3% ciascuna.

La scelta delle localizzazioni geografiche delle attività successive alla produzione del bene e alla sua esportazione è stata effettuata dando priorità al contesto italiano, quando disponibile, altrimenti al contesto geografico europeo, svizzero o, da ultimo, globale.

Per quanto riguarda la modellizzazione della fase di trasporto del rifiuto presso il relativo impianto di trattamento finale, si descrivono di seguito i dati adottati comuni a più categorie di prodotto.

Secondo i dati contenuti nel Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti (PRGR) della Regione Lombardia del 2022, le percentuali di intercettazione tramite raccolta differenziata sono le seguenti: 37% per la plastica; 59,9% per la carta e il cartone; 90,1% per il vetro. Quanto raccolto in modo differenziato è poi inviato ad un impianto di selezione, con finalità ultima il riciclo. Per la fase di selezione si è assunta un'efficienza del 100%.

Secondo il PRGR il rifiuto conferito, invece, nella raccolta indifferenziata è destinato a recupero energetico per il 97% e a discarica per il 3%.

Per la scelta della localizzazione degli impianti, in parte ci si è avvalsi del rapporto del 2022 di CEM Ambiente relativo ai servizi di igiene urbana del comune di Vimercate e in parte sono state fatte delle ipotesi. In particolare, si è considerato che la plastica, i materiali cellulorici e il vetro raccolti in modo differenziato siano inviati da Vimercate ad impianti di selezione situati rispettivamente a Verderio Inferiore, Pieve Emanuele e Origgio. Il rifiuto destinato a recupero energetico è, invece, mandato a Trezzo sull'Adda per il 56%, a Desio per il 26% e a Montanaso Lombardo per il restante 18%. Il rifiuto destinato a discarica, infine, è mandato ad una discarica distante 150 km. Gli impatti ambientali dovuti alle fasi di pretrattamento presso gli impianti di selezione sono quantificati attraverso i relativi consumi energetici: 60,5 kWh_e/t per la plastica (dato primario); 1,5 kWh_e/t per carta e cartone (Rigamonti et al., 2013); 22 kWh_e/t per il vetro (Rigamonti et al., 2013).

Relativamente alla gestione dei RAEE, si è assunto che essi siano soggetti al conferimento diretto da parte del singolo cittadino in isola ecologica, ipotizzando che l'abitazione del primo utente disti 10 km da questa e che lo spostamento avvenga con auto privata e/o a piedi in base alla tipologia di prodotto. Si è assunto che l'impianto di selezione dei RAEE sia situato a Cavenago di Brianza e il relativo consumo di energia elettrica

è posto pari a 26,5 kWh_e/t per computer e TV e pari a 66 kWh_e/t per l'asciugacapelli (Falbo et al., 2015).

Per ciò che è destinato a recupero energetico o a discarica, si è ipotizzato che le localizzazioni degli impianti siano le stesse sopracitate per rifiuti indifferenziati e imballaggi. Per i destini ultimi dei materiali che compongono i RAEE ci si è basati sullo studio di Falbo et al. (2015), che prevede una fase iniziale di separazione delle componenti principali, a cui segue l'invio di tali componenti ad impianti specializzati per ulteriori processi di separazione di componenti o materiali oppure l'invio diretto a impianti specifici per il recupero delle componenti o il riciclo dei materiali.

Per quanto riguarda i rifiuti ingombranti, si è assunto che essi siano soggetti in parte al conferimento diretto da parte del singolo cittadino in isola ecologica e in parte al ritiro a domicilio. Si è supposto che l'impianto di selezione sia situato a Cavenago di Brianza. Non avendo a disposizione dati circa i consumi dell'impianto di selezione dei rifiuti ingombranti, sono assunti i medesimi consumi elettrici di un impianto di selezione per i RAEE, pari a 66 kWh_e/t.

Per quanto concerne il trasporto del bene usato dall'abitazione del primo utente (che si è ipotizzato essere localizzata a Vimercate) al centro del riuso, si è assunta una distanza di 10 km. Per quanto riguarda il trasporto dal centro del riuso all'abitazione del secondo utente, si è assunta invece una distanza di 20 km, in virtù del fatto che i beni usati possono essere acquistati da chiunque. Per la tipologia di mezzi adoperati per lo spostamento, in entrambi i casi si è adottata la ripartizione riportata dalla PEF, unendo però il 5% dei casi di trasporto previsti tramite furgone (che costituirebbe la consegna tramite corriere, ma in questo caso non avrebbe senso) alla casistica del trasporto con auto, risultando quindi che nel 67% dei casi l'utente utilizza l'auto privata e nel 33% dei rimanenti casi non adopera nessun mezzo (si muove a piedi).

Si sottolinea che per la scelta delle tipologie di mezzi di trasporto utilizzati fuori dal territorio italiano sono state mantenute le indicazioni della PEF; per quelli nazionali sono stati invece usati i dati dei mix ACI, quello del 2021 (ACI, 2022) per l'autocarro di grandi e piccole dimensioni e quello del 2022 (ACI, 2023) per l'auto privata.

Nel caso di trasporto con auto sono state inoltre fatte alcune ipotesi circa l'allocazione dell'impatto, in base al numero di articoli trasportati e al momento dello spostamento: relativamente a quest'ultimo, in tutti i casi si è assunto che lo spostamento avvenga nell'ambito di uno spostamento effettuato anche per altri motivi, con conseguente allocazione dell'impatto al singolo bene pari al 50%.

Tabella 5. Risultati relativi allo scenario base: impatto netto totale, I_A , relativo a ciascuna categoria di prodotto e impatto netto totale, I , associato all'intera attività del centro del riuso Panta Rei nell'anno 2022 per ogni categoria di impatto.

Categoria d'impatto	Unità di misura	T-shirt	Scarpe	Bicchiere	Libro	Computer	TV	Asciugacapelli	Letto	Carrozzina	Bicicletta	Impatto totale, I
CC	kg CO ₂ eq.	1,2E+04	5,8E+03	4,0E+04	3,4E+03	-4,5E+03	-1,2E+04	4,8E+03	-1,6E+02	-6,5E+02	-2,2E+03	4,6E+04
AO	kg CFC-11 eq.	3,0E-04	3,2E-05	9,1E-04	6,7E-05	-2,2E-04	-6,9E-04	6,8E-05	-2,9E-05	-1,9E-06	-3,2E-05	4,1E-04
RI	kBq U-235 eq.	5,5E+02	1,4E+02	4,4E+03	8,0E+01	-5,2E+02	-1,4E+03	1,8E+02	-4,7E+00	-6,4E+01	-2,1E+02	3,1E+03
FO	kg COVNM eq.	5,0E+01	2,2E+01	1,4E+02	1,5E+01	-1,7E+01	-4,9E+01	1,2E+01	-5,7E-01	-2,0E+00	-8,8E+00	1,6E+02
AP	Incidenza di malattia	3,4E-04	2,9E-04	1,1E-03	1,7E-04	-3,0E-04	-6,7E-04	2,8E-05	-1,8E-05	-3,8E-05	-1,8E-04	7,0E-04
TU _{NC}	CTUh	1,5E-04	6,0E-05	6,4E-04	3,8E-05	-2,6E-04	-5,7E-04	-3,4E-04	-1,9E-06	-5,8E-06	-4,7E-05	-3,5E-04
TU _C	CTUh	1,4E-05	4,9E-06	2,5E-05	2,9E-06	-4,0E-06	-9,9E-06	-1,6E-06	-3,9E-07	-9,7E-07	-3,6E-06	2,6E-05
A	mol H ⁺ eq.	5,3E+00	1,9E+01	1,7E+02	1,1E+01	-3,1E+01	-8,3E+01	-5,8E+01	-1,9E+00	-3,8E+00	-2,0E+01	2,9E+00
ED	kg P eq.	-2,6E-01	6,7E-01	9,5E+00	4,1E-01	-4,2E+00	-1,3E+01	-2,3E+00	-5,7E-02	-2,5E-01	-9,3E-01	-1,1E+01
EM	kg N eq.	-4,9E+01	4,8E+00	5,3E+01	2,9E+00	-6,3E+00	-1,7E+01	1,0E+00	-6,3E-01	-1,3E+00	-2,7E+00	-1,6E+01
ET	mol N eq.	-5,0E+01	5,2E+01	3,3E+02	3,1E+01	-6,0E+01	-1,7E+02	1,4E+01	-7,5E+00	-8,0E+00	-2,6E+01	1,0E+02
EC	CTUe	2,6E+04	4,6E+04	2,6E+05	2,7E+04	-7,6E+04	-2,5E+05	-7,8E+03	-2,6E+03	-1,9E+03	-9,8E+03	8,0E+03
CS	Pt	-1,1E+04	2,5E+04	2,5E+05	4,7E+03	-1,8E+04	-4,9E+04	1,4E+04	-6,7E+03	-3,4E+03	-1,0E+04	2,0E+05
CA	m ³ acqua	-6,1E+04	1,8E+02	2,2E+04	1,4E+02	-8,8E+02	-1,9E+03	-7,9E+02	-3,2E+02	-8,5E+02	-5,9E+02	-4,4E+04
CR _E	MJ	1,8E+05	7,4E+04	6,1E+05	4,5E+04	-5,6E+04	-1,6E+05	5,6E+04	-1,5E+03	-9,6E+03	-2,7E+04	7,1E+05
CR _M	kg Sb eq.	1,5E-01	5,3E-02	4,4E-01	3,5E-02	-8,7E-01	-3,1E+00	-3,6E-01	-7,5E-04	-2,3E-03	-1,3E-02	-3,7E+00

3. Risultati e discussione

In questo capitolo sono mostrati in primo luogo i risultati per lo scenario base, in secondo luogo i risultati delle analisi di sensibilità e infine i risultati delle analisi di *breakeven*.

Si anticipa che, per maggiore chiarezza grafica, nelle tabelle presenti nei paragrafi seguenti sono riportati in rosso i risultati con segno positivo, ad indicare che gli impatti aggiuntivi sono, in valore assoluto, maggiori di quelli evitati e che dunque la pratica del riuso non apporta un beneficio, bensì un danno ambientale. In verde sono, invece, riportati i risultati con segno negativo, ad indicare che gli impatti evitati sono, in valore assoluto, maggiori di quelli aggiuntivi e che, dunque, la pratica del riuso apporta un beneficio ambientale. Laddove sono riportate le variazioni percentuali dei risultati derivanti dalla variazione del valore di uno o più parametri, si evidenzia, per una migliore comprensione, che possono verificarsi i casi seguenti:

- variazioni minori di -100% (es. -130%) significano che per quella categoria di impatto si è passati da un carico a un beneficio o da un beneficio a un carico: la distinzione tra i due casi è evidenziata dal colore dei caratteri, verde in caso di passaggio a beneficio e rosso in caso di passaggio a carico;
- variazioni comprese tra il -100% e lo 0% indicano che per quella categoria di impatto il carico am-

bientale o il beneficio ambientale diminuisce in termini assoluti ma rimane un carico o un beneficio: la distinzione tra i due casi è evidenziata dal colore dei caratteri, verde in caso di beneficio e rosso in caso di carico;

- variazioni maggiori di 0% significano che il carico o il beneficio aumenta in termini assoluti ma rimane tale: la distinzione tra i due casi è evidenziata dal colore dei caratteri, verde in caso di beneficio e rosso in caso di carico.

La variazione percentuale è calcolata come rapporto tra la differenza tra il risultato degli impatti ambientali conseguente alla variazione di uno o più parametri e quello dello scenario di riferimento rispetto a cui la variazione vuole essere calcolata (es. scenario base) e il risultato dello scenario di riferimento rispetto a cui la variazione vuole essere calcolata (es. scenario base).

3.1. Risultati relativi allo scenario base

I risultati relativi allo scenario base (Tabella 5), per i valori dei tassi e dei parametri considerati e, in generale, per tutte le assunzioni fatte, evidenziano che il riutilizzo dei beni venduti dal centro del riuso Panta Rei di Vimercate nel 2022 ha consentito nel complesso di avere benefici ambientali in sole 5 categorie d'impatto sulle 16 considerate: tossicità umana non cancerogena (TU_{NC}), eutrofizzazione delle acque dolci (ED), eutrofizzazione marina (EM), con-

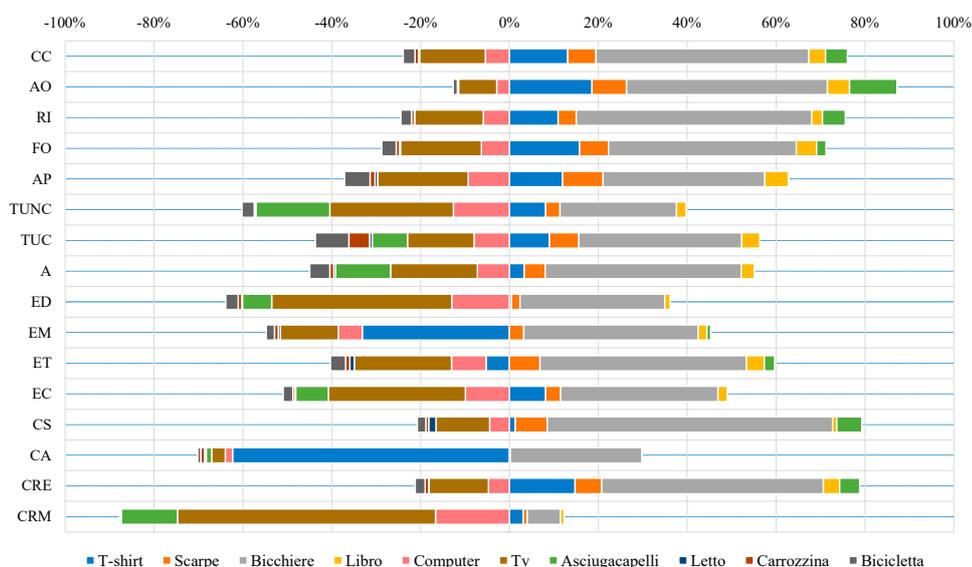


Figura 2. Risultati relativi allo scenario base: analisi dei contributi percentuali delle 10 categorie di prodotto analizzate all'impatto totale, I , associato all'attività del centro del riuso nel 2022.

sumo delle risorse idriche (CA) e consumo di risorse, minerali e metalli (CR_M).

Relativamente ai beni di piccole dimensioni (T-shirt, scarpe, bicchiere e libro) si osserva che il contributo che apportano alla pratica del riuso è perlopiù un carico ambientale e non un beneficio. Per scarpe, bicchiere e libro l'impatto netto totale risulta, infatti, positivo per tutte le categorie d'impatto considerate. Nel caso della T-shirt la pratica del riuso apporta un beneficio per sole 5 categorie su 16 (ED, EM, ET, CS e CA). La ragione di ciò può essere attribuita al fatto che le categorie di prodotto menzionate hanno un tasso di sostituzione molto basso, rispettivamente pari a 0,2, 0,07, 0,2 e 0,08: nel quantificare l'impatto ambientale associato alla pratica del riuso, si sta tenendo conto del fatto che – secondo i risultati del questionario sottoposto a 577 utenti del centro del riuso (Tabella 3) – solo una quota parte dei consumatori (rispettivamente il 20%, il 7%, il 20% e l'8%) che acquistano uno di questi prodotti usati lo fa in alternativa all'acquisto di un bene nuovo; la restante quota di consumatori non ha in realtà bisogno del bene e dunque, acquistandolo al centro del riuso, apporta di fatto un carico sull'ambiente. Relativamente agli apparecchi elettrici ed elettronici (computer, TV e asciugacapelli) si osserva che nel caso di computer e TV la pratica del riuso comporta complessivamente un beneficio per tutte le categorie d'impatto. Si ricorda che per questi due prodotti il tasso di sostituzione è pari al massimo possibile, cioè 1, e quindi tutto l'impatto evitabile è effettivamente evitato. Nel caso dell'asciugacapelli, invece, che ha un tasso di sostituzione pari a 0,57, la pratica del riuso apporta

(nello scenario base) un beneficio per 7 categorie su 16 (TU_C , TU_{NC} , A, ED, EC, CA, CR_M). Relativamente, infine, ai beni ingombranti (letto, carrozzina e bicicletta), si osserva che in tutti e tre i casi la pratica del riuso comporta un beneficio per tutte le categorie d'impatto.

Si riporta in Figura 2 l'analisi dei contributi percentuali delle 10 categorie di prodotto alle 16 categorie d'impatto per il centro del riuso nel suo complesso.

Appare chiaro il contributo importante in segno positivo (carico ambientale) dell'oggettistica (T-shirt e bicchiere) e, in generale, dei beni di piccole dimensioni (oltre ai due già menzionati, emergono i contributi di scarpe e libro).

L'impatto netto unitario di questi beni, $I_{A,art}$, è in realtà di uno o due ordini di grandezza inferiore rispetto a quello dei beni di grandi dimensioni; il fatto che i primi comportino il maggior contributo all'impatto netto totale del centro è dovuto sostanzialmente al fatto che il numero di beni di piccole dimensioni venduti nel 2022 è molto superiore rispetto a quelli dei beni di grandi dimensioni (Tabella 2, es. 2063 bicchieri e 24 computer).

3.2. Risultati delle analisi di sensibilità e delle analisi di breakeven

3.2.1. Sensibilità sul tasso di sostituzione

L'analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione è volta ad indagare se e come varia l'impatto netto totale associato alla pratica del riuso modificando il tasso di sostituzione e ponendolo, in particolare, pari a 1 per tutti i prodotti: si suppone che ogni acquisto sia necessario, ovvero che se non fosse acquistato un bene usato

Tabella 6. Risultati dell'analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione relativi all'intero centro del riuso.

Categoria d'impatto	Unità di misura	Impatto netto totale, I	Variazione % rispetto allo scenario base (Tabella 5)
CC	kg CO ₂ eq.	-4,3E+04	-194%
AO	kg CFC-11 eq.	-2,9E-03	-827%
RI	kBq U-235 eq.	-4,6E+03	-248%
FO	kg COVNM eq.	-2,2E+02	-238%
AP	Incidenza di malattia	-3,8E-03	-642%
TU _{NC}	CTUh	-2.0E-03	+479%
TU _C	CTUh	-3,0E-05	-217%
A	mol H ⁺ eq.	-6,1E+02	-20958%
ED	kg P eq.	-4,3E+01	+302%
EM	kg N eq.	-4,3E+02	+2613%
ET	mol N eq.	-1,5E+03	-1541%
EC	CTUe	-1,1E+06	-14173%
CS	Pt	-1,1E+06	-640%
CA	m ³ acqua	-3,5E+05	+699%
CR _E	MJ	-5,4E+05	-176%
CR _M	kg Sb eq.	-4,8E+00	+29,4%

ne sarebbe acquistato uno nuovo. Si riportano in Tabella 6 i risultati ottenuti per l'intero centro del riuso (sia in termini di valori numerici effettivi sia di variazione percentuale rispetto allo scenario base).

Si nota come, in caso di tasso di sostituzione pari a 1, l'attività del centro del riuso comporterebbe benefici ambientali in tutte e 16 le categorie d'impatto, con aumento in valore assoluto del beneficio ambientale fino a oltre il 2000% rispetto allo scenario base laddove già presente un beneficio, e con passaggio da carico a beneficio laddove nello scenario base vi è un carico ambientale.

3.2.2. Sensibilità sulla distanza di trasporto

Emersa dagli studi di letteratura riportati in sintesi nel capitolo 1 l'importanza della distanza percorsa per il trasporto dei beni, si è deciso di svolgere un'analisi di sensibilità sulla distanza tra il centro del riuso e l'abitazione del secondo utente. L'analisi di sensibilità è stata eseguita solo su questa distanza, assunta pari a 20 km in fase di modellizzazione, poiché è quella potenzialmente soggetta a maggiore variabilità: come già specificato, infatti, chiunque può recarsi al centro del riuso per acquistarsi dei prodotti. La distanza tra l'abitazione del primo utente e il centro del riuso, invece, è meno soggetta a potenziale variabilità, in quanto solo i cittadini dei comuni serviti da CEM Ambiente possono recarsi al centro per portare dei beni usati. L'altro motivo per cui si è deciso di indagare come variano i risultati al variare di tale distanza risiede nel

Tabella 7. Risultati dell'analisi di sensibilità sulla distanza di trasporto relativi all'intero centro del riuso.

Categoria d'impatto	Unità di misura	Variazione % rispetto a scenario base (Tabella 5)	Variazione % rispetto ad analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione (Tabella 6)
		t _{As} effettivi	t _{As} = 1
CC	kg CO ₂ eq.	-46,0%	+48,9%
AO	kg CFC-11 eq.	-127%	+17,5%
RI	kBq U-235 eq.	-17,6%	+11,9%
FO	kg COVNM eq.	-57,9%	+42,1%
AP	incidenza di malattia	-152%	+28,1%
TU _{NC}	CTUh	+66,9%	+11,6%
TU _C	CTUh	-67,6%	+57,8%
A	mol H ⁺ eq.	-2483%	+11,9%
ED	kg P eq.	+25,4%	+6,3%
EM	kg N eq.	+121%	+4,5%
ET	mol N eq.	-196%	+13,6%
EC	CTUe	-2133%	+15,2%
CS	Pt	-51,3%	+9,5%
CA	m ³ acqua	+3,9%	+0,5%
CR _E	MJ	-39,4%	+52,0%
CR _M	kg Sb eq.	+5,7%	+4,4%

fatto che il trasporto del bene usato tra centro del riuso e abitazione del secondo utente costituisce l'alternativa a quello che, nella filiera di trasporto tra industria di produzione e abitazione del primo utente, è il trasporto tra punto vendita e abitazione del primo utente. Secondo le indicazioni della PEF, tale distanza è posta pari a 5 km. Si è, per questo motivo, deciso di armonizzare le due situazioni esaminando come variano i risultati dell'impatto netto totale associato a ciascuna categoria di prodotto, ponendo la distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente pari al 25% di quella precedentemente assunta, riducendola, cioè, da 20 km a 5 km, sia nel caso di tasso di sostituzione effettivo sia nel caso di tasso di sostituzione pari ad 1 per tutti i prodotti analizzati. Si ricorda che vi è comunque una differenza, relativa alla tipologia di mezzo di trasporto adoperato, nella modellizzazione delle due fasi che sono il trasporto del bene nuovo dal punto vendita all'abitazione del primo utente e il trasporto del bene usato dal centro del riuso all'abitazione del secondo utente: nel primo caso la distanza di 5 km è percorsa in auto nel 62% del 33,3% dei casi (PEF); nel secondo caso la distanza di 5 km è percorsa in auto nel 67% dei casi (vi è un'unica alternativa di percorso e non tre, ed il 5% dei casi di trasporto che la PEF prevede effettuati tramite furgone, perché rappresentativi della consegna

Tabella 8. Risultati dell'analisi di *breakeven* su $t_{A,s}$.

n. categorie di impatto con beneficio	T-shirt	Scarpe	Bicchiere	Libro	Computer	TV	Asciugacapelli	Letto	Carrozzina	Bicicletta
16/16	0,95	\	\	\	0,68	0,42	0,84	<1%	0,17	0,54
12/16	0,53	0,77	\	\	0,41	0,18	0,71	<1%	0,08	0,41
8/16	0,33	0,52	\	0,75	0,26	0,11	0,60	<1%	0,06	0,32
$t_{A,s}$ effettivo (da Tabella 3)										
	0,2	0,07	0,2	0,08	1	1	0,57	0,75	0,22	1

tramite corriere, in questo caso sono uniti alla casistica del trasporto con auto per una rappresentazione più realistica).

Si riportano in Tabella 7 i risultati ottenuti per l'intero centro del riuso in termini di variazione percentuale rispetto allo scenario base e, ponendo poi il tasso di sostituzione pari a 1, rispetto ai valori ottenuti con l'analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione.

Complessivamente, si verificherebbe che per valori effettivi del tasso di sostituzione e distanza tra centro del riuso ed abitazione del secondo utente pari al 25% di quella assunta nello scenario base, l'attività del centro del riuso nel 2022 comporterebbe un beneficio ambientale per 10 categorie d'impatto su 16: AO, AP, TU_{NC}, A, ED, EM, ET, EC, CA e CR_M. Si rileva quindi un miglioramento rispetto allo scenario base: la distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente è, infatti, una fase della seconda vita del bene, cioè del bene usato, e, in quanto tale, contribuisce all'impatto aggiuntivo; la riduzione di tale distanza fa quindi sì che l'impatto aggiuntivo diminuisca.

Per tasso di sostituzione pari a 1, globalmente si osserva invece che, in caso di riduzione del 75% della distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente, il beneficio si manterrebbe chiaramente in tutte le categorie d'impatto e, in particolare, se ne verificherebbe un aumento in valore assoluto superiore al 10% per 11 categorie d'impatto su 16.

3.2.3. Sensibilità sul tasso di qualità, sul tasso di prestazione energetica e sul tempo di utilizzo

Nel caso degli apparecchi elettrici ed elettronici (computer, TV e asciugacapelli) sono state svolte anche delle analisi di sensibilità sul tasso di qualità, sul tasso di prestazione energetica e sul tempo di utilizzo di tali beni.

Si è osservato come il dimezzamento della vita media utile comporterebbe un maggior effetto sugli impatti rispetto all'aumento del consumo energetico del bene usato e la combinazione delle due situazioni (diminuzione della vita utile e diminuzione della prestazione energetica) porterebbe alla maggiore diminuzione del

beneficio legato al riuso dei beni elettrici ed elettronici. Considerando, in particolare, un tasso di qualità pari a 0,5 e un tasso di prestazione energetica pari a 0,8, per valori effettivi del tasso di sostituzione si verificherebbero benefici ambientali solo in 2 categorie d'impatto su 16. Per valore del tasso di sostituzione pari a 1 si otterrebbe invece un beneficio ambientale in tutte e 16 le categorie d'impatto, sebbene inferiore al caso dell'analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione, con diminuzioni in valore assoluto del beneficio fino al 53%.

Se, oltre a diminuire il tasso di qualità e il tasso di prestazione energetica, si aumentasse anche il tempo di utilizzo dei beni (aumento del 50% per il computer, aumento del 100% per la TV e aumento del 100% per l'asciugacapelli), ponendosi cioè nel caso peggiore per la valorizzazione del centro del riuso, per valore effettivo del tasso di sostituzione anche in questo caso si otterrebbero benefici in sole 2 categorie d'impatto su 16. Per valore del tasso di sostituzione pari a 1 si otterrebbero, anche in questo caso, benefici ambientali in tutte e 16 le categorie d'impatto, sebbene inferiori al caso dell'analisi di sensibilità sul tasso di sostituzione, con diminuzioni in valore assoluto del beneficio fino al 55%.

3.2.4. Analisi di *breakeven* sul tasso di sostituzione

L'analisi di *breakeven* sul tasso di sostituzione è volta ad individuare quale sia il valore del tasso di sostituzione minimo in corrispondenza e sopra al quale l'impatto netto associato a ciascun prodotto assume segno negativo, cioè la pratica del riuso apporta effettivamente un beneficio. Mentre il tasso di sostituzione varia, gli altri parametri sono tenuti fissi e posti pari al rispettivo valore dello scenario base. Si riportano i risultati dell'analisi di *breakeven* in Tabella 8.

La barra “\” sta ad indicare che anche nel caso migliore ($t_{A,s} = 1$) l'impatto netto assume valore negativo, cioè il riuso comporta un beneficio ambientale, per un numero di categorie d'impatto inferiore a quello indicato nella prima colonna della tabella. Per quanto riguarda in particolare il bicchiere e il libro, si osserva che, anche per tasso di sostituzione massimo possibile

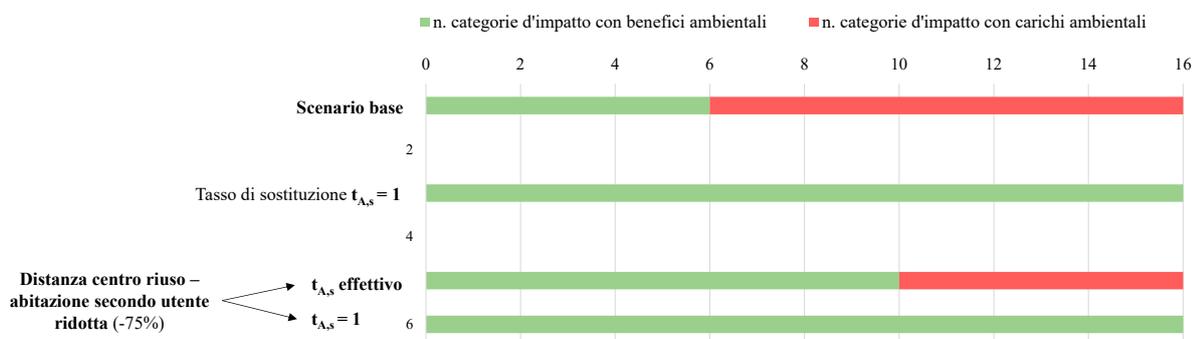


Figura 3. Sintesi dei risultati principali dell'analisi.

(pari ad 1) non si hanno benefici ambientali in neanche il 50% delle categorie d'impatto. Questo risultato non implica, però, una controindicazione al recarsi al centro del riuso ad acquistare tali beni, ma suggerisce di farlo spostandosi a piedi. Considerandone, infatti, le dimensioni ridotte, è ragionevole vagliare l'acquisto a piedi o in bicicletta, annullando così l'impatto associato al trasporto dal centro del riuso all'abitazione del secondo utente: nel caso del libro, in questo modo si avrebbero benefici anche per valori bassi del tasso di sostituzione; nel caso del bicchiere, invece, bisognerebbe anche portarlo a piedi al centro del riuso affinché, per tasso di sostituzione pari a 1, si possano avere benefici in tutte le categorie di impatto. Si osserva, inoltre, che per alcuni prodotti (ad esempio T-shirt, scarpe, computer, bicicletta e asciugacapelli) risultano benefici ambientali solo per tassi di sostituzione elevati; in altri casi (come per TV e carrozzina) risultano benefici ambientali anche in caso di tassi di sostituzione relativamente bassi. Infine, si nota che nel caso del letto il tasso di sostituzione ha un effetto trascurabile sul segno dell'impatto totale ad esso associato: l'impatto netto totale risulta praticamente sempre negativo, fino a valori del tasso di sostituzione anche inferiori all'1%, e questo accade poiché gli impatti associati alla prima vita del bene, come la produzione (impatti evitati) sono significativamente più elevati degli impatti associati alla seconda vita del bene (impatti aggiuntivi).

4. Conclusioni e indicazioni di miglioramento

Il riutilizzo, definito dalla Direttiva 2008/98/CE come "qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti", si colloca tra le misure di prevenzione nel quadro di gestione dei rifiuti. Si pone, quindi, alla base della gerarchia delineata dalla Direttiva ed è fondamentale per rendere possibile la transizione da un modello di economia lineare ad un modello di economia circolare.

Emerge, così, l'importanza del ruolo dei centri del riuso nel prolungare la vita utile dei beni, intercettandoli prima che diventino rifiuti e mettendoli a disposizione di altri utenti. Questo, potenzialmente, può generare benefici a livello ambientale, economico e sociale.

In questo quadro, il punto focale del presente lavoro è stato quello di definire una metodologia di valutazione LCA della pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso, analizzandone le peculiarità e definendo una serie di parametri specifici funzionali all'analisi, quali ad esempio tassi di sostituzione, di qualità, di prestazione energetica. Il tutto è stato applicato al caso di studio del centro del riuso Panta Rei di Vimercate (MB) per esaminare se e in che misura il riutilizzo svolto nel 2022 abbia apportato i benefici ambientali auspicati.

È emerso che il beneficio ambientale associato al riutilizzo di un singolo bene e, di conseguenza, all'intera attività di un centro del riuso non sia scontato, ma dipende da diversi fattori, tra cui i più significativi sono risultati il tasso di sostituzione e la distanza tra il centro del riuso e l'abitazione del secondo utente (Figura 3).

Ciò che infatti è stato rilevato dall'analisi dei risultati relativi allo scenario base è che il riutilizzo dei beni venduti dal centro del riuso Panta Rei di Vimercate nel 2022 ha generato benefici ambientali in sole 5 categorie d'impatto sulle 16 considerate: TU_{NC} , ED, EM, CA e CR_M .

Se, invece, il valore del tasso di sostituzione fosse pari a 1 per tutti i prodotti considerati, l'attività del centro del riuso consentirebbe di avere benefici ambientali in tutte e 16 le categorie d'impatto. In caso di diminuzione della distanza tra centro del riuso e abitazione del secondo utente del 75%, cioè considerando una distanza pari a 5 km invece che pari a 20 km, si otterrebbe un beneficio in 10 categorie d'impatto su 16. Se oltre alla diminuzione di tale distanza si ponesse anche il tasso di sostituzione pari a 1 per tutti i prodotti, l'aumento del beneficio risulterebbe ancora maggiore: si

otterrebbero benefici ambientali in tutte e 16 le categorie d'impatto, con un aumento del beneficio in valore assoluto di oltre il 10% per 11 categorie d'impatto su 16 rispetto allo scenario in cui il tasso di sostituzione è posto pari a 1 ma la distanza è quella assunta nello scenario base.

In conclusione, sono emersi diversi aspetti di rilievo relativi agli effettivi benefici che la pratica del riuso può apportare.

In primo luogo, l'analisi ha evidenziato che il trasporto del bene usato al centro del riuso può generare un impatto ambientale maggiore rispetto al conferimento diretto del bene come rifiuto, dato l'ottimizzato sistema di gestione di questi ultimi. Per mitigare ciò, la scelta predominante di utilizzare auto per il trasporto dovrebbe essere ridotta, a beneficio di mezzi più sostenibili come la bicicletta o le gambe, specialmente per beni di piccole dimensioni. Ridurre le distanze tra centri del riuso e abitazioni degli utenti può ulteriormente limitare l'impatto ambientale. Inoltre, per beni di piccole dimensioni, più frequentemente venduti, l'impatto della seconda vita, che include appunto tale trasporto, può risultare superiore all'impatto della prima vita, laddove la produzione genera un impatto molto limitato. Risulta allora importante promuovere una mentalità del riutilizzo che vada oltre gli oggetti di piccole dimensioni e sia indirizzata a tutte le tipologie di oggetto, in particolare quelli di grandi dimensioni, il cui acquisto, al momento, appare ancora piuttosto limitato seppur il beneficio ambientale sarebbe rilevante, come evidenziato in Tabella 8.

Il tasso di sostituzione, indicatore delle motivazioni di acquisto di beni usati presso il centro del riuso, ha rivelato che talvolta gli acquirenti optano per un acquisto non necessario e, dunque, aggiuntivo, mossi esclusivamente dal prezzo conveniente. Questo comporta un aumento potenziale degli impatti ambientali, evidenziando l'importanza che i consumatori acquistino solo ciò che in alternativa comprerebbero nuovo (tasso di sostituzione pari a 1), per massimizzare i benefici ambientali. Non sono peraltro noti, fino alla data di pubblicazione, altri studi che includano nell'analisi il tasso di sostituzione o un fattore ad esso comparabile: il presente studio, pertanto, risulta il primo tentativo di utilizzo di tale parametro nell'indagine.

Lo studio ha fatto emergere, in generale, il valore del ruolo del consumatore nel contesto del riutilizzo, sottolineando l'importanza di considerare tale aspetto in un'analisi completa del ciclo di vita.

Per riassumere, si può affermare che per migliorare le prestazioni ambientali della pratica del riutilizzo promossa dai centri del riuso, incluso naturalmente quello oggetto del presente studio, sono state identificate due

azioni chiave: incentivare la mobilità sostenibile negli spostamenti da e per i centri del riuso e ridurre le distanze tra centri del riuso e consumatori (il consumatore dovrebbe recarsi al centro del riuso più vicino alla propria abitazione). Inoltre, è opportuno divulgare risultati di studi come questo, opportunamente semplificati per essere meglio comprensibili al grande pubblico, per sensibilizzare i cittadini sugli impatti delle loro azioni.

5. Possibili sviluppi futuri dello studio

Si ricorda, innanzitutto, che i valori del tasso di sostituzione adoperati nel presente studio sono basati su risposte ad un questionario raccolte in un mese specifico (aprile 2023): si suggerisce quindi di estendere il periodo di somministrazione del questionario per una valutazione più completa.

L'adozione dell'approccio EPD non considera benefici e carichi legati al riciclo, così come non tiene conto dei vantaggi associati al recupero energetico, il che potrebbe influire sui risultati. Potrebbe quindi essere condotta un'analisi di sensibilità dedicata per indagare come varierebbero i risultati con l'adozione di altri approcci relativi alla produzione del bene e al fine vita.

Si ricorda inoltre che è stata assunta un'efficienza di selezione del 100%, che può comportare una sottostima degli impatti associati alla fase di fine vita del rifiuto. Si ricorda, però, che tale fase è allocata al ciclo di vita del bene nuovo, i cui impatti sono considerati come impatti evitati nel modello proposto: l'assunzione di un'efficienza di selezione del 100% è, di conseguenza, una scelta cautelativa, in quanto l'eventuale sottostima degli impatti evitati comporterebbe una sottostima dei benefici associati alla pratica del riuso. Inoltre, nell'analisi è emerso, in generale, come la fase di fine vita abbia un contributo trascurabile sugli impatti associati alla prima vita del bene (<1% per la quasi totalità dei beni, <10% per tutti i beni). Si ritiene, quindi, che l'assunzione di efficienza di selezione del 100% abbia un'influenza trascurabile sui risultati dell'analisi.

La modellizzazione di dieci prodotti potrebbe non riflettere pienamente l'elevata variabilità dei beni venduti dal centro del riuso: il modo in cui è calcolato l'impatto per singolo articolo riflette i materiali di cui esso è composto e, dunque, i risultati potrebbero essere differenti se l'articolo rappresentativo modellizzato fosse un altro. Per una valutazione più precisa e robusta dei potenziali benefici associati alla pratica di riutilizzo promossa dal centro del riuso, sarebbe necessario costruire un inventario più esteso e dettagliato delle categorie di prodotto vendute e dei prodotti ad esse appartenenti.

La modellizzazione è stata inoltre eseguita considerando un singolo riutilizzo dei beni usati: mentre questa scelta può essere ragionevole per alcuni prodotti (apparecchi elettrici ed elettronici), per altri (quali bi-

ciclette o libri) potrebbe essere utile esaminare come varierebbero i risultati considerando più riutilizzi dello stesso bene.

Infine, la valutazione effettuata in questo studio si è concentrata sugli impatti ambientali, trascurando benefici sociali ed economici. È però riconosciuto che i centri del riuso rivestono anche un importante ruolo socioeconomico offrendo beni a prezzi accessibili, facilitando l'accesso a chi ha meno risorse, e svolgendo una funzione sociale attraverso la creazione di posti di lavoro e attività di formazione e sensibilizzazione. Studi futuri dovrebbero considerare anche questi aspetti per una valutazione più completa e accurata. Esistono a tale scopo, ad esempio, delle metodologie specifiche che rientrano negli strumenti del *Life Cycle Thinking*: la Valutazione del Costo del Ciclo di Vita (*Life Cycle Costing*, LCC) per la valutazione di tipo economico e la Valutazione del Ciclo di Vita Sociale (*Social Life Cycle Assessment*, SLCA) per la valutazione di tipo sociale.

In generale, si raccomanda lo sviluppo di ricerche future per esplorare in dettaglio tutte le limitazioni del presente studio sopra discusse, così da approfondire la comprensione dei potenziali benefici ambientali, sociali ed economici derivanti dalla pratica del riuso. Si consiglia inoltre di applicare la metodologia e il modello qui proposti a diversi centri del riuso come casi studio per rafforzare la robustezza del modello sviluppato.

Riferimenti bibliografici

- Andreasi Bassi S., Biganzoli F., Ferrara N., Amadei A., Valente A., Sala S., e Ardente F. (2023). Updated characterization and normalization factors for the Environmental Footprint 3.1 method. DOI: 10.2760/798894
- Automobile Club d'Italia – ACI. (2022). Autoritratto 2021 – consistenza parco veicoli – File Excel Circolante_Copert_2021. Disponibile su: <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/autoritratto/autoritratto-2021.html>
- Automobile Club d'Italia – ACI. (2023). Autoritratto 2022 – consistenza parco veicoli – File Excel Circolante_Copert_2022. Disponibile su: <https://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche/autoritratto/autoritratto-2022.html>
- Battisti M., Fabbri G., Luppi P., Merciai S. e Pannone A. (2013). Analisi dell'impatto ambientale del riutilizzo di beni gestiti da un operatore commerciale dell'usato in Italia. Rapporto Nazionale sul Riutilizzo 2013. L'usato che ragiona: 79-95. Disponibile su: <https://cipesalute.org/cedo/allegati/UsatoCheRagiona2013.pdf>
- Bartolozzi I., Rizzi F. e Frey M. (2017). La valutazione degli impatti ambientali dei centri di riuso. Seminario tenuto presso il Politecnico di Milano in data 15/02/2017 in occasione della terza edizione di "Rifiuti e Life Cycle Thinking". Disponibile su: <https://www.aware.polimi.it/wp-content/uploads/2017/03/Bartolozzi.pdf>
- Castellani V., Sala S. e Mirabella N. (2015). Beyond the throwaway society: A life cycle-based assessment of the environmental benefit of reuse. *Integrated environmental assessment and management*, 11(3): 373-382. DOI: 10.1002/ieam.1614
- Castellani V., Hidalgo C. e Gelabert L. (2019). Consumer footprint: basket of products indicator on household goods. EC – JRC (European Commission – Joint Research Centre). Publications Office. DOI: 10.2760/462368
- CE (Commissione Europea). (2008). Direttiva Quadro sui Rifiuti. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Disponibile su: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- CE (Commissione Europea). (2021). Rettifica della raccomandazione (UE) 2021/2279 della Commissione, del 15 dicembre 2021, sull'uso dei metodi dell'impronta ambientale per misurare e comunicare le prestazioni ambientali del ciclo di vita dei prodotti e delle organizzazioni. Disponibile su: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2022.144.01.0001.01.ITA
- CEM Ambiente. (2022). Servizi di igiene urbana. Anno 2022. Vimercate. (Rapporto fornito da CEM Ambiente al comune di Vimercate)
- Cordella M., Wolf O., Chapman A. e Bojczuk K. (2012). Revision of the EU Ecolabel Criteria for Bed Mattresses. EC – JRC (European Commission – Joint Research Centre). Disponibile su: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/contentype/product_group_documents/1581683854/Background_Report.pdf
- Ebli C. (2023). Metodologia proposta per lo sviluppo di un'analisi LCA su un centro di riuso – applicazione al centro di riuso Panta Rei. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano. Disponibile su: <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/211022>
- The International EPD® System. (2021). General Programme Instructions, versione 4.0. Disponibile su: <https://www.datocms-assets.com/37502/1617181375-general-programme-instructions-v-4.pdf>
- Falbo A., Biganzoli L., Forte F., Rigamonti L. e Grosso M. (2015). Il sistema di gestione dei RAEE in Lombardia. Parte I: bilancio di materia. *Ingegneria dell'Ambiente*, 2(2). DOI: 10.14672/ida.v2i2.276

- Falbo A., Biganzoli L., Forte F., Rigamonti L. e Grosso M. (2015). Il sistema di gestione dei RAEE in Lombardia. Parte II: valutazione del ciclo di vita. *Ingegneria dell'Ambiente*, 2(3). DOI: 10.14672/ida.v2i3.277
- Gottfridsson M. e Zhang Y. (2015). Environmental impacts of shoe consumption, Combining product flow analysis with an LCA model for Sweden. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden. Disponibile su: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/218968/218968.pdf>
- Humana People to People. (2020). Bilancio di sostenibilità 2019/2020. Disponibile su: <https://raccoltavestiti.humanaitalia.org/wp-content/uploads/2022/06/00-Bilancio-Sociale-2019-20-web-compressed-5.pdf>
- International Organization for Standardization – ISO (2006a) ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (ISO 14040:2006+ Amd1:2020)
- International Organization for Standardization ISO (2006b) ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines (ISO 14044:2006+Amd1:2017+Amd2:2020)
- Kaza S., Yao L.C., Bhada-Tata P. e Van Woerden F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Disponibile su: <http://hdl.handle.net/10986/30317>
- Kerdlap P., Gheewala S.H. e Ramakrishna S. (2021). To Rent or Not to Rent: A Question of Circular Prams from a Life Cycle Perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 26: 331-342. DOI: 10.1016/j.spc.2020.10.008
- Lucchetti M.C. (2023). I limiti del sistema lineare: da dove nasce l'economia circolare. *Economia Circolare. La sfida del Packaging*, pp. 22-38. Franco Angeli Editore. ISBN: 9788835146582.
- Mani Tese Onlus. (2022). Centro del Riuso Panta Rei. Relazione attività anno 2022. (documento ad uso interno fornito da Mani Tese Onlus)
- Nichilo M.J.E.A. (2023). Quantificazione dei benefici ambientali associati all'attività del centro del riuso "Panta Rei" tramite metodologia LCA. Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano. Disponibile su: <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/215278>
- PRé Sustainability. (2023). SimaPro Tutorial. Disponibile su: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2023/07/SimaPro-Tutorial.pdf>
- Regione Lombardia – DG Ambiente e Clima. Aggiornamento del Programma Regionale di Gestione dei Rifiuti (PRGR). Piano verso l'economia circolare. Relazione di piano. (2022). Disponibile su: https://www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/1c55c743-7f9a-4f49-bab3-e8b0d9b33315/2_PRGR-relazione+di+piano.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-1c55c743-7f9a-4f49-bab3-e8b0d9b33315-o44kQor
- Rigamonti L., Falbo A. e Grosso M. (2013). Improving integrated waste management at the regional level: The case of Lombardia. DOI: 10.1177/0734242X13493957 (in riferimento alla relazione per il progetto GERLA: Analisi LCA del sistema di gestione dei rifiuti urbani della Lombardia: situazione attuale e scenari evolutivi. Rev. 1, Luglio 2012).
- Sala S., Corrado S., Reale F., Castellani V. e Hischier R. (2019). Consumer footprint: basket of products indicators on household appliances. EC – JRC (European Commission – Joint Research Centre). Publications Office. Disponibile su: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/964701>
- Schmidt A., Watson D., Roos S., Askham C., Brunn P. (2016). Gaining benefits from discarded textiles – LCA of different treatment pathways. DOI: 10.6027/TN2016-537
- Talens, Peirò L., Ardente F. e Mathieux F. (2016). Analysis of material efficiency for EU Ecolabel criteria. EC – JRC (European Commission – Joint Research Centre). Publications Office. Disponibile su: <https://data.europa.eu/doi/10.2788/642541>
- Tua C., Cavenago G., Grosso M. e Rigamonti L. (2022). Editoria scolastica e impatti ambientali: analisi del caso Zanichelli tramite la metodologia LCA. DOI: 10.32024/ida.v9i2.403
- UNEP & IRP (United Nations Environment Programme, & International Resource Panel). (2019). Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. A Report of the International Resource Panel. Disponibile su: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27517>
- WWF (World Wide Fund for Nature). (2022). Living Planet Report 2022 – Building a nature positive society. Almond R.E.A., Grooten M., Juffe Bignoli D., Petersen T. (Eds) Disponibile su: https://www.footprintnetwork.org/content/uploads/2022/10/LPR_2022_Full-Report.pdf

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare CEM Ambiente S.p.A. per il sostegno finanziario a questa ricerca, Chiara Ebli per il contributo alla raccolta dei dati attraverso la sua tesi di laurea magistrale e il centro del riuso Panta Rei per aver fornito tutte le informazioni disponibili.

RICARICA ARTIFICIALE DEGLI ACQUIFERI SOTTERRANEI: POSSIBILITÀ E LIMITI

Renato Drusiani¹, Tania Tellini¹, Dario Giardi², Alberto Lasagna³, Barbara La Comba⁴, Claudio Benucci⁴, Carlo Collivignarelli^{5,*}

¹ Utilitalia – settore acqua, Roma

² Confagricoltura Roma, Roma.

³ Confagricoltura Pavia, Pavia.

⁴ Azienda Servizi Ambientali Livorno S.p.A., Livorno.

⁵ Università degli Studi di Brescia, Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e di Matematica, Brescia.

Sommario

In questa nota viene trattato un argomento che, per più di una ragione, è di grande attualità in campo ambientale. L'affermarsi del concetto di economia circolare impone ormai di puntare “concretamente” al pieno riutilizzo delle risorse naturali, tra le quali l'acqua rappresenta un elemento assolutamente primario. A spingere decisamente verso questo obiettivo è il forte sviluppo delle tecniche di depurazione delle acque usate (per le quali è garantito un livello di qualità sempre più elevato) ed il contemporaneo deciso restringimento degli standards di legge richiesti per lo sversamento degli effluenti dei depuratori nei corpi idrici ricettori (ciò che rende sempre più realisticamente conveniente il loro “recupero”).

Utilizzatore primario di risorsa idrica è notoriamente il comparto agricolo e la rete irrigua da tempo è il recapito finale di molti scarichi depurati che vengono così, di fatto, riutilizzati per l'irrigazione dei terreni.

La siccità riscontrata in questi ultimi anni ha poi reso evidente come sia più che mai provvidenziale il contributo delle acque usate in campo agricolo ed ha, anzi, evidenziato un “limite” insito nell'attuale riutilizzo. Tale limite consiste nel fatto che gli scarichi vengono sì comunemente utilizzati in agricoltura, ma solo nella stagione irrigua, la cui durata non è mai superiore ai 4-6 mesi. Diventa allora naturale pensare ad un riutilizzo “completo” (12 mesi all'anno) di una risorsa diventata sempre più preziosa attraverso una forma di stoccaggio/immagazzinamento del contributo dei depuratori nella stagione “non irrigua”. Tra le forme di “messa in riserva” della risorsa idrica ci sono naturalmente i grandi bacini artificiali, che in molte regioni (soprattutto del sud Italia) risultano indispensabili per la fornitura d'acqua, e non solo nel comparto agricolo. In alternativa ai bacini artificiali, la ricarica della falda sotterranea (MAR: managed aquifer recharge) costituisce una soluzione molto interessante. All'interno del materiale supplementare a questa nota, viene presentato il caso della Lomellina (provincia di Pavia), ove l'escursione

della falda superficiale (ben distinta da quella più profonda, cui attingono di regola gli usi potabili) equivale ad un bacino artificiale di parecchie centinaia di milioni di metri cubi.

In questi casi, la ricarica della falda (che, come viene ricordato, si richiama anche alla pratica, invalsa da tempi remoti presso gli agricoltori, di “sommersione invernale” dei terreni) diventa un'opportunità veramente importante per il miglior utilizzo della risorsa idrica.

Naturalmente, così come è richiesto dalle tante normative in vigore e in elaborazione (di cui viene qui data una rassegna) deve essere posta la massima attenzione alla qualità della risorsa utilizzata, in quanto la falda va tutelata nel modo più rigoroso.

In questo senso, il grande progresso conseguito nella gestione dei depuratori incoraggia questa pratica, già peraltro ampiamente utilizzata all'estero.

Parole chiave: *acque reflue, economia circolare, siccità, riutilizzo acque reflue depurate, ricarica della falda sotterranea*

MANAGED AQUIFER RECHARGE: OPPORTUNITY AND BARRIERS

Abstract

In this work, an important current environmental topic is discussed.

Today, the circular economy conception obliges us to organize, in real terms, a complete reuse of an important natural resource such as water.

This objective is supported by the development of wastewater treatment processes, which can produce more and more improved effluents to meet the strict quality law standards.

Agriculture is the main water user: for a long time, irrigation canals are the final destination of many WWTP effluents, which are so utilized in rural lands.

* Per contatti: via Branze 43, 25123 Brescia. Tel 030 3711303, e-mail: carlo.collivignarelli@unibs.it

Ricevuto il 8/6/2024; revisioni richieste il 16/7/2024; accettazione finale il 22/7/2024

The last years' drought pointed out how important wastewater contribution in primary sector irrigation is. But the actual is an "incomplete reuse" of purified wastewater: in fact, the WWTP effluents come to agriculture only in the irrigation period (which lasts only four/six months in a year). So, it is natural to conceive a wastewater "complete reuse" (that is: 12 months in a year), by means of an effluent WWTP storage in the "no-irrigation period".

Between storage forms of water resource, the big artificial reservoirs (to keep rainwater mainly) are important, first of all in southern Italy, for many utilizations.

As a simple and no expensive alternative to artificial reservoirs, the managed aquifer recharge (MAR) is an interesting solution.

The Annex of this work presents the case of Lomellina (a flat region in Pavia province, northern Italy), where

the annual excursion of levels in the surface aquifer is equivalent to an artificial reservoir of many hundreds million cubic meters.

In these cases, MAR, which derives from an ancient rural activity – "the winter land submergence" – , represents a very important opportunity for the best water resource utilization.

Of course, many environmental policies require the highest attention to quality level of reused wastewater, because the aquifer has to be protected to the best.

Moreover, the important recent development in WWTP technical management in Italy promotes this practice, which is largely used in many countries.

Keywords: *wastewater, circular economy, drought, reuse of WWTP effluents, managed aquifer recharge.*

1. Introduzione

Le acque sotterranee rappresentano una risorsa rinnovabile di fondamentale importanza, che sostiene la vita e supporta lo sviluppo economico-sociale. La caratteristica di rinnovabilità è legata ai meccanismi del ciclo idrologico, innescato dalla radiazione solare, che alimenta la circolazione dell'acqua all'interno dell'idrosfera terrestre; acqua che ritroviamo poi accumulata negli acquiferi nel sottosuolo. I sistemi di ricarica artificiale o controllata delle falde acquifere rappresentano un sistema per accrescere la disponibilità di tale risorsa, aspetto questo particolarmente rilevante alla luce anche del crescente divario fra consumi idrici e disponibilità di risorsa.

2. Ruolo e rilevanza delle acque sotterranee nell'approvvigionamento idrico

A livello globale la più consistente riserva rinnovabile di acqua dolce è rappresentata dalle acque sotterranee ed è stimata in 10,6 milioni di chilometri cubi (UNESCO 2022); il prelievo da questa riserva si è attestato nell'anno 2017 a 959 chilometri cubi, con l'Asia nelle vesti di maggiore utilizzatore (64,5%), seguita da America settentrionale (15,5%) ed Europa (7,1%).

Con riferimento all'Italia, nel quinquennio 2015-2019 il volume medio annuo di acqua prelevata per i principali comparti d'uso (civile, irriguo, industriale) è risultato pari a 30,4 miliardi di metri cubi. Tale volume è destinato per il 56% all'irrigazione, che si conferma il comparto più idroesigente, seguito dal 31% dell'uso civile e per il 13% dal settore industria-

le (Blue Book, 2024). Per quanto riguarda specificamente gli usi idropotabili le acque sotterranee rappresentano la risorsa maggiormente utilizzata anche perché non richiedono, in linea di massima, trattamenti di potabilizzazione spinti, in ragione della loro minor vulnerabilità rispetto alle acque superficiali. In sintesi, tale quadro è rappresentato nelle Figure 1 e 2.

L'Italia si colloca al quinto posto tra i Paesi UE per gli apporti meteorici, presentando nel periodo 1991-2020 un valore medio annuo di circa 285 miliardi di metri cubi che corrispondono a 943 mm di pioggia l'anno. La Figura 3 illustra la destinazione di tale apporto che, per un quinto dell'afflusso complessivo, si infila nel sottosuolo accrescendo così una riserva che, se adeguatamente impiegata, permette di attenuare gli effetti stagionali di variazione della domanda.

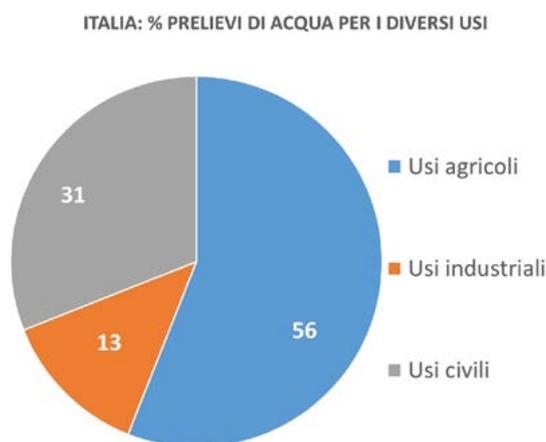


Figura 1. Prelievi di acqua per i diversi usi (Blue Book, 2024)

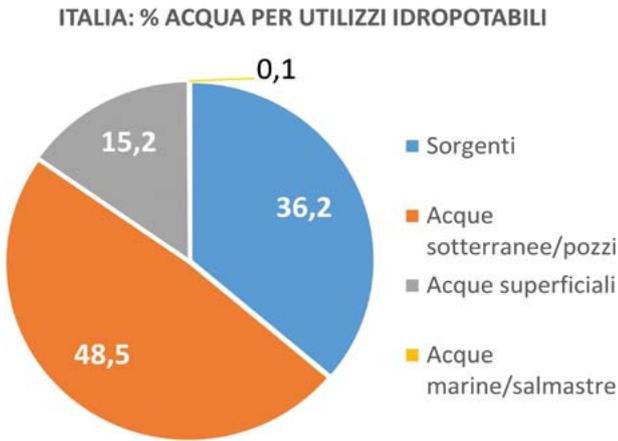


Figura 2. Fonti di approvvigionamento per usi potabili (ISTAT, 2022)

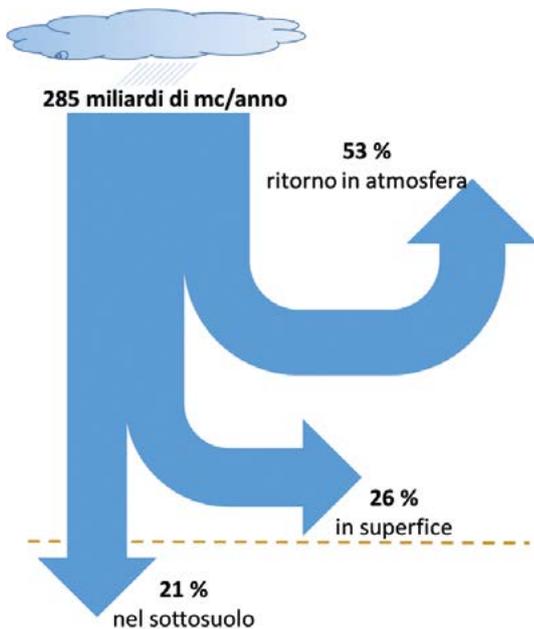


Figura 3. Acque meteoriche in Italia: destinazione finale

3. Aspetti critici riguardanti la gestione delle acque sotterranee

Se, come visto in precedenza, le acque sotterranee rappresentano per il territorio italiano la risorsa più importante e di più facile accesso per avere acqua dolce, la sua disponibilità può essere condizionata da aspetti legati alla sua qualità. Elevati livelli di urbanizzazione e industrializzazione, compresa anche l'ampia diffusione di pratiche agricole intensive e di allevamento, comportano rischi di contaminazione, specie laddove le politiche di tutela del territorio non trovino adeguata applicazione. Del resto, come ricordano analisi all'uopo condotte sui SIN (siti di interesse nazionale), la percentuale di aree con procedura di bonifica conclusa riguardante la matrice relativa alle acque sotterranee è tuttora molto bassa (Sottani e Alii, 2021). L'aumentata consapevolezza della presenza, al-

meno in certe aree, di contaminanti legati all'attività umana/industriale, persistenti e di difficile abbattimento come i PFAS o metaboliti legati al consumo di alcuni farmaci, non hanno fatto altro che accrescere la sensibilità riguardo a queste tematiche.

Tutto questo richiede una seria disciplina sui controlli e sulle pratiche di impiego della risorsa idrica sotterranea per gli operatori del settore e per le autorità sanitarie/ambientali preposte. In presenza poi di una contaminazione, qualora ci si orienti per un intervento riparativo, il danno ambientale nell'area di impatto e in quella limitrofa potrebbe perdurare lungamente, per via del lento ricambio dei volumi idrici interessati, con tempi che possono anche ammontare a decine se non a centinaia di anni (Freeze, 1979).

Non a caso, come si vedrà successivamente, l'evoluzione della legislazione Europea e Nazionale, si muove proprio all'interno di questi due limiti: garantire da un lato la possibilità di fruizione della risorsa sotterranea e dall'altro tutelare l'integrità quali-quantitativa della risorsa. Per intervenire poi sui molteplici processi collegati alla gestione della falda sotterranea, preservando anche la sua funzione ecosistemica, occorre interagire costruttivamente con altri ambiti (agroalimentare, ecologico/faunistico, tutela del territorio, ...) e per questo occorre disporre di una mappatura utile a definire il modello idrogeologico. Già diverse iniziative, orientate ad elevare il livello di conoscenza degli acquiferi sotterranei, sono state avviate; con tecnologie quali Airborne Electromagnetic Method che, previo sorvolo delle aree interessate, consentono una precisa mappatura del sottosuolo (Montagnoli 2023) rappresentano la base informativa essenziale per la messa a punto di piani per la tutela e l'utilizzo responsabile della risorsa idrica.

Un fattore negativo che incide sulla tutela quali-quantitativa degli acquiferi sotterranei è l'elevato livello di impermeabilizzazione (o soil-sealing) del suolo, condizione questa che, in occasione di forti piogge, riduce la quantità di acqua che riesce a pervenire in falda alimentando al tempo stesso uno scorrimento superficiale incontrollato, con allagamenti/alluvioni, sul territorio interessato. Nel nostro Paese l'impermeabilizzazione del suolo è in continua crescita e supera oramai 21 ettari al giorno (ISPRA 2023); esso è presente soprattutto in gran parte delle aree urbane ed in quelle a vocazione industriale come si può ricavare dalla Figura 4 (a pagina seguente).

4. Ricarica controllata della falda

In relazione al fatto che le acque superficiali risentono direttamente della scarsità di precipitazioni, gli acquiferi sotterranei rappresentano una risorsa importante per fronteggiare carenze idriche durante i perio-

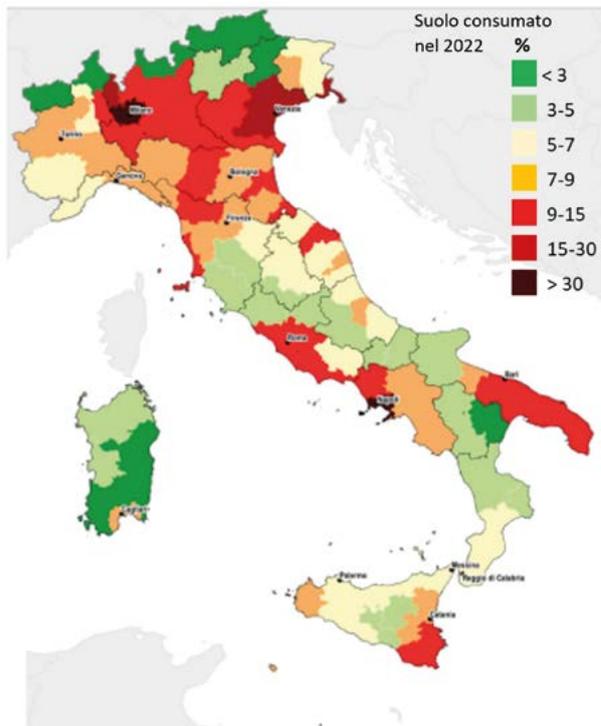


Figura 4. Consumo di suolo nell’anno 2022 a livello provinciale (adattato da ISPRA, 2023)

di siccitosi. Il ricorso allora a processi di ricarica intenzionale e controllata di un acquifero, detti anche MAR (da Managed Aquifer Recharge), attraverso i quali è possibile incrementare i volumi di acqua ordinariamente immagazzinabili nel sottosuolo, può fornire un valido e stabile contributo per superare fasi critiche dovute ad aumentata domanda idrica e/o carente infiltrazione dalla superficie.

Questo tipo di intervento rientra fra le c.d. misure di adattamento, in quanto è in grado di mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici sul ciclo idrologico; i potenziali impieghi/benefici delle acque così “ricaricate” possono consentire un insieme di “servizi ecosistemi-

ci”, alcuni dei quali ad elevato valore aggiunto, che arrivano a comprendere (Rossetto, 2019):

- incremento delle riserve di acqua per scopi idropotabili, irrigui, industriali;
- contrasto dei deficit di bilancio idrico dovuti ad elevati consumi antropici;
- controllo dei fenomeni di subsidenza;
- contenimento dei fenomeni di intrusione salina;
- riduzione delle acque di scorrimento in condizioni di pioggia e riduzione degli allagamenti;
- conservazione della biodiversità degli agro-ecosistemi e delle zone umide.

Rispetto poi agli accumuli di acqua “tradizionali”, i sistemi MAR si contraddistinguono per una limitata occupazione di suolo, l’assenza di perdite per evaporazione, l’impossibilità di deterioramento della qualità causata da sviluppo algale e infine una spiccata flessibilità ed applicabilità nei confronti delle diverse scale dimensionali e per differenti obiettivi.

Per evitare rischi di contaminazione o di clogging (intasamenti) a causa dell’immissione di acque non adeguatamente controllate/trattate (Bekele, 2018), vanno previste apposite filiere di trattamento (Figura 5).

Questi sistemi, malgrado una certa apparente semplicità, non sono comunque generalizzabili: in molte aree potrebbero non esserci falde acquifere idonee a consentire uno stoccaggio sufficiente garantendo al tempo stesso una adeguata tutela dall’ambiente circostante; questo avviene, in particolare (Page, 2018), allorché:

- la falda acquifera non è confinata ed è molto superficiale: in queste aree i sistemi MAR potrebbero potenzialmente portare ad inondazioni localizzate;
- la falda acquifera è poco potente e/o l’acquifero è costituito da materiale non consolidato a grana fine: in queste realtà non si raggiungono elevati volumi di stoccaggio oltre a correre forti rischi di intasamento;
- l’acquifero è rappresentato da roccia carsica o fratturata;

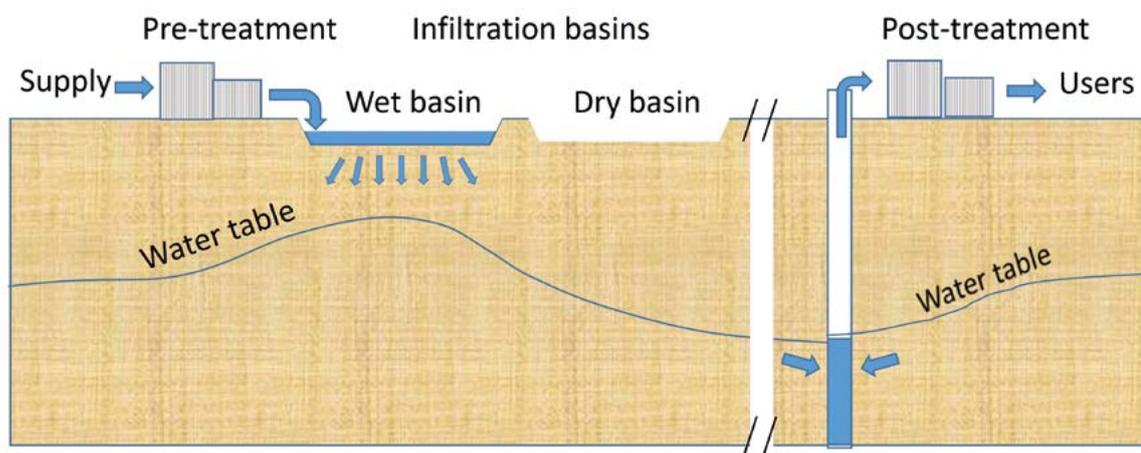


Figura 5. Ricarica controllata della falda per mezzo di bacini di infiltrazione (adattato da IAH, 2022)

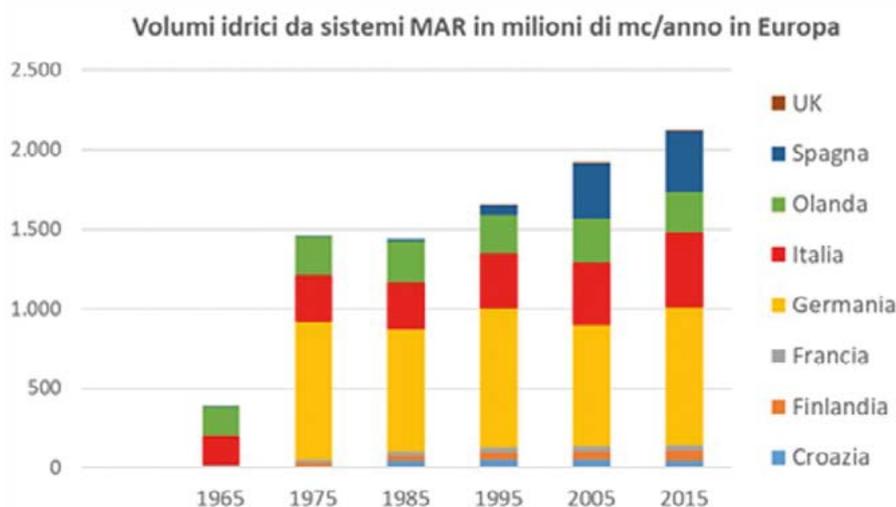


Figura 6. Installazioni MAR operative in diversi Paesi Europei (elaborazione da Dillon, 2019)

- il sito è confinante con strati contenenti acqua di scarsa qualità: il risultato della miscelazione darebbe luogo ad acqua non idonea agli scopi previsti.

I sistemi MAR sono assai diffusi all'estero. In termini assoluti, Cina, India e USA sono fra i principali utilizzatori; per quanto riguarda l'Europa, la Figura 6 evidenzia il loro crescente impiego, soprattutto per gli usi irrigui o di riassetto idrico-ambientale del territorio (Dillon, 2019).

Dell'aumentata disponibilità idrica dovuta a tali sistemi beneficiano soprattutto il comparto irriguo e il riequilibrio ambientale; in alcune realtà (come Germania e Australia) è previsto anche un impiego idropotabile (Interreg Project, 2020).

5. Sistemi MAR operanti in Italia

Già da tempo nel nostro Paese la ricarica delle falde viene ottenuta soprattutto con l'allagamento di aree predisposte a tale scopo, in particolare con l'infiltrazione attraverso bacini o trincee drenanti. Negli ultimi anni sono stati realizzati diversi impianti pilota grazie anche a finanziamenti comunitari nell'ambito dei programmi LIFE (Rossetto, 2019). L'interesse verso queste tecnologie è in questo momento presente da parte del mondo delle utilities idriche e, soprattutto, da parte del comparto agricolo, come si può evidenziare nel BOX 1 relativo all'impegno di Confagricoltura su questo tema.

Diverse possibili applicazioni dei sistemi MAR, come quelli per contrastare il cuneo salino in area costiera, pur se potenzialmente rilevanti per l'Italia (ANSA 2023; EEA 2022; ISPRA, 2014), non sono oggetto di questa nota, in quanto mancano significative esperienze operative nel nostro Paese.

Nel **materiale supplementare** disponibile sono riportate sinteticamente le esperienze sviluppate nell'a-

rea della Val di Cornia (Livorno) e nel distretto risicolo della Lomellina (Pavia), comprensive dei relativi aspetti realizzativi e gestionali.

6. Quadro normativo Nazionale e Comunitario

Da sempre il contributo delle acque sotterranee è stato fondamentale per soddisfare le esigenze primarie della popolazione, nonché le attività produttive, fra cui spicca in particolare l'agricoltura.

Uno dei primi provvedimenti legislativi organici sul tema in Italia, è il Testo Unico sulle acque e gli impianti elettrici che fa capo al Regio Decreto 11/12/1933 n. 1775, ancora in gran parte operante malgrado il tempo trascorso. Il Titolo II del Decreto è interamente dedicato alle acque sotterranee ed affronta svariati argomenti: dalle domande di concessione, ai controlli a cura dell'allora preposto Genio Civile. Tali controlli non si limitano alle opere idrauliche, ma riguardano anche gli impatti ambientali conseguenti allo sfruttamento della falda acquifera come la subsidenza, l'intrusione salina e ogni altra forma di inquinamento o pregiudizio al regime delle acque pubbliche.

A livello europeo, la prima direttiva sulla protezione delle acque sotterranee risale agli anni '80 tratta della Direttiva 80/68/CE, norma successivamente abrogata. Per arrivare ad un quadro europeo più ampio sulle acque sotterranee occorre arrivare al 2000, con la Direttiva 2000/60/CE (Water Framework Directive): in essa, per la prima volta, si afferma che le acque sotterranee vanno protette anche per il loro valore ambientale. Segue poi la Direttiva Acque Sotterranee (2006/118/CE) che verte sulla valutazione dello stato chimico delle acque sotterranee, allo scopo di stimare gli impatti antropici e le criticità delle sostanze chimiche coinvolte.

BOX 1

Coltivare l'acqua: la ricarica delle falde come strumento di adattamento ai cambiamenti climatici*di Dario Giardi Responsabile sostenibilità ed economia circolare Confagricoltura*

Alluvioni, siccità, cuneo salino, impoverimento dei suoli, sono fenomeni interconnessi che si acutizzano e influenzano a vicenda e che minano l'agricoltura, al punto da farne il settore più esposto agli effetti dei cambiamenti climatici.

Non c'è un evento più impattante dell'altro, anzi il problema più rilevante è proprio l'interconnessione di tali fenomeni.

Un terreno inaridito a causa di prolungata siccità non è più in grado di assorbire l'acqua come dovrebbe perché il suolo è talmente disidratato da formare una crosta quasi impermeabile nei confronti delle piogge abbondanti. Questa è una delle cause, oggi sempre più frequenti, del fenomeno del ruscellamento.

La mancanza di infiltrazione d'acqua nel terreno contribuisce, insieme all'innalzamento del livello dei mari, al fenomeno del cuneo salino. La risalita dell'acqua del mare negli acquiferi costieri è diventato un fenomeno preoccupante, se si pensa che in alcune aree del Paese ha raggiunto i 40 chilometri verso l'interno. Lungo tutto il corso del fiume Po interessato al fenomeno, non è stato possibile irrigare (e nemmeno utilizzare l'acqua a fini potabili), con danni economici e ambientali elevatissimi, tanto da portare per alcune aziende alla perdita totale del prodotto coltivato. Fermo restando che dovremmo innanzitutto cercare di aumentare la nostra attuale capacità di captazione delle precipitazioni, dal momento che su questo fronte siamo molto al di sotto della media europea (solo l'11% dell'acqua piovana viene trattenuta), è indubbio che la ricarica delle

falde in condizioni controllate costituisca una promettente soluzione al problema; rispetto alle acque superficiali, infatti, quelle sotterranee impiegano molto più tempo a risentire della siccità e possono costituire riserve da utilizzare nei momenti di maggiore stress idrico. Oltre a garantire preziose riserve, la ricarica delle falde, può costituire inoltre uno straordinario aiuto per contrastare il fenomeno del cuneo salino. Altri aspetti positivi sono rappresentati, poi, dalla immediatezza degli interventi che un progetto di gestione della falda freatica comporta rispetto alla costruzione di nuovi invasi artificiali, che richiedono tempi ben più lunghi (senza parlare dei costi). Esistono diversi metodi per ricaricare artificialmente le falde acquifere. Accanto ai fiumi si possono realizzare bacini con fondo molto permeabile, così come pozzi di ravenamento o, ancora, si possono utilizzare le acque reflue opportunamente depurate. La siccità, il dissesto idrogeologico, il cuneo salino così come tutti gli altri effetti dei cambiamenti climatici, necessitano di risposte programmatiche in grado di introdurre misure stabili, fatte da interventi multifunzionali e integrati. Allo scopo, a provvedimenti e misure di emergenza, andrebbero affiancati piani di intervento di lungo periodo, per avviare una stabilizzazione su tali fenomeni climatici. Tali piani dovrebbero prendere in considerazione le nature-based solutions, cioè le soluzioni che la natura stessa può offrirci: in questo ambito, le foreste possono dare un contributo strategico, specialmente riguardo al dissesto idrogeologico e alla fitodepurazione.

Le due citate Direttive 2000/60/CE e 2006/118/CE (modificata poi dalla Direttiva 2014/80/UE), unitamente alla Comunicazione della Commissione COM (2000) 477 del 26.07.2000 sulle politiche di tariffazione per una gestione più sostenibile delle risorse idriche, rappresentano i punti di riferimento Comunitari per la gestione e la protezione delle risorse idriche sotterranee. Queste indicazioni Comunitarie verranno recepite nel nostro ordinamento dal Decreto Legislativo 152/2006 (Testo Unico sull'Ambiente o TUA) e dal Decreto Legislativo 30/2009 (protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento). Sul D.Lgs 152/2006 si ricorda un aspetto che assumerà particolare rilevanza per il tema della ricarica controllata delle falde: è l'art. 104, che al comma 1 stabilisce: "È vietato lo scarico diretto nelle acque sotterranee e nel sottosuolo"; un approccio alquanto "tranchant" anche alla luce delle poche/limitate eccezioni ammesse. Questo anche in ragione del fatto che la norma comunitaria originale parla specificatamente di "divieto di scarico diretto di inquinanti nelle acque sotterranee", una formulazione assai meno restrittiva del provvedimento italiano di recepimento. Ma questo non deve particolarmente sorprendere, in quanto risponde ad una prassi

adottata molto frequentemente da parte del legislatore nazionale.

Seppure indirettamente collegate, vanno poi citate le norme del Titolo V dello stesso D.Lgs. relative alla bonifica dei siti contaminati che interessano anche le falde acquifere nell'area oggetto di bonifica, nonché gli aspetti riguardanti la valorizzazione economica relativa ai costi ambientali e della risorsa richiamati all'art. 154 del TUA ed esplicitato dal DM 24/2/2015, n. 39 "Regolamento recante i criteri per la definizione del costo ambientale e del costo della risorsa per i vari settori d'impiego dell'acqua" pubblicato sulla GU del 8 aprile 2015, n. 81. Proprio alla fine del 2015, con Legge 28/12/2015, n. 221, venivano poi emanate disposizioni per promuovere, specie per il comparto agricolo e agroforestale, misure di green economy; in particolare all'art.70 è stata prevista la delega al Governo per introdurre sistemi di remunerazione dei servizi ecosistemici e ambientali.

L'art. 104 comma 4bis del TUA prevedeva l'emana-zione di un apposito decreto riguardante la ricarica artificiale della falda. Esso è stato emanato una decina di anni dopo: si tratta del DM del 13/6/2016, n. 100 pubblicato sulla GU del 3 giugno 2016, n. 136. Esso stabilisce i criteri per il rilascio dell'autorizzazione al

ravvenamento o all'accrescimento artificiale dei corpi idrici sotterranei e rappresenta il riferimento, anche ai sensi dell'analisi di VIA (valutazione d'impatto ambientale), delle più recenti realizzazioni. Riguardo poi alla qualità delle acque utilizzabili a questo fine, si fa riferimento ai corpi idrici superficiali classificati in buono stato chimico sulla base di quanto precisato nello stesso DM: ciò rappresenta un evidente limite riguardo alla possibilità di reimpiego fruttuoso delle acque di riuso, pur se rispondenti al Regolamento UE 2020/741 del 25 maggio 2020 recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua, prescrizioni in precedenza riguardanti il solo uso irriguo nel DM 185/2003.

Con Decreto 26/1/2023 n. 45 del MASE (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) sono state poi introdotte procedure semplificate per l'attuazione degli interventi di bonifica; il decreto è stato pubblicato sulla GU del 26/4/2023, n. 97.

La Legge n. 68/23 del 13 giugno 2023 varata a seguito delle ripetute stagioni siccitose, fra i molteplici temi indica anche la gestione della falda acquifera. Un aspetto interessante ai fini della presente nota è l'articolo 3, comma 3, lettera g, il quale indica, fra i diversi compiti del Commissario Straordinario, che esso: "effettua una ricognizione dei corpi idrici sotterranei potenzialmente idonei a ricevere interventi per il ravvenamento o l'accrescimento artificiale della falda".

È solo da questa norma che l'atteggiamento del legislatore nei confronti dei processi di accrescimento artificiale della falda acquifera pare cominci ad assumere una positiva disposizione.

A completamento del quadro legislativo va aggiunto il quadro regolatorio ARERA, che si applica alla definizione e alla inclusione negli strumenti tariffari per la remunerazione dei servizi ecosistemici e ambientali connessi ai c.d. costi ambientali e della risorsa richiamati dal TUA.

Già la Legge 5/1/1994, n. 36 (legge Galli) all'art. 24 riconosceva in tariffa i contributi alle Comunità Montane per la tutela ed il recupero delle risorse ambientali delle aree di salvaguardia. In ogni caso tale componente tariffaria è prevista dal Metodo tariffario avviato da ARERA, sin dal primo periodo regolatorio MTI-1 (Deliberazione 662/2014/R/IDR).

Le sopraindicate norme sono state poi nel tempo accompagnate da una giurisprudenza di settore, sinteticamente riportata nel BOX 2. Dalla analisi di questi pronunciamenti, emerge come i giudici amministrativi e penali siano stati particolarmente "rigidi" nell'interpretazione del divieto di scarico nel sottosuolo nonché, per "mera affinità idraulica", sullo stesso suolo (di cui all'art.104 del TUA): viene confermato così, in attesa di nuovi pronunciamen-

ti, quanto si poteva ricavare dalla lettura congiunta del D.Lgs 152/2006 e della Direttiva comunitaria 2000/60.

7. Valutazioni conclusive

Da sempre le acque sotterranee hanno rappresentato una risorsa fondamentale per l'uomo, in quanto la sua disponibilità prescinde, entro certi limiti, da apporti meteorici scarsi e occasionali. Ecco allora che in presenza di condizioni di scarsità idrica, quale che ne sia la causa, tutto quello che contribuisce ad aumentare la disponibilità di risorsa sotterranea, come la ricarica controllata della falda (in aggiunta alla ricarica naturale), va nella giusta direzione. Le ricorrenti crisi idriche che hanno colpito il nostro Paese (e non solo) negli ultimi anni mostrano che questa è una strada da percorrere per fare fronte alle crescenti esigenze degli usi agricoli e civili; essa, inoltre, è in grado di fornire una serie di altri benefici socioeconomici e ambientali che qui solo in parte sono stati accennati. Il crescente ricorso alla ricarica controllata in molti Paesi parte proprio da questi assunti. Al di là degli indubbi vantaggi, sussistono tuttavia possibili rischi di natura ambientale, tali da richiedere cautela ed elevata professionalità da parte degli operatori interessati. Non a caso, nel tempo si è sviluppata una cornice normativa complessa e fortemente cautelativa, una cornice, tuttavia, che richiede un aggiornamento, come in parte sta già avvenendo, anche se non con la speditezza che la presente situazione richiederebbe.

BOX 2

Giurisprudenza nazionale relativa, direttamente o indirettamente, alla gestione della falda acquifera

T.A.R. Piemonte Torino, Sez. I, 18/11/2019, n. 1153 – Chiarisce le definizioni di suolo e strati superficiali del sottosuolo agli effetti della possibilità di effettuare scarichi senza creare nocumento alla tutela della falda acquifera.

T.A.R. Veneto Venezia, Sez. III, 22/06/2018, n. 679 – Interviene sulla definizione di sfioratore (o by-pass) e sui relativi criteri di funzionamento in relazione alla tutela falda sotterranea.

Cass. pen., Sez. III, 20/03/2013, n. 40761 – Chiarisce la deroga al divieto di scarico di cui all'art. 103, D.Lgs. n. 152/2006 in presenza di impossibilità tecnica o eccessiva onerosità che deve risultare in modo certo e la prova incombe a chi la invoca.

Cass. pen., Sez. III, 11/03/2009, n. 17862 – Ribadisce il divieto di scarichi nel suolo e nel sottosuolo ricordando la tassatività delle condizioni di deroga ammissibile, fra le quali sono previste quelle di cui all'art. 103, lett. c.

Cons. di Stato Sez. IV, 12 marzo 2024, n. 2395 – Lo sfruttamento del corso d'acqua, a fini di bonifica ed irrigazione, non comporta l'attrazione della competenza sulla manutenzione del corpo idrico stesso. Tale manutenzione comprende anche le opere strettamente idrauliche e spetta alla Regione e non ai Consorzi.

Riferimenti bibliografici

- ANSA (2023) Dopo 7 mesi addio acqua salata da rubinetti ad Andora ANSA 2 febbraio 2023 https://www.ansa.it/liguria/notizie/2023/02/01/dopo-sette-mesi-addio-acqua-salata-da-rubinetti-ad-andora_65a6eeaf-80e2-4f92-b539-ad49de8adf0f.html
- Bekele E, Page D, Vanderzalm J, Kaksonen A, Gonzalez D. (2018) Water Recycling via Aquifers for Sustainable Urban Water Quality Management: Current Status, Challenges and Opportunities. *Water*. 2018; 10(4):457. <https://doi.org/10.3390/w10040457>
- BlueBook (2024) BlueBook. Fondazione Utilitatis <https://www.utilitatis.org/my-product/blue-book-2024/>
- Dillon, P., Stuyfzand, P., Grischek, T. et al. (2019). Sixty years of global progress in managed aquifer recharge. *Hydrogeol J* 27, 1–30. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1841-z>
- EEA (2022) Global and European sea level rise, EEA Published 16 Dec 2022
- Freeze RA e Cherry JA (1979) *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 604 pp
- IAH (2022) *Managed Aquifer Recharge: Overview and Governance* International Association of Hydrogeologists (IAH)
- Interreg Project (2020) *Good Practice and Benchmark Analysis of MAR Managed Aquifer Recharge Webinar* 23/9/2020
- ISPRA (2014) *Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia Vol. 92/2014*
- ISPRA (2023) *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Roma. www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2023/10/Rapporto_consumo_di_suolo_2023.pdf
- ISTAT (2019) *Utilizzo e qualità della risorsa idrica in Italia*. Roma. www.istat.it/it/files/2019/10/Utilizzo-e-qualit%C3%A0-della-risorsa-idrica-in-Italia.pdf
- ISTAT (2022) *Le statistiche dell'ISTAT sull'acqua*, 21 marzo 2022 <https://www.istat.it/it/files/2022/03/REPORTACQUA2022.pdf>
- Montagnoli T. (2023) *Cambiare la Gestione e l'Utilizzo dell'Acqua per Adattarsi al Cambiamento Climatico*. *L'Astrolabio*, 31-10-2023 <https://astrolabio.amicidellaterra.it/node/3078>
- Page D, Bekele E, Vanderzalm J, Sidhu J. (2018) *Managed Aquifer Recharge (MAR) in Sustainable Urban Water Management*. *Water* 10(3): 239. <https://doi.org/10.3390/w10030239>
- Rossetto R. e Bonari E. (2014) *Il futuro della ricarica delle falde in condizioni controllate in Italia: il progetto europeo FPVII MARSOL e la EIP on Water MAR to MARKET Acque Sotterranee* – *Italian Journal of Groundwater* (2014) – AS10047: 009 – 012.
- Rossetto R. e Bonari E. (2019) *I sistemi di ricarica della falda in condizioni controllate per l'approvvigionamento idrico nel bacino del Mediterraneo*. Firenze – 14 Maggio 2019.
- Sottani A., Merlin A., Cerutti P. (2021) *La rinnovabilità della risorsa idrica sotterranea negli interventi di disinquinamento: presupposti giuridici ed implicazioni tecniche di sostenibilità ambientale* *Acque Sotterranee* – *Italian Journal of Groundwater*, AS39-540: 47 – 54.
- UNESCO (2022) *Groundwater: making the invisible visible; facts and figures. The United Nations World Water Development Report 2022* <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>

Materiale supplementare è disponibile gratuitamente all'indirizzo www.ingegneriadellambiente.net



MERCATI DEL CARBONIO DELL'ARTICOLO 6 DELL'ACCORDO DI PARIGI E MERCATI VOLONTARI: SIMILITUDINI, DIFFERENZE E INTERAZIONI

Federica Dossi^{1,*}

¹ Wageningen University, Department of Social Sciences, Environmental Economics and Natural Resources Group, Wageningen.

Sommario

L'articolo esamina l'importanza e il funzionamento dei mercati del carbonio per la riduzione delle emissioni di gas serra, concentrandosi sui mercati regolamentati dall'Accordo di Parigi e su quelli volontari (voluntary carbon markets - VCMs). Vengono analizzate le caratteristiche, le somiglianze, le differenze e le dinamiche che li mettono in relazione. Si presenta lo stato attuale dei mercati regolamentati sotto l'Articolo 6 dell'Accordo di Parigi, con un focus sugli accordi bilaterali dell'Articolo 6.2 e il meccanismo centralizzato dell'Articolo 6.4. L'articolo illustra poi la struttura e il funzionamento dei VCMs, ponendo particolare attenzione alle problematiche di credibilità, trasparenza e conflitti di interesse emerse negli ultimi anni. Viene effettuata un'analisi dei trend recenti e delle possibili conseguenze delle nuove linee guida della Science Based Targets Initiative (SBTi). In questo contesto, si approfondisce come i VCMs possano essere influenzati dai mercati regolamentati. Data l'analisi, l'articolo giunge a diverse conclusioni su come le interazioni tra VCM e mercati dell'Articolo 6 possano aiutare i primi a superare l'attuale crisi di credibilità: innanzitutto va superata l'attuale logica della compensazione delle emissioni, concependo i crediti prodotti dai VCM come contributi volontari e aggiuntivi utili a guadagnare tempo verso una reale riduzione delle emissioni; in secondo luogo viene sottolineato come per aver un effetto positivo sui VCM, le decisioni dell'Articolo 6 devono essere prese con attenzione e riguardo, imparando dagli errori di quest'ultimi, garantendo una maggiore integrità e fornendo un esempio utile ai VCM per recuperare la fiducia di investitori e parti interessate.

Parole chiave: *mercati volontari del carbonio, Articolo 6, obiettivi aziendali per la neutralità climatica, compensazione, integrità ambientale*

CARBON MARKETS OF THE PARIS AGREEMENT AND VOLUNTARY MARKETS: SIMILARITIES, DIFFERENCES, AND INTERACTIONS

Abstract

The article examines the importance and functioning of carbon markets for reducing greenhouse gas emissions, focusing on markets regulated under Article 6 of the Paris Agreement and voluntary carbon markets (VCMs). It analyzes the characteristics, similarities, differences, and dynamics that relate to them. The current state of regulated markets under Article 6 of the Paris Agreement is presented, focusing on bilateral agreements under Article 6.2 and the centralized mechanism under Article 6.4. The article then illustrates the structure and functioning of VCMs, paying particular attention to issues of credibility, transparency, and conflicts of interest that have emerged in recent years. An analysis of recent trends and the possible consequences of the new guidelines from the Science Based Targets Initiative (SBTi) is conducted. In this context, it delves into how VCMs might be influenced by regulated markets. Based on the analysis, the article arrives at several conclusions on how interactions between VCMs and Article 6 markets could help the former overcome the current credibility crisis: first, it is essential to move beyond the current logic of emissions offsetting, conceiving the credits produced by VCMs as voluntary and additional contributions useful for gaining time towards a real reduction in emissions. Secondly, it emphasizes that to have a positive effect on VCMs, Article 6 decisions must be made with care and consideration, learning from the latter's mistakes, ensuring greater integrity, and providing a useful example for VCMs to regain the trust of investors and stakeholders.

Keywords: *voluntary carbon markets, Article 6, corporate net-zero targets, offset, environmental integrity*

* Per contatti: Hollandseweg, 6706 KN Wageningen, Paesi Bassi. federicadossi.98@gmail.com

Ricevuto il 4-7-2024. Correzioni richieste il 7-7-2024. Accettazione il 14-7-2024.

1. Introduzione

I mercati del carbonio sono considerati uno strumento chiave per ridurre le emissioni di gas serra (GHG). L'idea alla base è semplice: attribuire un costo alle emissioni di carbonio incentiva le aziende e i governi a ridurle, rendendo economicamente vantaggioso investire in soluzioni a minori emissioni. La supposizione è che permettere lo scambio dei crediti relativi alle riduzioni fa sì che le emissioni vengano ridotte laddove sia più conveniente farlo. Questo approccio può ridurre i costi per raggiungere gli obiettivi di mitigazione, offrendo flessibilità su come e dove le emissioni vengono ridotte, facilitando così l'adozione di obiettivi di mitigazione più ambiziosi (La Hoz Theuer et al., 2019).

Ma non tutti i mercati del carbonio sono uguali, e anzi esistono differenze enormi nelle caratteristiche e nei risultati delle due principali tipologie in cui sono divisi: i) i mercati obbligatori (in inglese “compliance markets”), noti anche come mercati regolamentati, stabiliti e supervisionati da regolamenti governativi o internazionali per la riduzione del carbonio, e ii) i mercati volontari, che operano indipendentemente dai requisiti normativi.

Alla luce delle conclusioni della conferenza climatica di Bonn, conclusasi il 13 giugno 2024 (Crok, 2024), in cui le negoziazioni della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) hanno gettato le fondamenta per un accordo fra le Parti alla prossima COP di Baku, è importante che siano chiare le similitudini, le differenze e le dinamiche tra gli strumenti di mercato obbligatori sotto l'articolo 6 dell'accordo di Parigi e i mercati volontari del carbonio (Voluntary carbon markets, di seguito chiamati VCMs).

In particolare, i VCMs influenzano e sono a loro volta influenzati da queste negoziazioni. Da quasi 20 anni in questi mercati vengono scambiati crediti che rappresentano riduzioni o sequestro delle emissioni e le lezioni apprese in questo contesto potrebbero quindi essere implementate e costituire un precedente (Granziera et al., 2024) nelle discussioni che si terranno a Baku. Tuttavia, vale la pena sottolineare come le decisioni prese dagli organi preposti in merito all'articolo 6 potrebbero orientare gli attori del mercato verso standard più stringenti per i crediti che producono o acquistano. Questo è anche dovuto alla crisi di credibilità dei VCMs e ai molti dubbi sulla loro capacità di fornire crediti che rappresentino effettive riduzioni o rimozioni delle emissioni (Delacote et al., 2024).

L'obiettivo di questo articolo è fornire una panoramica chiara e accessibile sui mercati del carbonio e sui meccanismi che li regolano, con un focus particolare

sui mercati volontari, e l'impatto che i cambiamenti nei mercati regolamentati possono avere su di essi.

Per costruire una base solida, nella seconda sezione vengono introdotti i principi fondamentali che permettono di comprendere questi meccanismi di mercato e si spiega il funzionamento dei meccanismi trattati. Partendo da questa analisi, la terza sezione esamina lo stato attuale dei mercati regolamentati sotto l'articolo 6 dell'accordo di Parigi. La quarta sezione presenta un'analisi dettagliata dei VCMs e delle problematiche legate in particolare ai crediti basati sui sistemi naturali e al concetto di compensazione. Infine, nella quinta sezione, si discutono le possibili interazioni tra i due mercati e si forniscono indicazioni sugli sviluppi futuri da monitorare.

2. Principi fondamentali

Rimozione delle emissioni di gas serra, rimozione della CO₂ atmosferica e emissioni evitate sono tre concetti molto diversi:

- La rimozione della CO₂ atmosferica viene definita dall'IPCC come “attività antropogenica che rimuove CO₂ dall'atmosfera e la stocka in modo durevole in serbatoi geologici, terrestri, oceanici o in prodotti” (Babiker et al., 2022). Esistono tuttavia molti metodi di rimozione, che variano per tipo di processo (basato sulla natura o mediato tecnologicamente), tempi di stoccaggio (dalle decine di anni ai millenni), maturità tecnologica, potenziale di mitigazione, costi e requisiti di governance (Babiker et al., 2022). In generale, si possono dividere in due categorie: rimozione di CO₂ con stoccaggio di breve durata e rimozione di CO₂ con stoccaggio di lunga durata (Allen et al., 2020). Alla prima categoria appartengono i progetti di riforestazione, restauro degli ecosistemi e quelli di aumento del sequestro di carbonio nel suolo. Queste rimozioni sono caratterizzate da un maggiore rischio di rilascio del carbonio e da minore permanenza. Alla seconda categoria appartengono i progetti di bioenergia con cattura e stoccaggio del carbonio (BECCS), la cattura diretta dall'aria con stoccaggio geologico (DACCS), la conversione del carbonio atmosferico in roccia attraverso la remineralizzazione (enhanced weathering) e i metodi che coinvolgono l'oceano, come ad esempio l'aumento dell'alcalinità degli oceani (OAE). A loro volta, queste rimozioni sono caratterizzate da un minore rischio di rilascio del carbonio e da maggiore permanenza.
- Riduzione delle emissioni: rappresenta la diminuzione delle emissioni di gas serra rispetto a una baseline, che può essere calcolata in modi diversi a seconda dei meccanismi e degli standard utilizzati. I progetti di riduzione avvengono con o senza stoccaggio di carbonio (Allen et al., 2020). I progetti

con stoccaggio si dividono in due tipologie: a breve termine e a lungo termine (Myles et al., 2020); la prima si ottiene attraverso la protezione degli ecosistemi e il cambiamento delle pratiche agricole che conservano il carbonio già immagazzinato, la seconda viene realizzata mediante tecnologie di cattura e stoccaggio del carbonio (CCS) applicate a impianti industriali o centrali a combustibili fossili. Le riduzioni di emissioni che avvengono senza stoccaggio sono solitamente chiamate ‘emissioni evitate’ e comprendono progetti come l’implementazione di energie rinnovabili per sostituire centrali a combustibili fossili e programmi per aggiornare caldaie inefficienti.

- Emissioni evitate: non esiste una definizione ufficiale dell’UNFCCC o dell’IPCC rispetto a questo concetto, che oltretutto non è incluso nelle definizioni di mitigazione del cambiamento climatico di quest’ultimo. Tuttavia, come spiegato nel punto precedente, secondo i principi di Oxford Net Zero (2020), le riduzioni delle emissioni includono anche le emissioni evitate.

Quello che unisce tutti e tre i concetti è la necessità di uno scenario di riferimento nei confronti del quale misurare l’efficacia e i benefici climatici del progetto. Difatti, la riduzione delle emissioni deve essere addizionale rispetto alla baseline, e analogamente la rimozione della CO₂ atmosferica non avverrebbe senza il progetto.

Il fatto che i benefici climatici dei crediti di carbonio possano solo essere stimati rispetto ad uno scenario astratto e supposto (la baseline) rappresenta una delle sfide principali all’integrità e alla credibilità di questi mercati.

Fondamentale in questo senso è la caratteristica dell’addizionalità, ovvero la verifica che i crediti corrispondano ad una reale diminuzione delle emissioni globali. Senza addizionalità, l’acquisto di un credito di carbonio non garantisce una reale compensazione delle emissioni.

L’addizionalità ha tre dimensioni:

- Addizionalità normativa: il progetto deve ridurre le emissioni più di quanto previsto dalle normative o dagli standard industriali vigenti.
- Addizionalità tecnologica: il progetto deve utilizzare tecnologie per la riduzione delle emissioni che non sarebbero altrimenti impiegate in assenza del progetto e che non sono già pratiche correnti nel settore.
- Addizionalità finanziaria: il progetto non sarebbe finanziariamente sostenibile in assenza degli introiti previsti dalla vendita dei crediti di emissione.

Ad esempio, se il progetto utilizza tecnologie già in uso, è finanziariamente attraente senza i crediti o è già previsto da normative vigenti, non è considerato addi-

zionale. A rendere il concetto ancora più stringente, vi è il fatto che è fondamentale definire un periodo entro il quale l’attività del progetto sia considerata addizionale. Poiché il contesto finanziario e tecnologico può cambiare nel tempo, uno stesso progetto può smettere di produrre riduzioni addizionali di emissioni se una di queste condizioni viene a mancare.

Valutare l’addizionalità di un progetto non è semplice, e diversi fattori sono fondamentali. Ad esempio, è importante stabilirne l’intenzionalità: le riduzioni devono essere effettivamente indotte dall’uomo, e non derivare da processi naturali come la normale crescita delle foreste. Molto importante è anche la garanzia della permanenza degli effetti: i progetti devono dimostrare chiaramente che le riduzioni siano durature nel tempo. Più problematico è invece il concetto di permanenza, particolarmente per i crediti emessi attraverso progetti forestali, poiché questi sono i più vulnerabili. Ogni progetto ha legati a sé diversi rischi di fallimento, o in altre parole alla non permanenza del carbonio a causa di eventi come disastri naturali, cambiamenti nella gestione del progetto o nelle politiche.

Importante da tenere in considerazione è anche il fenomeno del “Carbon leakage” (in italiano: rilascio/perdita di carbonio), ovvero lo spostamento involontario di emissioni evitate in altre aree. La chiusura di un impianto produttivo potrebbe infatti portare all’apertura di uno nuovo altrove; un progetto di energia a biomassa potrebbe indurre un aumento della domanda di legname, causando deforestazione non prevista. Da non sottovalutare sono anche le dinamiche di mercato per cui una riduzione dell’uso di combustibili fossili li potrebbe rendere più economici e competitivi, aumentandone il loro uso altrove.

3. I meccanismi dell’Articolo 6 dell’accordo di Parigi

L’Articolo 6 dell’accordo di Parigi prevede l’istituzione di meccanismi finanziari che consentano ai Paesi (dette anche ‘Parti’) di collaborare per raggiungere i loro Contributi Determinati a livello Nazionale (Nationally Determined Contribution, NDC) tramite il commercio di quelli che vengono chiamati in inglese “mitigation outcomes”.

Quando venne approvato nel 2015, questo articolo forniva solamente i principi e le basi su come i Paesi potessero perseguire una cooperazione di questo tipo. Tuttavia, nel corso degli anni questi principi hanno faticato a tramutarsi in regole chiare, e hanno generato moltissime controversie, ritardando l’implementazione completa dell’articolo (Crook, 2023).

Durante la COP26 di Glasgow le Parti hanno concordato un pacchetto di regole (denominato ‘Article 6 Rulebook’) volte a governare e implementare i mecca-

nismi di mercato internazionali sotto la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC). Nonostante questo abbia rappresentato un importante passo avanti nella definizione di regole chiare e condivise da tutti gli attori in gioco, il Rulebook lascia indefiniti alcuni aspetti essenziali per il funzionamento di questi mercati per come li abbiamo descritti nell'articolo precedente. Non vengono definiti i livelli di trasparenza, l'integrità, la qualità e la tipologia delle unità scambiate attraverso questi meccanismi. Nonostante siano state tenute due altre COP dopo quella di Glasgow, molti dettagli operativi dell'Articolo 6 devono ancora essere stabiliti (Crook, 2023). A livello contenutistico, l'Articolo 6 descrive tre approcci cooperativi perseguibili.

Articolo 6.2: Accordi bilaterali

Descritti nell'Articolo 6.2, gli accordi bilaterali (o multilaterali) tra le Parti prevedono uno scambio di unità chiamate ITMOs (Internationally Transferred Mitigation Outcomes, anche con il termine inglese 'Article 6.2 units') tra uno o più attori.

Queste unità possono essere espresse in equivalenti di anidride carbonica (CO₂e), ma anche di altre unità di misura, come i kilowattora (kWh) di energia rinnovabile.

Non ci sono limitazioni sul tipo di unità scambiate né sugli standard e metodologie da adottare, purché siano seguite le linee guida generali dell'Articolo 6 (Zwick, 2021).

L'implementazione pratica di questo meccanismo è lasciata ai Paesi che stringono volta per volta degli accordi, che decidono quindi cosa autorizzare, i processi per conformarsi ai requisiti di reportistica e, soprattutto, quali settori e quante unità possono essere trasferite a livello internazionale senza compromettere il raggiungimento dei loro NDC (Granziera, Hamrick e Verdieck, 2024). Le unità possono essere emesse attraverso progetti, approcci giurisdizionali e connessioni tra sistemi di scambio delle emissioni (emission trading systems, noti con l'abbreviazione ETS).

Non sono previste conseguenze nella revisione ufficiale di tali transazioni, anche in caso di irregolarità (Crook, 2023). Questo apre la porta all'utilizzo di unità derivanti da attività come la riduzione delle emissioni associate a stoccaggi a breve termine, che hanno meno integrità ambientale (vedi sezione 4.3). Inoltre, i Paesi possono avere clausole di riservatezza riguardo ai dettagli dei propri accordi e scambi, totalmente o parzialmente, senza dover fornire alcuna spiegazione (Crook, 2023).

Finora solo una transazione relativa all'Articolo 6 è stata conclusa tra Svizzera e Thailandia (Granziera, Hamrick e Verdieck, 2024). Lo scarso utilizzo di questo

meccanismo può essere spiegato dal rischio che la disponibilità del Paese ospitante a vendere possa variare in base ai progressi verso i loro obiettivi NDC (Granziera, Hamrick e Verdieck, 2024).

Articolo 6.4: Meccanismo centralizzato

Il secondo approccio, descritto nell'Articolo 6.4, prevede un meccanismo centralizzato in cui gli scambi di unità chiamate A6.4ERs (Article 6.4 Emission Reduction Units) sono supervisionati da un organismo delle Nazioni Unite, il Supervisory Body dell'Articolo 6.4.

In questo meccanismo, i responsabili dei progetti dovranno registrare i loro progetti presso il Supervisory Body e prima di poter emettere A6.4ERs riconosciute dalle Nazioni Unite, ciascun progetto dovrà ottenere l'approvazione sia di quest'ultimo che del Paese ospitante (Granziera, Hamrick e Verdieck, 2024). In questo caso l'approvazione del Paese ospitante è fondamentale, poiché una volta vendute, le riduzioni non verranno conteggiate verso gli obiettivi climatici del Paese ospitante, ma contribuiranno esclusivamente al raggiungimento degli NDC del Paese acquirente (secondo il meccanismo dei 'corresponding adjustments', che verrà discusso in dettaglio nella sezione 5).

A differenza dell'Articolo 6.2, l'Articolo 6.4 non si limita a prevedere soluzioni puramente di mercato, ma prevede anche un meccanismo non di mercato. All'interno dell'articolo è infatti descritta una categoria separata di crediti chiamati 'mitigation contribution units', che non possono essere utilizzati per scopi di compensazione bensì per contribuire alla riduzione dei livelli di emissione nel Paese ospitante; il Paese dove sono avvenute le riduzioni conterà queste verso il proprio obiettivo climatico (Crook, 2023; Granziera et al., 2024).

La forma stessa di questo articolo ne lega il successo e la praticabilità ai risultati del Supervisory Body, che è stato incaricato di sviluppare e supervisionare i requisiti e i processi necessari per renderne operativo il meccanismo. Queste metodologie per stabilire l'eleggibilità delle unità devono poi essere approvate dalle parti. Questa approvazione è mancata alla COP28 tenutasi a dicembre 2023. La discussione è dunque tenuta a ripresentarsi alla COP29, con i primi scambi di crediti che si potranno avere quindi, al più presto, a partire dal 2025 (Granziera et al., 2024).

Articolo 6.8: Meccanismi Non di Mercato

Infine, nell'articolo 6.8 viene descritto un meccanismo non di mercato, che permette ai Paesi di supportare finanziariamente o tecnicamente altri Paesi senza alcuna aspettativa di scambio di unità di carbonio (approccio non di mercato). L'UNFCCC facili-

terebbe solo l'incontro tra progetti e supporto finanziario e tecnico in diverse aree di interesse. L'Articolo 6.8 è molto meno definito dei due precedenti e non c'è ancora molta chiarezza sull'operabilità dello stesso (Granziera et al., 2024).

4. I mercati volontari del carbonio

Come da loro nome, la caratteristica principale dei VCMs è che la partecipazione di aziende e organizzazioni a questi mercati è basata su una scelta volontaria. In questo contesto non regolamentato, non esistono obblighi legali o normativi di produrre crediti di carbonio, né le aziende, le organizzazioni o i singoli sono tenuti ad acquistarli. Ne deriva che spesso questi attori scelgono di partecipare per motivi di responsabilità sociale aziendale o in previsione di future normative (Energy Monitor, 2023).

I VCMs consentono la compravendita di crediti corrispondenti a una tonnellata di CO₂ (o CO₂ equivalente) ridotta in emissione o rimossa dall'atmosfera. Questi ultimi sono generati da vari progetti di mitigazione climatica in tutto il mondo. Questo sistema offre il potenziale per canalizzare significativi capitali privati verso l'azione climatica.

Su questo mercato vengono scambiati sia crediti di rimozione che crediti di riduzione e, a differenza dei meccanismi di mercato definiti dall'Articolo 6, non esiste un regolatore. La varietà dei crediti scambiati è molto ampia, ma quelli basati su soluzioni naturali, come i progetti forestali, hanno visto una crescita decisa della domanda negli ultimi dieci anni (West et al., 2024). Questi crediti forniscono infatti evidenti co-benefici tra produttori e acquirenti. I VCMs sono nati agli inizi degli anni 2000, e il loro mercato ha raggiunto 1,8 miliardi di dollari di valore nel 2022 (Donofrio et al., 2023). Oltre il 50% delle maggiori aziende quotate in borsa a livello mondiale si è impegnato a ridurre le proprie emissioni o a raggiungere la neutralità carbonica o climatica. Molte di queste aziende vedono nell'acquisto di crediti di carbonio uno strumento fondamentale per colmare, almeno in parte, la differenza tra le emissioni promesse e quelle effettive (Day et al., 2024).

La crescita di questo mercato è stata accompagnata da diversi scandali che negli ultimi anni ne hanno minato la credibilità (Delacote et al., 2024). A causa di ciò, diverse grandi aziende, come Shell, Nestlé, EasyJet e Fortescue Metals Group hanno ritirato il proprio supporto ai programmi di compensazione del carbonio (Carbon Credit, 2024). Questo ritiro è sicuramente dovuto in parte al crescente scetticismo sull'efficacia di questi progetti e al problema di credibilità descritto poc'anzi, ma anche alle preoccupazioni rispetto alle accuse di greenwashing connesse (Carboncredit, 2024).

A complicare ulteriormente il quadro, vi sono le conseguenze sulle comunità indigene e locali delle aree dove si svolgono i progetti, con l'ultimo scandalo risalente ad aprile 2024, quando un rapporto di SOMO (Centre for Research on Multinational Corporations, un'organizzazione indipendente che si dedica alla ricerca sulle multinazionali) ha rivelato che alcuni progetti di compensazione facilitano abusi sociali, inclusi sfratti forzati e violazioni dei diritti umani.

4.1. Struttura dei mercati volontari del carbonio e conflitti di interesse

Non esiste un mercato globale unificato dei crediti di carbonio, ma piuttosto un ecosistema (Delacote et al., 2024) di diversi standard, piattaforme e organizzazioni che condividono alcune caratteristiche comuni (Energy Monitor, 2023).

Questi mercati sono caratterizzati da una grande eterogeneità sia degli attori che del tipo di crediti emessi. Questo, insieme alla già citata assenza di attori regolatori, ha portato allo sviluppo di una percezione degli stessi come "Far west dei mercati volontari del carbonio" (CMW, 2023).

Un ruolo fondamentale lo giocano gli standard di accreditamento indipendenti. I progetti che desiderano emettere crediti devono aderire a specifici standard e protocolli definiti da enti chiamati "carbon standards", che forniscono una serie di metodologie indipendenti per diversi tipi di progetti per certificare i progetti e emettere crediti, che sono ospitati e/o visualizzati in un registro.

Lo standard più utilizzato è il Verified Carbon Standard (VCS), definito dalla società Verra. Altri standard noti sono il Gold Standard e il Climate Action Reserve (CAR).

La riduzione o rimozione del carbonio ottenuta viene poi verificata da terze parti (verificatori e validatori) che assicurano che il progetto soddisfi i criteri richiesti.

Gli acquirenti sono principalmente aziende private, ma ci sono anche diversi investitori che sperano di trarre profitto dall'aumento continuo dei prezzi.

Broker e trader agiscono come intermediari che aiutano a connettere gli acquirenti con i project developer. Negli ultimi anni, anche gli attori finanziari stanno sempre più agendo come intermediari.

Alla base di tutto vi sono i project developer, ovvero aziende o organizzazioni che sviluppano progetti che riducono le emissioni di gas serra o rimuovono il carbonio dall'atmosfera, gestiscono i progetti e stimano il numero di crediti che saranno generati, seguendo specifici standard di accreditamento e linee guida.

Infine, i verificatori e validatori, noti anche come auditor, esaminano la documentazione, visitano i luo-

ghi dei progetti e approvano o modificano le stime sul numero di crediti che saranno generati.

Data la grande varietà di crediti e la natura complessa di questi prodotti, distinguere tra crediti di alta e bassa qualità è molto difficile (Calyx Global, 2023). A soddisfare questa esigenza degli acquirenti vi sono delle aziende che offrono servizi di valutazione della qualità dei crediti; tra i nomi più conosciuti ci sono BeZero, Sylvera e Calyx Global.

Per mitigare la percezione di scarsa regolamentazione e uniformità del mercato, negli anni sono emerse diverse “iniziative per l'integrità”, che svolgono un ruolo di governance del mercato e stabiliscono standard elevati per la qualità sia dal lato dell'offerta che della domanda (Procton et al., 2024). Alcuni esempi includono l'Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM), che ha sviluppato i Core Carbon Principles (CCPs) per definire uno standard globale e un punto di riferimento per i progetti di carbonio di alta qualità (Procton et al., 2024). Un altro esempio è il Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative (VCMI), che ha creato il Claims Code of Practice, offrendo linee guida per aiutare le aziende a utilizzare credibilmente i crediti del mercato volontario del carbonio nei loro obiettivi di decarbonizzazione net-zero.

Un'iniziativa significativa, molto discussa negli ultimi mesi, è la Science Based Targets Initiative (SBTi), che supporta le aziende nello stabilire obiettivi ambiziosi di riduzione delle emissioni con scadenze ben definite (Procton et al., 2024). Ulteriori dettagli sugli sviluppi riguardanti SBTi sono forniti nella sezione 4.4.

A livello degli standard, nel biennio 2019-2020, il Verified Carbon Standard ha coperto circa due terzi dei volumi transati, con una crescita ulteriore nel 2021 (Crehalet et al., 2021). Seguendo al secondo posto, il Gold Standard ha mantenuto una quota di mercato di circa il 10% (Crehalet et al., 2021).

Tra i project developer il mercato è dominato da pochi grandi sviluppatori con ampi “portafogli” di progetti, mentre una lunga coda di sviluppatori piccoli e medi gestisce portafogli più ridotti. I primi 20 sviluppatori rappresentano oltre un terzo (39%) del volume totale di crediti emessi, con i primi cinque che ne gestiscono il 19% (Filmanovic, 2021).

Le natura delle relazioni tra project managers, standard e auditor è prona alla generazione di conflitti di interesse che possono minare la loro credibilità. Ad esempio, la scelta dei verificatori è fatta dalle stesse organizzazioni che gestiscono i progetti (Hengeveld, 2024).

Gli enti che definiscono gli standard ricevono dagli sviluppatori dei progetti una tariffa per ciascuno dei crediti emessi, dagli acquirenti per ciascun credito ritirato e dai verificatori per l'accreditamento (Verra, 2023).

I verificatori devono essere accreditati presso lo standard seguito dai crediti degli sviluppatori che li hanno ingaggiati. La Figura 1 visualizza queste relazioni finanziarie e di preferenza tra gli attori del mercato sopra citati.

Risulta chiaro come l'emissione e la vendita di questi crediti sul mercato crei incentivi perversi per cui gli attori coinvolti traggono vantaggio da un maggiore

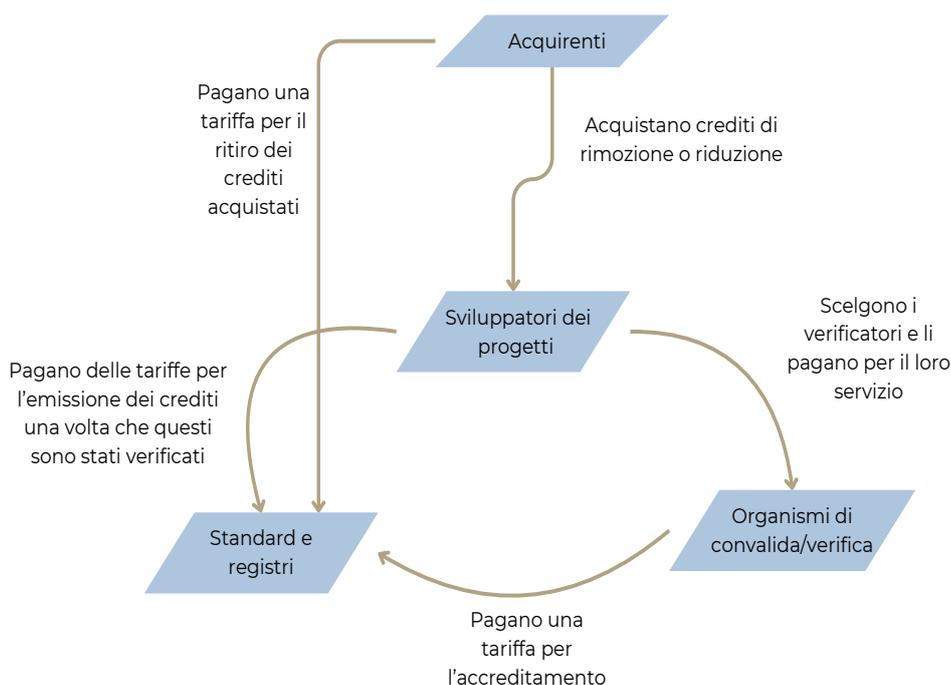


Figura 1. Flussi di denaro tra i principali attori del mercato del carbonio.

volume di crediti prodotti, incentivando la modifica della tanto cruciale baseline per massimizzare il numero di crediti prodotti, creando così i cosiddetti “hot air” credits (letteralmente ‘aria calda’, un termine inglese equivalente all’italiano ‘aria fritta’). In poche parole, crediti che non rappresentano una effettiva riduzione o rimozione di emissioni.

4.2. Problematiche di trasparenza

La mancanza di trasparenza è una delle principali criticità che caratterizzano i mercati volontari del carbonio. Sebbene i programmi di compensazione del carbonio stiano aumentando la disponibilità di informazioni pubbliche sui progetti (includendo documentazione, provenienza, trasferimento e ritiro), la difficoltà nel reperire informazioni sui prezzi e sui volumi di ciascuna tipologia di credito è evidente, e queste informazioni rimangono parziali e persiste la scarsità di dati geografici sulle aree di riferimento da cui vengono calcolati i livelli base delle emissioni (Delacote et al., 2024). Questo rende difficile per i ricercatori verificare l’accuratezza delle dichiarazioni e validare i risultati dei progetti.

I dati sulle transazioni sono particolarmente limitati. Poiché i VCMs operano come meccanismi “over-the-counter” (ossia con contatto diretto tra venditore e acquirente) senza obblighi legali di rendicontare informazioni sensibili, mancano dati sui prezzi e sull’identità degli acquirenti e dei venditori.

Tra i principali tentativi di migliorare la trasparenza, vale la pena citare il report annuale “State of the Voluntary Carbon Markets” pubblicato da Ecosystem Marketplace (Donofrio et al., 2022, 2023), che raccoglie dichiarazioni annuali dai partecipanti al mercato, rappresentando la maggior parte dei project developer e dei rivenditori di crediti, e combina queste informazioni con i dati dei registri dei principali standard e certificazioni di crediti di carbonio. Tuttavia, le informazioni non sono necessariamente verificate al di là delle dichiarazioni fornite dai partecipanti stessi.

Aumentare la trasparenza delle informazioni disponibili è fondamentale per diminuire il rischio che questi possano favorire pubblicità ingannevole e pratiche di greenwashing (Delacote et al., 2024). In ultima istanza, l’efficacia dei mercati del carbonio (come quella di qualsiasi meccanismo di mercato) dipende infatti dalla qualità, accuratezza e trasparenza delle informazioni fornite. Non esistono transazioni efficaci in mancanza di informazioni.

4.3. Crediti basati sui sistemi naturali (Nature-based)

I progetti basati sui sistemi naturali (Nature-based) hanno rappresentato quasi la metà del mercato nel

2022 (Donofrio et al., 2023). Esistono diverse tipologie di questi crediti scambiate nei mercati volontari, tra i principali: Agriculture, Afforestation, Reforestation and Revegetation (ARR), Improved Forest Management (IFM) e REDD+ (crediti derivanti dalla riduzione delle emissioni dovute alla deforestazione e dal degrado delle foreste). Nello specifico, i progetti ARR riguardano la rimozione della CO₂ atmosferica, mentre la maggior parte delle metodologie IFM e i tutti i crediti REDD+ rientrano nella categoria dei crediti di riduzione.

I crediti di riduzione con stoccaggio a breve termine, in particolare quelli relativi alla prevenzione dei danni agli ecosistemi naturali e semi-naturali, rappresentano la classe di crediti in cui l’addizionalità è più difficile da dimostrare e che presentano i maggiori problemi di leakage e permanenza (Allen et al., 2020). Già da tempo questi crediti erano sotto osservazione per tali ragioni. Questi crediti, in particolare quelli REDD+, stanno attraversando un periodo di forte screditamento a causa di alcuni scandali emersi nell’ultimo anno e mezzo. A gennaio 2023, un articolo (Greenfield, 2023) su The Guardian, frutto di un’indagine collaborativa tra The Guardian, Die Zeit e SourceMaterial, basata su tre recenti studi scientifici (West et al., 2020, 2023; Guizar-Coutiño et al., 2022), ha sollevato un grande clamore e riaperto il dibattito sulla validità dei crediti di compensazione emessi tramite interventi forestali. La conclusione di questi studi è che circa il 94% dei crediti di compensazione provenienti dai progetti di riforestazione di Verra, il più grande fornitore mondiale di crediti di carbonio, non ha fornito alcun beneficio reale in termini di impatto climatico.

Oltre all’addizionalità, la permanenza è un problema critico per questo tipo di crediti, sia che rappresentino riduzione che rimozione, poiché non è possibile garantire che i risultati ottenuti dai progetti perdurino nel tempo. Anche se il periodo di impegno contrattuale è generalmente fissato a 100 anni, i progetti stessi hanno durate più brevi. La durata media dei progetti legati a sistemi naturali, registrati da Verra, è di 29 anni. Questo dato si riferisce al periodo di accreditamento (crediting period), ossia al periodo durante il quale le rimozioni o riduzioni si qualificano per l’emissione di crediti. Questo periodo è artificialmente esteso a 100 anni grazie a un “buffer” costituito da un numero specifico di crediti aggiuntivi che non possono essere venduti. Questo buffer funge da salvaguardia contro eventuali fughe di carbonio per i successivi 100 anni. Questa approssimazione risponde alle esigenze del mercato. Poiché i crediti di carbonio sono legati a requisiti finiti, e le strutture di mercato non includono una responsabilità infinita da parte degli inquinatori.

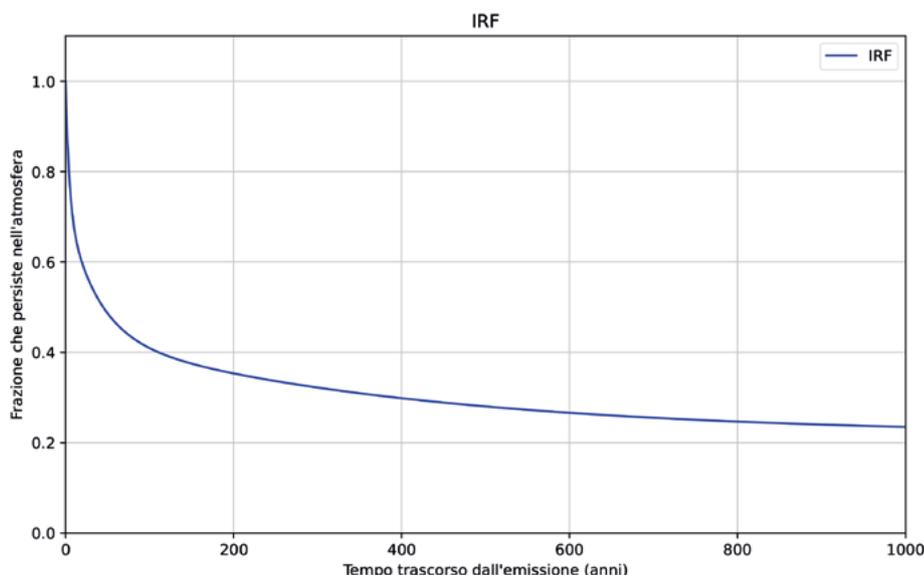


Figura 2. Proiezione a lungo termine del comportamento dell'impulse response function (IRF) secondo Joos et al., 2013.

Non esiste quindi garanzia che gli effetti benefici ottenuti dal progetto siano permanenti.

In aggiunta, questo sistema fa sì che i crediti siano generati ex ante, ovvero prima del completamento del progetto, trasferendo la responsabilità di garantire la rimozione di CO₂ per tutto il periodo di impegno direttamente sulle spalle del project manager.

I controlli vengono eseguiti ogni cinque anni, ma non oltre la durata del progetto (Energy Monitor, 2023). Ciò implica che, una volta terminato il periodo operativo, non ci siano ulteriori verifiche per assicurare la permanenza del sequestro di carbonio, aumentando il rischio di un successivo rilascio. Persiste quindi il problema della garanzia del sequestro del carbonio, e quindi in generale dell'attendibilità sugli effettivi benefici che questi progetti hanno.

Questo significa che i crediti scambiati sul mercato rappresentano:

- Crediti da emissioni ridotte: una riduzione delle emissioni equivalente a una tonnellata di CO₂, con la permanenza della riduzione garantita per 100 anni. Ad esempio, nel caso dei crediti REDD+, il carbonio stoccato all'interno della foresta è garantito per 100 anni. I possibili rilasci dovuti a eventi naturali che avvengono prima di questo periodo (ad esempio incendi) non compromettono l'efficacia del progetto nella riduzione delle emissioni da deforestazione, poiché sono già stati presi in considerazione. Infatti, nel buffer sono stati inseriti abbastanza crediti extra per coprire i rilasci naturali previsti per 100 anni a partire dal momento in cui è stato calcolato il rischio di non permanenza. Tuttavia, le perdite che si verificano dopo i 100 anni non sono coperte.
- Crediti da CO₂ atmosferica rimossa: ad esempio, in un progetto di riforestazione, il responsabile del

progetto è legalmente obbligato a garantire che il carbonio sequestrato dalla foresta permanga negli alberi fino alla fine della durata del progetto. Tuttavia, anche qui, il carbonio stoccato all'interno della foresta è garantito per 100 anni, ma dopo la fine del progetto, tale carbonio potrebbe essere rilasciato.

Anche ignorando i problemi legati ai rischi di rilascio e all'addizionalità, e assumendo quindi uno stoccaggio di 100 anni, i crediti acquistati vengono usati per dichiarare una compensazione delle emissioni dell'acquirente. Ciò significa che, nel migliore dei casi, nei mercati volontari del carbonio, lo stoccaggio temporaneo di 100 anni è trattato come equivalente a uno stoccaggio permanente. Questo genera delle importanti distorsioni a livello concettuale.

La Figura 2 illustra chiaramente perché un sequestro temporaneo non può essere utilizzato per dichiarare di aver compensato permanentemente; mostrando la più recente formulazione della Impulse Response Function (IRF), come definita da Joos et al. (2013). L'IRF è una funzione che modella il decadimento di un'emissione unica (impulso) di 1 GtC di CO₂ nell'atmosfera. Essa fornisce informazioni su quanta frazione di CO₂ permane nell'atmosfera e per quanto tempo. All'inizio, si osserva una rapida diminuzione della CO₂, indicando un assorbimento significativo nei primi anni e decenni dopo l'emissione. Successivamente, il tasso di diminuzione rallenta e si stabilizza nell'arco di diversi secoli fino a qualche millennio, mentre oceano e atmosfera raggiungono un equilibrio. A questo punto, circa il 20% delle emissioni iniziali rimane ancora nell'atmosfera. Questa CO₂ residua viene ridotta ulteriormente attraverso processi geologici naturali, che avvengono però su scale temporali molto lunghe,

superando l'intera storia registrata dell'umanità (Cullenward, 2023).

Equiparare il sequestro temporaneo con il sequestro permanente suggerisce che sia possibile compensare il danno di una certa quantità di CO₂ con un sequestro temporaneo, il che è una falsa equivalenza fisica (Brander e Broekhoff, 2023). Poiché le emissioni di CO₂ hanno effetti praticamente permanenti sull'atmosfera e sugli oceani, qualsiasi stoccaggio di carbonio che non duri per migliaia di anni non è equivalente alla riduzione di emissioni di CO₂ (Brander e Broekhoff, 2023). Tale approssimazione consente agli acquirenti di fare false dichiarazioni di compensazione.

Per questo motivo, l'utilizzo più corretto dei crediti non è quello di compensare direttamente le emissioni fossili, bensì quello di fare dichiarazioni di contributo (contribution claims) o dichiarazioni di guadagno di tempo (buying time claims) (Carbon Market Watch, 2020; Day et al., 2022; Mitchell-Larson et al., 2022; Brander e Broekhoff, 2023). In altre parole, i crediti verrebbero visti come un modo per l'umanità di guadagnare tempo per decarbonizzare, riconoscendo che l'acquirente ha contribuito con il suo acquisto a ridurre il proprio impatto complessivo senza dichiarare di aver completamente controbilanciato gli effetti negativi di una tonnellata di CO₂ equivalente.

È innegabile che, per raggiungere gli obiettivi di mitigazione, sia necessario fermare la deforestazione e ripristinare i livelli minimi di carbonio nel suolo e nelle foreste a livello globale. I mercati volontari del carbonio hanno il potenziale per mobilitare parte del capitale necessario per soluzioni basate sulla natura, come la conservazione, il ripristino e il miglioramento delle pratiche di gestione del territorio, che si prevede forniscano oltre un terzo della mitigazione climatica necessaria da qui al 2030 per stabilizzare il riscaldamento al di sotto dei 2°C (Roe et al., 2019). Le aziende possono avere un impatto positivo e contribuire alla conservazione dei sistemi naturali finanziando questi progetti, senza che sia necessario dichiarare tali contributi come compensazioni. Questi finanziamenti possono essere un modo per le aziende di riconoscere la loro responsabilità storica per il cambiamento climatico, ma devono essere complementari agli investimenti necessari per ridurre le emissioni delle proprie operazioni, e non esonerarle dalla responsabilità di ridurre le emissioni che causano.

Allo stato attuale, mantenere un mercato del carbonio volontario basato su crediti di compensazione rischia di disincentivare le aziende dall'effettuare gli investimenti significativi necessari per garantire cambiamenti profondi nelle catene di valore aziendali e nei sistemi economici, poiché questi crediti rappresenterebbero una scorciatoia più semplice ed economica.

4.4. Trend recenti nel mercato volontario

Alcuni recenti segnali di mercato indicano un cambiamento nelle preferenze degli acquirenti verso crediti a maggiore integrità, che ha impattato in particolare sui prezzi e sui volumi venduti dei crediti basati sui sistemi naturali. Nel 2023 il mercato ha subito un forte shock a causa di diversi scandali che hanno messo in dubbio l'integrità dei crediti. Oltre all'articolo di gennaio su *The Guardian* riguardante i crediti REDD+, a luglio una revisione sistematica (Probst et al., 2023), che ha analizzato oltre 2000 progetti di compensazione di varie tipologie (energie rinnovabili, efficientamento energetico, foreste e processi chimici), ha rivelato che l'88% dei crediti non rappresenta vere riduzioni delle emissioni. Ad agosto, un articolo pubblicato da Carbon Brief (2023) ha esaminato gli impatti sociali di questi progetti, scoprendo che oltre il 70% dei report evidenziava danni alle popolazioni indigene e alle comunità locali. Di conseguenza, nel 2023, il valore del mercato è crollato drasticamente. Il valore complessivo delle transazioni riportate è stato di 723 milioni di USD, con una diminuzione del 61% rispetto al 2022.

Il cambiamento non ha interessato unicamente il volume dei crediti, ma anche la loro tipologia, si sta infatti osservando un interesse crescente per crediti che rappresentano la rimozione delle emissioni e che dimostrano chiaramente l'addizionalità del progetto, piuttosto che crediti di riduzione delle emissioni, che soffrono maggiormente di problemi di addizionalità (Donofrio et al., 2022, 2023). Ad esempio, nella categoria dei crediti Nature-based, i crediti REDD+ (il tipo di progetto più comune) hanno visto una riduzione del 62% del valore complessivo rispetto all'anno precedente, dovuto ad un calo del volume delle transazioni del 51% e del prezzo del 23% (il valore totale è la somma dei prodotti fra numero crediti scambiati e il prezzo di ogni transazione). Questo trend è evidenziato anche dal fatto che nel 2023 i crediti di rimozione hanno un prezzo medio quasi tre volte e mezzo superiore a quello dei crediti di riduzione (Procton et al., 2024). Questo trend inverte le tendenze precedenti che vedevano una forte prevalenza dei crediti di riduzione.

Nonostante questo nuovo sviluppo, permane una forte prevalenza dei crediti di riduzione, come mostrato nella Figura 3. È positivo che l'attenzione si sia spostata verso crediti con maggiore addizionalità. Tuttavia, la permanenza rimane un problema, tanto che secondo numerosi esperti i crediti che non rappresentano uno stoccaggio permanente di CO₂ non dovrebbero essere utilizzati per la compensazione.

Il calo del volume dei crediti di carbonio scambiati nel 2023 non è stato dovuto solo all'incertezza causata dalla percezione pubblica negativa riguardo ai credi-

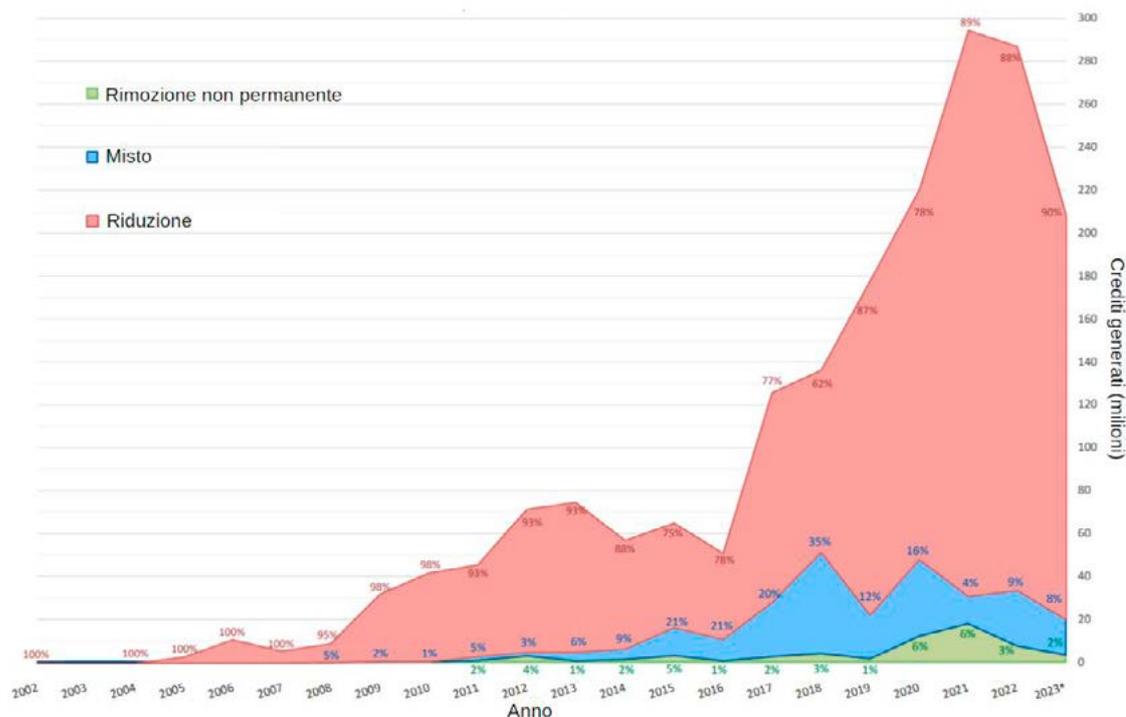


Figura 3. Entità dei crediti di carbonio generati nel tempo (milioni di tonnellate di CO₂), suddivisa per riduzione e rimozione del carbonio. Fonte: Delacote et al., 2024

ti di carbonio, ma anche alla crescente incertezza tra gli acquirenti in attesa delle linee guida della Science Based Targets Initiative (SBTi) (Procton et al., 2024). SBTi è il più grande e influente validatore di obiettivi climatici aziendali (Day et al., 2024).

Le linee guida di SBTi, pubblicate a gennaio 2024, riguardano la 'beyond value chain mitigation' (BVCM), cioè la mitigazione delle emissioni che vanno oltre la catena del valore dell'azienda. Queste linee guida chiarivano il ruolo dei crediti di carbonio nelle strategie climatiche aziendali, affermando che investire in BVCM, acquistando crediti di carbonio, può contribuire all'azione climatica complessiva poiché il finanziamento aziendale per azioni climatiche più ampie è urgentemente necessario (Dufrasne, 2024). Tuttavia, questi crediti non sono un sostituto della riduzione delle proprie emissioni interne (scope 1, 2 e 3, cioè quelle dirette e indirette all'interno della catena del valore aziendale) (Dufrasne, 2024).

Alcuni mesi dopo, il Board of Trustees di SBTi ha riconosciuto i crediti di carbonio come un metodo valido per "ridurre" le emissioni Scope 3 (SBTi Board of Trustees, 2024). Le emissioni Scope 3 comprendono tutte le emissioni indirette lungo la catena del valore di un'azienda da fonti non direttamente possedute o controllate dall'azienda e rappresentano una parte significativa delle emissioni totali di un'azienda. Questa decisione, presa senza una chiara consultazione con il Consiglio Tecnico di SBTi, ha compromesso la

fiducia nel processo di governance di SBTi e ha innescato critiche significative, poiché potrebbe permettere alle aziende di migliorare apparentemente le loro prestazioni climatiche senza ridurre effettivamente le emissioni (Day et al., 2024). Questo annuncio arriva in un momento in cui si vede un generale slancio verso l'introduzione di meccanismi di flessibilità per gli obiettivi di riduzione delle emissioni Scope 3. Ad esempio, VCMI's beta Scope 3 Flexibility Claim (VCMI, 2023) permetterebbe alle aziende di acquistare crediti di carbonio per coprire fino al 50% delle loro emissioni annuali. Questa flessibilità viene incontro alle difficoltà delle aziende nel raggiungere i loro obiettivi di riduzione delle emissioni di Scope 3, permettendo loro di sostituire le riduzioni di emissioni con l'acquisto di crediti di carbonio.

Da questa situazione emerge un quadro in cui le aziende faticano a raggiungere gli obiettivi prefissati, nonostante questi non siano sufficienti per le riduzioni delle emissioni ai livelli richiesti per limitare il riscaldamento globale a meno di 1,5°C. Questi meccanismi di flessibilità rischiano però di annullare i target Scope 3 della maggior parte delle aziende, riducendo i loro impegni per il 2030 a coprire solo le emissioni Scope 1 e 2 (Thomas Day et al., 2024).

A causa della resistenza interna da parte dello staff di SBTi, si è in attesa di nuove dichiarazioni e del risultato ufficiale della revisione dello standard SBTi che guida gli obiettivi aziendali di zero emissioni nette (SBTi Bo-

ard of Trustees, 2024). L'annuncio di SBTi non ha incluso dettagli sui tipi di crediti che saranno considerati validi (SBTi Board of Trustees, 2024). L'approvazione dell'uso dei crediti del mercato volontario del carbonio per compensare alcune emissioni Scope 3 potrebbe aumentare notevolmente la domanda, considerando l'elevato quantitativo di emissioni associate allo Scope 3 (Procton et al., 2024). Inoltre, se SBTi indicasse la validità dell'utilizzo dei crediti relativi a emissioni ridotte per la compensazione delle emissioni Scope 3, potrebbe cambiare le tipologie di crediti acquistati.

Una eventuale decisione di procedere ancora con questa flessibilità significherebbe che le difficoltà delle aziende nel raggiungere i target di riduzione delle emissioni al 2030, invece di essere affrontate direttamente, vengono 'risolte' attraverso la 'compensazione' (Thomas Day et al., 2024), che, come abbiamo spiegato nella sezione precedente, è problematico e non rappresenta una reale compensazione dei danni creati dalle emissioni.

Un altro sviluppo futuro che potrebbero impattare il mercato volontario sono le decisioni riguardo all'Articolo 6 dell'accordo di Parigi.

5. Interazioni e futuri sviluppi

Le negoziazioni per rendere operativo l'Articolo 6 hanno aperto diverse discussioni su temi che riguardano anche i mercati volontari. Oramai è chiaro che i futuri sviluppi dei meccanismi di mercato regolamentati e volontari sono strettamente intrecciati.

Per quanto riguarda l'impatto che i mercati volontari del carbonio avranno sull'Articolo 6, non è previsto un impatto diretto, ma potrebbero esserci influenze, anche se non sempre tangibili. È probabile che il Supervisory Body, l'organo UNFCCC incaricato di sviluppare e supervisionare i processi necessari per rendere operativo l'Articolo 6.4, prenda in considerazione le esperienze e le buone pratiche dei mercati volontari per definire le attività ammissibili (Granziera et al. 2024). D'altra parte, non è ancora chiaro come le decisioni prese nell'ambito delle negoziazioni sotto l'UNFCCC influenzeranno i mercati volontari. Sebbene l'Articolo 6 non abbia potere regolativo sui VCMs (Granziera et al., 2024), potrebbe facilitare significativi cambiamenti nelle preferenze degli acquirenti e nella tipologia di crediti che verranno scambiati in futuro.

Le principali questioni su cui le decisioni dell'Articolo 6 influenzeranno entrambi i meccanismi sono:

- Doppia rendicontazione: attualmente, nei mercati volontari del carbonio esiste il rischio di doppia rendicontazione, poiché una riduzione delle emissioni legata a un progetto potrebbe essere conteggiata sia dal Paese ospitante nel suo inventario nazionale del-

le emissioni per adempiere ai suoi NDC, sia dall'azienda che ha acquistato i crediti corrispondenti. Per evitare questo problema, nell'Articolo 6 sono stati introdotti gli "adequamenti corrispondenti" (corresponding adjustments), che ridurranno significativamente il rischio che la stessa riduzione delle emissioni venga conteggiata da due entità. Questo strumento prevede che quando un "Mitigation Outcome" è scambiato tra Paesi, il Paese ospitante del progetto deve sottrarre quelle unità dal proprio conteggio, mentre il Paese acquirente le conteggerà per il raggiungimento dei propri obiettivi climatici. Questo meccanismo potrebbe avere importanti influenze sui VCMs, poiché i crediti sottoposti ad un adeguamento, avendo maggiore integrità, potrebbero essere più richiesti dalle aziende. La doppia rendicontazione potrebbe risultare in una maggiore integrità dei VCMs.

- Nuovi standard nei mercati volontari: questo trend è già visibile nel fatto che Gold Standard e Verra hanno sviluppato linee guida per integrare le attività dei progetti nel framework dell'Articolo 6 (Granziera et al., 2024). L'allineamento con le regole dell'Articolo 6 potrebbe conferire maggiore integrità e aumentare la fiducia e il valore percepito di questi crediti.
- Inclusione/non inclusione dei crediti basati sulla natura: al momento l'Articolo 6 non esclude l'utilizzo di progetti di rimozione del carbonio con stoccaggio a breve termine (ossia dei progetti "basati sulla natura") (Crook, 2023), poiché, dopo 20 anni di esperienza di mercati volontari, l'integrità ambientale non è ancora sufficiente. L'accordo di Parigi richiede alle Parti di garantire l'integrità ambientale quando si impegnano nei trasferimenti internazionali di risultati di mitigazione (La Hoz Theuer et al., 2019).

In aggiunta, dal momento che le unità dell'Articolo 6 prevedono i corresponding adjustments, i Paesi ospitanti non potranno contare quelle attività verso il raggiungimento dei loro NDC. Se i crediti nei VCMs dovessero essere soggetti a questi aggiustamenti, i Paesi potrebbero richiedere che i progetti VCM abbiano l'approvazione del governo per garantire il raggiungimento dei propri NDC. A seconda delle attività ammissibili per l'emissione di risultati di mitigazione, i Paesi potrebbero voler regolamentare i VCMs, stabilendo limiti alle attività che possono essere svolte per ottenere crediti per il mercato volontario. In questo modo, potrebbero beneficiare direttamente del finanziamento derivante dalla vendita di queste unità, piuttosto che lasciarlo ai privati o ai broker. Potrebbero anche richiedere requisiti minimi per salvaguardare le popolazioni locali, come ha già fatto il Kenya, che richiede

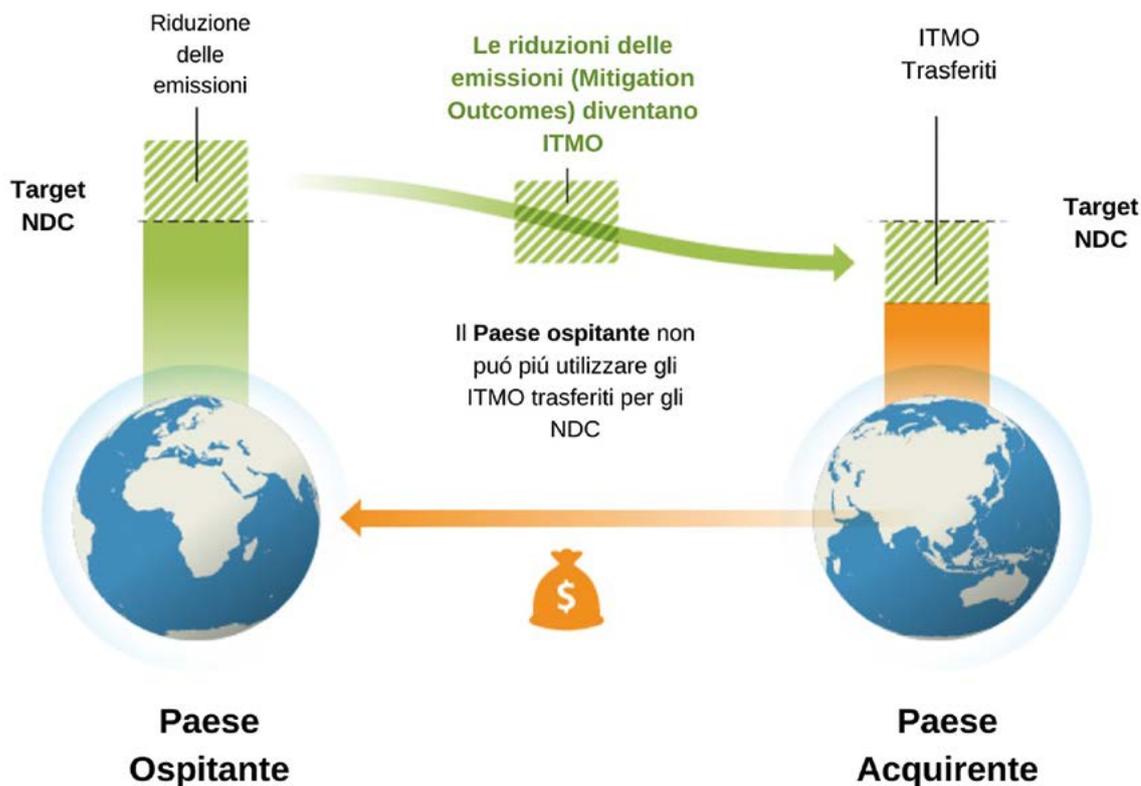


Figura 4. Schema degli “adeguamenti corrispondenti” (Granziera et al., 2024).

che almeno il 25% dei ricavi di un progetto sia destinato alle comunità locali.

In sintesi, le decisioni relative ai tipi di attività di rimozione della CO₂ atmosferica o di riduzione delle emissioni che saranno qualificate per produrre Mitigation Outcomes devono considerare le problematiche di addizionalità e permanenza intrinseche ai progetti basati sui sistemi naturali. Inoltre, la possibilità per le Parti di stipulare accordi di riservatezza riguardo agli scambi di ITMO solleva questioni di trasparenza simili a quelle riscontrate nei mercati volontari del carbonio (sezione 4.2). Si auspica quindi che le esperienze passate abbiano fornito lezioni utili e che le decisioni che verranno prese nell’ambito dell’Articolo 6 evitino di ripetere gli errori commessi nei VCMs. Oltre a ciò, queste decisioni hanno un peso aggiuntivo perché daranno un segnale chiaro ai VCMs sulla direzione da seguire.

6. Conclusioni

I mercati del carbonio regolamentati dall’Articolo 6 dell’accordo di Parigi e quelli volontari differiscono notevolmente e si trovano in fasi diverse di sviluppo, evoluzione e implementazione. I mercati regolamentati sono soggetti a norme più stringenti volte a garantire l’integrità delle riduzioni delle emissioni, ma sono meno definiti e non ancora pienamente operativi. Le future decisioni su tipologie di attività ammesse e re-

gole di trasparenza saranno determinanti per la loro praticabilità e integrità.

Dall’altra parte, i VCMs operano in un contesto meno regolamentato, con maggiore flessibilità ma affrontando sfide significative in termini di credibilità e trasparenza. In questo articolo sono state analizzate le somiglianze, le differenze e le interazioni tra questi due sistemi, evidenziando come le future decisioni nell’ambito dell’Articolo 6, in particolare riguardo agli “aggiustamenti corrispondenti” e ai meccanismi di verifica e trasparenza, influenzeranno probabilmente i VCMs. I VCMs possono migliorare la loro credibilità e integrità adottando alcune pratiche di verifica e trasparenza dei mercati regolamentati.

Questi impatti saranno particolarmente rilevanti alla luce della crisi di credibilità attuale dei VCMs. La mancanza di regolamentazione ha sollevato preoccupazioni riguardo all’effettiva addizionalità e permanenza dei crediti emessi, mettendo in dubbio la loro efficacia nella mitigazione dei cambiamenti climatici. È auspicabile che le questioni relative all’integrità dei crediti vengano esaminate attentamente e che si superi la logica della semplice compensazione delle emissioni, vedendo invece i crediti di carbonio come contributi volontari e aggiuntivi per guadagnare tempo verso una reale riduzione delle emissioni.

In conclusione, il futuro dei mercati del carbonio dipenderà dalla loro capacità di evolversi e adattarsi alle

s sfide attuali. La sinergia tra mercati regolamentati e volontari, purché le decisioni dell'Articolo 6 siano prese con attenzione, rappresenta una strada promettente per una maggiore efficacia nella lotta ai cambiamenti climatici, garantendo al contempo la credibilità e l'integrità necessarie per mantenere la fiducia di investitori e parti interessate.

Riferimenti bibliografici

- Allen M., Cullenward D., Hepburn C. et al. (2020). The Oxford Principles for Net Zero Aligned Carbon Offsetting 2020. Disponibile a: <https://www.smithschool.ox.ac.uk/sites/default/files/2022-01/Oxford-Offsetting-Principles-2020.pdf> [Consultato: 2 maggio 2023].
- Babiker M., Abdel-Aziz A., Shukla P.R. et al. (2022). Cross-sectoral perspectives. In: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1245–1354. doi: 10.1017/9781009157926.005.
- Brander M., Broekhoff D. (2023). Discounting emissions from temporarily stored carbon creates false claims on contribution to cumulative emissions and temperature alignment. SSRN Electronic Journal. Disponibile a: <https://ssrn.com/abstract=4353340>.
- Calyx Global. (2023). What is a carbon credit rating and how does it mitigate risk? Disponibile a: <https://calyxglobal.com/blog-post?q=64> [Consultato: 1 luglio 2024].
- Carbon Credit (2024). Carbon Prices and Voluntary Carbon Markets Faced Major Declines in 2023, What's Next for 2024? Disponibile a: <https://carboncredits.com/carbon-prices-and-voluntary-carbon-markets-faced-major-declines-in-2023-whats-next-for-2024/> [Consultato: 3 luglio 2024].
- Carbon Market Watch. (2020). Above and Beyond Carbon Offsetting - Alternatives to compensation for climate action and sustainable development. Brussels. Disponibile a: <https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2020/12/Above-and-beyond-carbon-offsetting.pdf> [Consultato: 28 giugno 2024].
- Carbon Market Watch. (2023). Taming the Wild West of the voluntary carbon market. Disponibile a: <https://carbonmarketwatch.org/2023/12/08/taming-the-wild-west-of-the-voluntary-carbon-market/> [Consultato: 3 luglio 2024].
- Crehalet E., Foll J., Haustant P., Hessenberger T. (2021). Carbon Offsetting: How can it contribute to the net zero goal? Amundi Research Center. 17 novembre. Disponibile a: <https://research-center.amundi.com/files/nuxeo/dl/3e677c16-cfc8-47a1-bd28-6e62da6bca03?inline=#:~:text=Reduction%20offsetting%20prevents%20more%20carbon,carbon%20capture%20and%20storage%20technologies.> [Consultato: 29 giugno 2024].
- Crook J. (2023). FAQ: Everything you need to know about Article 6 at COP28. Disponibile a: <https://carbonmarketwatch.org/2023/11/24/faq-everything-you-need-to-know-about-article-6-at-cop28/> [Consultato: 3 luglio 2024].
- Crook J. (2024). Will Bonn reset lead to Baku handshake on Paris Agreement's Article 6? Disponibile a: <https://carbonmarketwatch.org/2024/06/14/will-bonn-reset-lead-to-baku-handshake-on-paris-agreements-article-6/> [Consultato: 3 luglio 2024].
- Cullenward D. (2023). A framework for assessing the climate value of temporary carbon storage. Disponibile a: <https://carbonmarketwatch.org/publications/a-framework-for-assessing-the-climate-value-of-temporary-carbon-storage/> [Consultato: 1 ottobre 2023].
- Day T., Dirk F., Langer J. et al. (2022). Corporate Climate Responsibility Monitor 2022. Disponibile a: <https://newclimate.org/sites/default/files/2022-06/CorporateClimateResponsibilityMonitor2022.pdf>.
- Delacote P., Laurent F., Morvan G. et al. (2024). Strong transparency required for carbon credit mechanisms. doi: 10.1038/s41893-024-01310-0.
- Donofrio S., Maguire P., Myers K. et al. (2022). State of the Voluntary Carbon Markets 2022. Disponibile a: <https://www.ecosystemmarketplace.com/publications/state-of-the-voluntary-carbon-markets-2022/> [Consultato: 20 maggio 2024].
- Donofrio S., Procton A., Calderon C. et al. (2023). State of the Voluntary Carbon Markets 2023. Washington DC. Disponibile a: <https://www.ecosystemmarketplace.com/articles/new-state-of-the-voluntary-carbon-markets-2023-finds-vcm-demand-concentrating-around-pricier-high-integrity-credits/> [Consultato: 18 giugno 2024].
- Dufasne G. (2024). New SBTi guidance: A positive development for carbon credits. Disponibile a: <https://carbonmarketwatch.org/2024/02/28/new-sbti-guidance-a-positive-development-for-carbon-credits/> [Consultato: 3 luglio 2024].
- Energy Monitor (2023) Are forest-based carbon offsets worth saving?. Disponibile a: https://www.energymonitor.ai/newsletters/are-forest-based-carbon-offsets-worth-saving?type=Spotlight&utm_source=email&utm_medium=email&utm_content=SpotlightNewsArticle&utm_campaign=type3_power-market [Consultato: 22 maggio 2024].
- Filmanovic M.E. (2021). The State of the Carbon Developer Ecosystem Exploring the future of voluntary carbon markets through a developer lens. Disponibile a: https://cdn.asp.events/CLIENT_Innovati_94A26F7C_B3C0_752F_CC179EFAFD17992A/sites/Innovation-Zero-2023/media/libraries/exhibitor-brochures/1530-Carbon-Developer-Ecosystem-2022.pdf [Consultato: 3 luglio 2024].

- Granziera B., Hamrick K., Verdick J. (2024). Article 6 Explainer - Questions and answers about the COP decisions on carbon markets and what they mean for NDCs, nature, and the voluntary carbon markets. Disponibile a: https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/TNC_Article_6_Explainer.pdf [Consultato: 28 giugno 2024].
- Guizar-Coutiño A., Jones J.P.G., Balmford A. et al. (2022). A global evaluation of the effectiveness of voluntary REDD+ projects at reducing deforestation and degradation in the moist tropics. *Conservation Biology*. doi: 10.1111/cobi.13970.
- Hengeveld M. (2024). Greenlighting abuse. Disponibile a: <https://www.somo.nl/greenlighting-abuse/> [Consultato: 24 maggio 2024].
- La Hoz Theuer S., Schneider L., Broekhoff D. (2019). When less is more: limits to international transfers under Article 6 of the Paris Agreement. *Climate Policy* 19(4), 401–413. doi: 10.1080/14693062.2018.1540341.
- Joos F., Roth R., Fuglestedt J.S. et al. (2013). Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: A multi-model analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13(5), 2793–2825. doi: 10.5194/acp-13-2793-2013.
- Mapped: Carbon offsets 2023. (2023). Disponibile a: <https://interactive.carbonbrief.org/carbon-offsets-2023/mapped.html> [Consultato: 24 maggio 2024].
- Mitchell-Larson E., Mäkelä A., Hofbauer V. et al. (2022). A Guide to Certifying Carbon Removal. Disponibile a: https://carbongap.org/wp-content/uploads/2022/11/Carbon_Gap_White_Paper_Oct22_updateCRCE.pdf [Consultato: 25 aprile 2023].
- Greenfield P. (2023). Revealed: more than 90% of rainforest carbon offsets by biggest certifier are worthless, analysis shows. *The Guardian*. 18 gennaio. Disponibile a: <https://www.theguardian.com/environment/2023/jan/18/revealed-forest-carbon-offsets-biggest-provider-worthless-verra-aoe> [Consultato: 2 giugno 2023].
- Probst B., Toetzke M., Kontoleon A. et al. (2023). Systematic review of the actual emissions reductions of carbon offset projects across all major sectors. *ETH Zurich*. doi: 10.3929/ethz-b-000620307
- Procton A., Barber C., Bennett G. et al. (2024). State of the Voluntary Carbon Market 2024. Disponibile a: <https://www.ecosystemmarketplace.com/publications/2024-state-of-the-voluntary-carbon-markets-sovcmm/> [Consultato: 3 luglio 2024].
- Roe S., Streck C., Obersteiner M. et al. (2019). Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. *Nature Climate Change* 9(11), 817–828. doi: 1038/s41558-019-0591-9.
- SBTi Board of Trustees (2024) Statement from the SBTi Board of Trustees on use of environmental attribute certificates, including but not limited to voluntary carbon markets, for abatement purposes limited to scope 3. Disponibile a: <https://sciencebasedtargets.org/news/statement-from-the-sbti-board-of-trustees-on-use-of-environmental-attribute-certificates-including-but-not-limited-to-voluntary-carbon-markets-for-abatement-purposes-limited-to-scope-3> [Consultato: 3 luglio 2024].
- Scope 3 Flexibility Claim - Beta version. (2023). Disponibile a: <https://vcmintegrity.org/wp-content/uploads/2023/11/Scope-3-Flexibility-Claim-Beta.pdf> [Consultato: 3 luglio 2024].
- Day T., Langer J., Coss M. et al. (2024). Corporate Climate Responsibility Monitor 2024. Disponibile a: <https://newclimate.org/resources/publications/corporate-climate-responsibility-monitor-2024> [Consultato: 9 aprile 2024].
- Verra Publishes Updated Fee Schedules. (2023). Disponibile a: <https://verra.org/verra-publishes-updated-fee-schedules/> [Consultato: 24 giugno 2024].
- West T.A.P., Börner J., Sills E.O. et al. (2020). Overstated carbon emission reductions from voluntary REDD+ projects in the Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(39), 24188–24194. doi: 10.1073/pnas.2004334117.
- West T.A.P., Wunder S., Sills E.O. et al. (2023). Action needed to make carbon offsets from tropical forest conservation work for climate change mitigation. *Science* 381(6660), 873–877. doi: 10.1126/science.ade3535.
- West T.A.P., Bomfim B., Haya B.K. (2024). Methodological issues with deforestation baselines compromise the integrity of carbon offsets from REDD+. *Global Environmental Change* 87. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2024.102863.

Ringraziamenti

L'autrice ringrazia il prof. Stefano Caserini per i suggerimenti e il confronto sui contenuti dell'articolo.

Dichiarazione sull'utilizzo di intelligenza artificiale generativa e tecnologie assistite dall'ia nel processo di scrittura

Durante la revisione di questo lavoro, l'autrice ha utilizzato ChatGPT per ottenere suggerimenti volti a migliorare la leggibilità dei testi. Dopo aver utilizzato questo strumento/servizio, l'autrice ha riveduto e modificato il contenuto secondo necessità e si assume la piena responsabilità del contenuto della pubblicazione.

Dichiarazione di interessi conflittuali

L'autrice dichiara di non avere interessi finanziari o relazioni personali in conflitto che potrebbero apparire per influenzare il lavoro riportato in questo articolo.

LA RIMOZIONE DI CO₂ ATMOSFERICA, UN EMERGENTE AMBITO DI RICERCA

Stefano Caserini

Università di Parma, Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Sommario

La ricerca scientifica sulle tecnologie e le pratiche per rimuovere CO₂ dall'atmosfera sta notevolmente evolvendo, parallelamente alla comprensione dell'importanza di queste misure per obiettivi ambiziosi di contenimento del surriscaldamento globale. Nella terza conferenza internazionale sulle emissioni negative di CO₂ che si è svolta ad Oxford dal 18 al 22 giugno, in cui sono state approfondite le principali opzioni oggi proposte per rimuovere CO₂ dall'atmosfera e immagazzinarla nella biosfera, nel suolo, nel sottosuolo o negli oceani, è risultato evidente il forte sviluppo di questo settore. Sono altresì stati discussi gli aspetti relative al ruolo che le tecnologie di rimozione CO₂ possono avere nell'ambito delle politiche sul clima e per lo sviluppo sostenibile, nonché gli aspetti relativi alla verifica e al monitoraggio delle rimozioni.

Parole chiave: *cambiamenti climatici, rimozione CO₂, tecnologie per emissioni negative, mitigazione.*

THE REMOVAL OF ATMOSPHERIC CO₂, AN EMERGING AREA OF RESEARCH

Abstract

The scientific research on technologies and practices to remove CO₂ from the atmosphere is significantly evolving, in parallel with the understanding of the importance of these measures for ambitious goals of limiting global warming. In the third international conference on negative CO₂ emissions in Oxford from 18 to 22 June, in which the main options proposed for removing CO₂ from the atmosphere and storing it in the biosphere, soil, underground or in the oceans have been discussed, the strong development of this sector was evident. This is a rapidly developing field of scientific research. Aspects relating to the role that CO₂ removal technologies can have in the context of climate policies and sustainable development were also discussed, as well as aspects relating to the verification and monitoring of removals.

Keywords: *climate change, carbon dioxide removal, negative emission technologies, mitigation.*

Si è svolta a Oxford dal 18 al 22 giugno la terza conferenza internazionale sulle emissioni negative di CO₂. Dopo le prime due edizioni svoltesi a Göteborg nel 2019 e nel 2022, la conferenza che per quattro giorni si è svolta presso il Dipartimento di matematica dell'Università di Oxford ha testimoniato l'impetuoso sviluppo negli ultimi anni della ricerca scientifica sulle tecniche di rimozione di CO₂ (carbon dioxide removal, CDR), nonché l'attenzione del contesto normativo e del negoziato sul clima per questa opzione di mitigazione del cambiamento climatico.

Un'opzione che è di grande interesse per il mondo dell'ingegneria sanitaria ambientale, ad esempio perché queste tecniche devono essere valutate con attenzione nei loro potenziali benefici e impatti sulle diverse componenti ambientali.

Circa 360 scienziati, ricercatori, rappresentanti di aziende del settore hanno partecipato all'evento. Più di 150 persone hanno seguito i lavori da remoto.

Le sessioni della conferenza hanno riguardato tutte le principali opzioni oggi discusse per rimuovere CO₂ dall'atmosfera e immagazzinarla nella biosfera, nel suolo, nel sottosuolo o negli oceani. Su questo tema, il Sesto rapporto dell'IPCC-WG3 (terzo gruppo di lavoro: mitigazione del cambiamento climatico), nel capitolo 12 (Babiker et al., 2022) ha svolto una rassegna delle tecniche oggi disponibili, in quanto sono considerate "un elemento necessario per raggiungere l'azzeramento delle emissioni nette di CO₂ e di gas a effetto serra (GHG) sia a livello globale che nazionale, controbilanciando le emissioni residue dei settori di difficile transizione". Secondo l'IPCC, che, come noto, assegna un grado di evidenza/incertezza alle principali asserzioni che riassumono la sua rassegna della letteratura esistente, c'è una "solida evidenza" e un "alto accordo" che la rimozione di CO₂ sia "un elemento chiave negli scenari che limitano il riscaldamento a 2°C (con probabilità almeno del 67%) entro il 2100".

* Per contatti: Parco Area delle Scienze, 181/A, 43124 Parma, +39 0521 905537, stefano.caserini@unipr.it



Foto di Francesco Campo

Le principali tecniche CDR considerate dall'IPCC, e discusse nelle sessioni della Conferenza di Oxford, sono:

- imboscamento/riforestazione e miglioramento della gestione forestale;
- sequestro di carbonio nei suoli;
- utilizzo del biochar;
- bioenergia con cattura e stoccaggio del carbonio (Bioenergy and Carbon Capture and Storage, BECCS);
- cattura e stoccaggio diretto del carbonio atmosferico (Direct air Carbon Capture and Storage, DACCS);
- dilavamento accelerato delle rocce (enhanced weathering);
- ripristino delle torbiere e delle zone umide costiere;
- gestione del carbonio sequestrato negli ecosistemi marini (blue carbon management);
- aumento dell'alcalinità degli oceani (ocean alkalinity enhancement, OAE);
- fertilizzazione dell'oceano.

Questi diversi metodi CDR differiscono in termini di processo di rimozione, tempi di stoccaggio del carbonio, maturità tecnologica, potenziale di mitigazione, costi, benefici collaterali, effetti collaterali negativi e requisiti di governance.

Oltre alla rassegna dell'IPCC, è stato recentemente pubblicato il secondo rapporto sullo "State of CDR" (Smith et al., 2024), che ha aggiornato al 2024 lo stato delle conoscenze sul CDR.

Il principale autore di questo rapporto, Steve Smith, direttore esecutivo dell'iniziativa di ricerca interdisciplinare Oxford Net Zero, ha aperto i lavori della Conferenza con il primo keynote speech, spiegando come ad oggi il CDR "convenzionale" – le attività legate alle foreste – costituisca la parte nettamente preponderante dell'attuale rimozione di CO₂ dall'atmosfera, pari circa a 2 miliardi di tonnellate di CO₂ rimosse ogni anno. Questo quantitativo è pari al 5% delle emissioni antropogeniche annue di CO₂, pari a 40 miliardi di tonnellate/anno.

Gli approcci tecnologici CDR più "nuovi" attualmente rimuovono complessivamente circa 1,3 milioni di tonnellate di CO₂/anno, quindi meno dello 0,1% delle rimozioni totali di CO₂.

Tra questi, secondo Smith il biochar ha un ruolo centrale, mentre la bioenergia con cattura e stoccaggio del carbonio (BECCS) è oggi limitata a due impianti presenti negli Stati Uniti.

Tutte le altre tecnologie CDR sono ancora in fase di ricerca e sviluppo, con prototipi o impianti di piccole dimensioni, inclusa la cattura e lo stoccaggio diretto del carbonio atmosferico (DACCS), che pur oggi sta catalizzando un grande interesse dei ricercatori e degli investitori.

Un tema centrale della conferenza è stato anche come misurare la quantità di carbonio effettivamente assorbita, nonché come valutare gli impatti dei diversi approcci sui cicli biogeochimici, sull'ambiente in generale e sulle persone.

Le attività di "misurazione, reporting e verifica" (in gergo MRV) sono essenziali per permettere la generazione di crediti di CO₂ che possano essere scambiati sui mercati del carbonio, in modo da ricavare le risorse per la realizzazione dei progetti stessi. Secondo Paul Zakkour di Carbon Counts, che ha tenuto il keynote speech nella seconda giornata della conferenza, qualsiasi credito da rimozione di CO₂ deve garantire che la rimozione sia reale, misurabile, aggiuntiva, non conteggiata due volte, e permanente. A questo fine ha ricordato come esistano ormai più di 50 metodologie per attribuire crediti a metodi "naturali" di CDR, come la gestione delle foreste e lo stoccaggio di carbonio organico nel suolo, mentre ne esistono circa 20 per i "nuovi" metodi CDR. Quasi tutte queste metodologie sono state sviluppate solo negli ultimi tre anni. Secondo Zakkour non è chiaro quanti progetti stiano effettivamente utilizzando



Foto di Francesco Campo

queste metodologie per entrare nei mercati volontari del carbonio.

I metodi “forestali” hanno occupato un grande spazio nelle sessioni della conferenza, con valutazioni sui livelli di efficienza dei vari metodi, tenendo conto dei diversi contesti geografici, delle tipologie di biomasse, e delle implicazioni per la biodiversità. Ad esempio, una ricerca del Mercator Research Institute presentata da Ruben Prutz, che ha esaminato come il BECCS potrebbe impattare su 130.000 specie a livello globale, ha concluso che gli impatti del CDR terrestre sono distribuiti in modo ineguale e ricadono principalmente sui paesi del sud del mondo.

Il prof. David Ho dell’Università delle Hawaii ha tenuto una keynote speech sui metodi di rimozione di CO₂ basati sugli oceani, affermando che hanno ancora molte sfide da superare prima di essere fattibili su grande scala. In particolare, si è soffermato sulle difficoltà nel quantificare le rimozioni in modo preciso a causa della variabilità naturale dell’oceano, della chimica dei carbonati, della miscelazione e della circolazione dell’oceano.

Secondo Hu, i metodi “abiotici” di rimozione della CO₂ come l’aumento dell’alcalinità dell’oceano sono “più facili” da monitorare e verificare. Anche per questo, il registro delle rimozioni di carbonio Isometric ha recentemente pubblicato il primo protocollo per valutare la rimozione del carbonio dall’alcalinizzazione degli oceani.

Nella conferenza hanno trovato spazio anche gli aspetti di regolamentazione dell’implementazione del CDR, ad esempio per quanto riguarda l’inclusione di molte più opzioni CDR negli impegni determinati a livello nazionale (Nationally Determined Contributions, NDC) dei Paesi nell’ambito dell’Accordo di Parigi; o, a livello europeo, per l’inclusione delle tecnologie CDR all’interno dell’emission trading system.

La conferenza di Oxford ha quindi confermato il grande fermento del settore della rimozione di CO₂, dimostrato dalla crescita esponenziale nella letteratura scientifica sul CDR, con circa 23.000 documenti considerati dall’ultimo ciclo di valutazione dell’IPCC.

La percezione pubblica dell’importanza del CDR è ancora limitata, come hanno mostrato le numerose indagini realizzate per lo più nei paesi occidentali. Dai 165 articoli pubblicati su questo tema, secondo il dott. Finn Muller-Hansen del Mercator research institute, emerge una scarsa consapevolezza di cosa siano i metodi CDR e atteggiamenti differenti nei confronti dei diversi metodi, con un maggiore gradimento per i metodi percepiti come “naturali” e nei contesti in cui c’è più fiducia per le istituzioni.

Nella sessione finale della conferenza, l’ex deputato conservatore e presidente della COP26 di Glasgow Alok Sharma ha affermato che i governi non stanno agendo abbastanza rapidamente per ridurre le emissioni di CO₂, ma che questo ritardo non è dovuto alla disponibilità delle tecnologie CDR, che quindi non rischiano di avere un effetto di deterrenza e rallentare ulteriormente le azioni di mitigazione.

La conclusione è che, visto il grande divario fra le politiche di mitigazione già decise o in corso di implementazione, e quelle necessarie per raggiungere gli obiettivi dell’accordo di Parigi, sarebbe conveniente avere a disposizione un portafoglio di opzioni CDR ampio e diversificato.

La prossima conferenza sulle emissioni negative di CO₂ si terrà a Vienna, in Austria, nel 2026.

Riferimenti bibliografici

- Babiker M., G. Berndes, K. Blok, B. Cohen, A. Cowie, O. Geden, V. Ginzburg, A. Leip, P. Smith, M. Sugiyama, F. Yamba (2022): Cross-sectoral perspectives. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.005
- Smith, S. M., Geden, O., Gidden, M. J., Lamb, W. F., Nemet, G. F., Minx, J. C., Buck, H., Burke, J., Cox, E., Edwards, M. R., Fuss, S., Johnstone, I., Müller-Hansen, F., Pongratz, J., Probst, B. S., Roe, S., Schenuit, F., Schulte, I., Vaughan, N. E. (eds.) (2024) The State of Carbon Dioxide Removal 2024 - 2nd Edition. DOI 10.17605/OSF.IO/F85QJ <https://www.stateofcdr.org/resources>

Sito della conferenza:

<https://www.negativeCO2emissions2024.com/>

Le registrazioni dei keynote speech sono disponibili su youtube.

E24

The ecosystem
of the Ecological
Transition

NOVEMBER
5 — 8,
2024

RIMINI
EXPO CENTRE
Italy



ecomondo.com

ECOMONDO

The green technology expo.

Ecomondo è l'evento leader nei settori della green and circular economy. Punto di incontro tra industrie, stakeholder, policy maker, opinion leader, mondo della ricerca e delle istituzioni, mette a sistema gli elementi chiave che definiscono le strategie di sviluppo della politica ambientale dell'Unione Europea.

Organized by

ITALIAN EXHIBITION GROUP
Providing the future

In collaboration with



ITA[®]
ITALIAN TRADE AGENCY

madeinitaly.gov.it

Pubbllichiamo la traduzione dell'articolo "Evaluating nuclear power's suitability for climate change mitigation: technical risks, economic implications and incompatibility with renewable energy systems", di Fabian Präger, Christian Breyer, Hans-Josef Fell, Christian von Hirschhausen, Claudia Kemfert, Björn Steigerwald, Thure Traber e Ben Wealer recentemente uscito sulla rivista "Frontiers in Environmental Economics", a riguardo di un tema di grande attualità per le politiche climatiche e ambientali anche in Italia.

VALUTAZIONE DELL'IDONEITÀ DELL'ENERGIA NUCLEARE ALLA MITIGAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI: RISCHI TECNICI, IMPLICAZIONI ECONOMICHE E INCOMPATIBILITÀ CON I SISTEMI DI ENERGIA RINNOVABILE

Fabian Präger^{1,*}, Christian Breyer², Hans-Josef Fell³, Christian von Hirschhausen^{1,4}, Claudia Kemfert^{4,5,6}, Björn Steigerwald^{1,4}, Thure Traber³ e Ben Wealer¹

¹ Workgroup for Infrastructure Policy, Technical University of Berlin (TU), Berlin, Germany

² School of Energy Systems, LUT University, Lappeenranta, Finland

³ Energy Watch Group, Berlin, Germany

⁴ German Institute for Economic Research (DIW) Berlin, Department Energy, Transport, Environment, Berlin, Germany

⁵ German Advisory Council on the Environment (SRU), Berlin, Germany

⁶ Energy Economics and Energy Policy, Leuphana University Lüneburg, Lüneburg, Germany

Sommario

Il contributo presenta un'analisi approfondita di valutazione dell'idoneità dell'energia nucleare come opzione per contrastare la crescente emergenza climatica. Riassumendo e valutando gli argomenti chiave, chiariamo perché l'energia nucleare non è un'opzione idonea ad affrontare il cambiamento climatico. L'argomento principale è incentrato sui rischi tecnici e umani irrisolti di incidenti e proliferazione, che difficilmente potranno essere efficacemente mitigati in futuro. Inoltre, evidenziamo le significative disparità di costo tra l'energia nucleare e altre fonti energetiche non fossili, come il solare fotovoltaico e l'energia eolica, considerando i costi medi netti dell'elettricità valutati sulla vita utile delle opere di generazione dell'energia. Affrontiamo anche l'incompatibilità dell'energia nucleare con i sistemi di energia rinnovabile, sottolineando la necessità di flessibilità a fronte delle risorse solari ed eoliche, per loro natura variabili. Le tecnologie alternative dei reattori nucleari non saranno disponibili in tempo per dare un contributo importante. L'energia nucleare pone anche sfide nel funzionamento delle centrali elettriche nel contesto dei cambiamenti climatici e delle situazioni di conflitto armato. In definitiva, riteniamo che dovrebbero essere esplorate altre motivazioni per giustificare il continuo interesse per l'energia nucleare in alcuni Paesi, poiché, da sole, le argomentazioni relative all'approvvigionamento energetico non sono sufficienti a giustificare nuovi investimenti.

Parole chiave: *energia nucleare, mitigazione del cambiamento climatico, rischi, economia, sistema energetico, rinnovabili*

EVALUATING NUCLEAR POWER'S SUITABILITY FOR CLIMATE CHANGE MITIGATION: TECHNICAL RISKS, ECONOMIC IMPLICATIONS AND INCOMPATIBILITY WITH RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

Abstract

This paper presents a comprehensive analysis of the suitability of nuclear power as an option to combat the escalating climate emergency. Summarizing and evaluating key arguments, we elucidate why nuclear power is unsuitable for addressing climate change. The primary argument centers around the unresolved technical and human risks of accidents and proliferation, which are unlikely to be effectively mitigated in the future. Furthermore, we highlight the significant cost disparities between nuclear power and other non-fossil energy sources, such as solar photovoltaics and wind power, considering levelized costs of electricity. We also address the incompatibility of nuclear power with renewable energy systems, emphasizing the need for flexibility in the face of variable solar and wind resources. Alternative reactor technologies will not be available in time to make a major contribution. Nuclear power also poses challenges in power plant operation amid climate change and war. Ultimately, we argue that other motivations should be explored to explain the continued interest in nuclear power in some countries, as energy supply arguments alone are insufficient to justify new investments.

Keywords: *nuclear power, climate change mitigation, risks, economics, energy system, renewables*

* Per contatti: info@ingegneriadellambiente.net

1. Introduzione

Considerata l'evoluzione sempre crescente dell'emergenza climatica, vi è una sempre maggiore attenzione all'importanza dell'energia nucleare nell'affrontare i rischi legati al clima. Attualmente, l'energia nucleare rappresenta circa il ~9.8% della produzione mondiale dell'energia elettrica, equivalente a circa 2,800 TWh (BP, 2022).

Numerose organizzazioni internazionali (IEA, 2019, 2021; IAEA, 2020) e imprese private (Gates, 2021), sostengono che l'energia nucleare dovrebbe assumere una importanza maggiore nel settore energetico. Anche le valutazioni e i rapporti speciali del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC) includono contributi di energia nucleare (IPCC, 2018, 2022). Tuttavia, la storia dell'energia nucleare è piena di sfide tecniche irrisolte che possono essere controllate solo in una certa misura, e per questo motivo non vanno trascurati i rischi per la sicurezza e, anche, di fallimento economico (MIT, 2018; OCSE e NEA, 2020). Dal punto di vista dei sistemi di innovazione tecnologica, l'energia nucleare è in declino da diverso tempo (Markard et al., 2020) e non è mai diventata una tecnologia economica in grado di competere con le altre (Davis, 2012; Wealer et al., 2021a; Aghahosseini et al., 2023; Haywood et al., 2023).

In questo documento si riporta una valutazione per quanto possibile completa degli argomenti tecnici, economici e politici che ruotano intorno al dibattito sul ruolo dell'energia nucleare nella lotta al cambiamento climatico. Dalla valutazione condotta, si evidenzia che l'energia nucleare non offre un contributo vitale alla mitigazione del cambiamento climatico, ma piuttosto ne rappresenta un ostacolo. Alcune evidenze possono fornire argomenti ai politici e ai decisori, così come agli sviluppatori di scenari energetici, a supporto dell'abbandono dell'uso dell'energia nucleare o per non intraprendere una strada che porti allo sviluppo dell'energia nucleare. Di seguito si espongono le motivazioni, organizzate per argomenti, e una sezione conclusiva che sintetizza i risultati della valutazione.

2. L'energia nucleare è pericolosa e gli incidenti non possono essere evitati

Anche se non esiste un modo per quantificare in modo affidabile il rischio di incidenti nucleari (Downer e Ramana, 2021), si può affermare che l'energia nucleare è una tecnologia per la quale non è possibile escludere incidenti gravi, oltre ai problemi di sicurezza legati ai materiali radioattivi. Garantire la sicurezza durante la vita del reattore e oltre implica il raggiungimento di tre obiettivi critici: (i) confinare efficacemente gli elementi di combustibile radio-

attivo e altri materiali, (ii) monitorare e controllare costantemente la reattività e (iii) gestire e dissipare adeguatamente il calore generato all'interno del nucleo del reattore e dal continuo raffreddamento degli elementi combustibili. Queste considerazioni sulla sicurezza si estendono non solo per tutta la durata operativa del reattore, ma anche per centinaia di migliaia di anni¹.

Dall'avvento dell'energia nucleare ad oggi, la prevenzione di incidenti gravi e il raggiungimento di livelli di sicurezza ritenuti socialmente accettabili, cioè quelli per i quali la società può stabilire misure di salvaguardia, sono ancora irraggiungibili. Eventi critici e incidenti si sono verificati ripetutamente fin dall'inizio dell'energia nucleare. I primi esempi sono la fusione parziale del nocciolo a Chalk River (Canada, 1952), l'incendio nel nocciolo del reattore della centrale nucleare di Windscale (1957), e l'esplosione di materiale radioattivo nel complesso nucleare sovietico di Mayak (Unione Sovietica, 1957; Wealer et al., 2021b, pag. 56).

Nonostante le diverse e talora controverse metodologie impiegate per valutare gli incidenti nucleari, tutti gli indicatori mostrano come non sia possibile escludere incidenti, anche con l'avvento di nuove generazioni di reattori. L'Agenzia internazionale per l'energia atomica (AIEA) classifica gli eventi utilizzando la scala internazionale degli eventi nucleari (scala INES), che varia da 0 a 7². Tuttavia, la scala INES è stata oggetto di critiche per non essere stata in grado di includere tutti gli incidenti rilevanti e la mancanza di significatività statistica della scala di gravità degli eventi. Il disastro di Fukushima, ad esempio, corrisponderebbe a un livello di 10,6 sulla scala INES, superando il livello più alto pari a 7 (Wheatley et al., 2016, p. 98). Per affrontare queste limitazioni, un approccio alternativo potrebbe comportare l'adozione della Nuclear Accident Magnitude Scale of Radiation Release, che si riferisce all'entità della radioattività rilasciata e non impone un limite superiore (Smythe, 2011).

Tradurre gli incidenti e gli eventi in costi monetari aiuta a comprendere l'impatto complessivo e i rischi connessi. Pertanto, Wheatley et al. (2016) hanno rilevato che, mentre la frequenza degli incidenti gravi ha mostrato una tendenza mediamente decrescente a

¹ Per dettagli si veda Wealer et al., 2021b, sul quale si basa questo paragrafo.

² Scala INES: Livello 0: Deviazione dalla normalità, Livello 1: Anomalia, Livello 2: Incidente di processo, Livello 3: Incidente di processo grave, Livello 4: Incidente con conseguenze locali, Livello 5: Incidente con conseguenze più ampie del livello locale, Livello 6: Incidente grave, e Livello 7: Incidente molto grave. Si veda <https://www.iaea.org/resources/databases/international-nuclear-and-radiological-event-scale> (visualizzato il 16 Luglio 2024).

partire dagli anni '70, si sono verificati incidenti o inconvenienti gravi ogni decennio³.

Inoltre, si sono verificati incidenti su piccola scala che hanno causato danni fino a 20 milioni di dollari, con un valore atteso di tali eventi in aumento ogni anno. Statisticamente parlando, un incidente della portata del disastro di Fukushima si potrà verificare ogni 60-150 anni con una probabilità del 50%, mentre un incidente come quello di Three Mile Island si può verificare ogni 10-20 anni. È interessante notare che “il costo medio degli eventi all'anno si aggira intorno al costo della costruzione di un nuovo impianto” (Wheatley et al., 2016, p. 96).

Bassi tassi di utilizzo e l'incertezza sui tempi di interruzione della produzione di energia elettrica suggeriscono anche la possibilità di problemi sostanziali nel padroneggiare la tecnologia nucleare su larga scala. Il fattore di utilizzo del capitale aggregato di tutte le centrali nucleari dagli anni '70 è stato stimato pari al 66%; in altri termini, un terzo della capacità non è stata utilizzata per generare elettricità, in gran parte a causa di lunghi fermi impianto⁴.

Uno sguardo alla storia dell'energia nucleare commerciale rivela che le questioni legate alla sicurezza dei reattori erano largamente ignorate all'inizio dell'era nucleare. Così, da un lato, la Commissione per l'Energia Atomica degli Stati Uniti annunciò che l'energia nucleare sarebbe diventata “troppo economica per essere misurata” (The New York Times, 1954) in quella che sarebbe diventata una “economia del plutonio” (Seaborg, 1970). Ma d'altro canto, durante lo sviluppo dell'energia nucleare commerciale, sia il settore energetico sia quello assicurativo operavano partendo dal presupposto che la società si assumesse la responsabilità di questi rischi. Questo fatto vale ancora oggi: i rischi derivanti dall'energia nucleare non sono assicurabili e i gestori delle centrali nucleari si assumono solo una responsabilità simbolica⁵.

Nessuno degli operatori di centrali nucleari nel mondo è adeguatamente assicurato contro il rischio di incidenti (Käberger, 2019). Negli Stati Uniti, ad esempio, il Price-Anderson Act del 1957 esonera le aziende nucleari dall'obbligo di assicurarsi contro gli incidenti, obbligandole soltanto a pagare una piccola tassa. In Germania, tutti gli operatori delle centrali nucle-

ari hanno condiviso il rischio di potenziali incidenti, ma questo è stato limitato a 2,5 miliardi di euro, una somma molto modesta se paragonata ai potenziali costi degli incidenti.

3. L'energia nucleare non è economica

Le numerose precauzioni contro gli incidenti adottate dall'industria sono conseguenza dell'esperienza maturata attraverso gli incidenti (“trial and error”). L'affermazione che una fissione nucleare sia “sicura e controllata” implica misure tecniche estremamente complesse, che sono state identificate come i principali fattori di costo (insieme all'inesperienza, alla mancanza di competenza e di manodopera). L'energia nucleare è costosa, sia per un potenziale investitore che considera di investire capitale privato in un progetto di centrale nucleare, sia per la società in quanto tale che deve ancora affrontare gli effetti ambientali negativi che vanno dall'attività estrattiva agli incidenti, dovuti, oltre che a cause tecniche, anche al rischio terrorismo. La valutazione economica delle centrali nucleari non deve trascurare che la ragione per cui l'energia nucleare fu sviluppata su scala industriale negli anni '40 fu il suo utilizzo militare, i cui costi non avevano importanza (Groves, 1983; Lévêque, 2015). Sin dalla Seconda guerra mondiale, ci si aspettava che l'energia nucleare commerciale sarebbe diventata rapidamente economica nel decennio successivo (Ullmann, 1958; Pittman, 1961) e sarebbe diventata la principale fonte di energia per la generazione di elettricità (Seaborg, 1970; Weinberg, 1971; Rose, 1974). Nessuno degli oltre 600 reattori realizzati dal 1951 è stato costruito esclusivamente attraverso capitale privato e in un contesto di mercato competitivo (Bradford, 2012; Wealer et al., 2018).

Gli studi condotti dal MIT (2003, 2009, 2018) e dall'Università di Chicago (2004, 2011) concordano sul fatto che l'energia nucleare non era già competitiva rispetto al carbone e al gas naturale all'inizio del secolo, una valutazione che rimane valida oggi. Già Joskow (1982) ha documentato le difficoltà economiche dell'energia nucleare, un argomento successivamente ripreso da Grubler (2010) e da Escobar Rangel e Lévêque (2015). Altre valutazioni su larga scala includono i lavori di D'haeseleer (2013) e Linares e Conchado (2013). Davis (2012, p. 50) conclude che, nonostante siano trascorsi sette decenni di “fissione nucleare controllata”, manca ancora una giustificazione economica a favore dell'energia nucleare.

Un'analisi degli investimenti attuali e futuri nelle centrali nucleari definite di “terza generazione” rivela che queste non sono economicamente profittevoli, come dimostra questo esempio: l'investitore in una centrale nucleare di terza generazione da 1.600 MW, con

³ Si veda Spencer Wheatley, Benjamin K. Sovacool, Didier Sornette, Reassessing the safety of nuclear power, Energy Research & Social Science, Volume 15, 2016, Pages 96-100, ISSN 2214-6296, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.026>.

⁴ Calcoli effettuati dagli autori utilizzando i dati del database PRIS dell'AIEA (<https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>).

⁵ Le stime dei costi esterni totali dell'energia nucleare vanno da circa 0,01 US\$/kWh (Friedrich e Voss, 1993) a 0,34 US\$/kWh (Meyer, 2012).

un investimento iniziale di circa 10 miliardi di dollari USA, si troverebbe ad affrontare una perdita, ovvero un valore attuale netto negativo, nell'ordine dei 5-10 miliardi di dollari USA al 2018 (Wealer et al., 2021a). Questo è esattamente ciò che sta accadendo attualmente in tutti i siti di nuova costruzione che sopravvivono solo grazie a massicci sussidi, come il progetto Vogtle in Georgia (USA), i progetti Olkiluoto (Finlandia) e Flamanville (Francia) (Barkatullah e Ahmad, 2017, p. 133–134) e il progetto Hinkley Point C nel Regno Unito⁶.

Le analisi sui progetti di energia nucleare esportate in altri Paesi hanno rivelato che le difficoltà economiche della tecnologia nucleare cinese, coreana e russa sono comparabili (Ram et al., 2018).

Le ragioni principali di queste ingenti perdite sono gli elevati costi di costruzione, compresi i costi di capitale, i lunghi periodi di progetto e le entrate incerte e basse. Anche un prolungamento della durata di vita dei reattori a 60 anni non migliora significativamente i risultati. Inoltre, in questi calcoli non vengono presi in considerazione i costi aggiuntivi (smantellamento, stoccaggio a lungo termine dei rifiuti radioattivi) e i costi sociali degli incidenti. I costi medi netti attesi dell'elettricità valutati sulla vita utile delle opere di generazione dell'energia (levelized costs of electricity, LCOE) valutati secondo un'analisi statistica Monte Carlo su larga scala che comprende costi di investimento, durata di costruzione e prezzi dell'elettricità variabili, producono un valore atteso dell'elettricità nucleare di 160 dollari USA/MWh compreso in un intervallo di stima compreso tra 91 e 222 US\$/MWh (Wealer et al., 2021a), comparabile alla stima di Lazard (2023, p.9) pari a 180 US\$/MWh per investimenti che non godano di sussidi.

I calcoli attuali dei costi medi di produzione dell'elettricità negli USA confermano gli svantaggi strutturali dell'energia nucleare in termini di costi: mentre i costi delle fonti energetiche rinnovabili diminuiscono drasticamente, i costi dell'elettricità proveniente dall'energia nucleare continuano ad aumentare (Lazard, 2023). Non vengono presi in considerazione i costi di sistema delle rispettive tecnologie, ad esempio i costi di smantellamento, stoccaggio finale e assicurazione per le centrali nucleari e le opzioni di flessibilità nel caso delle energie rinnovabili. Tuttavia, tenuto conto della tendenza sopra descritta, non si prevede che le grandi centrali nucleari diventino competitive. Per le fonti rinnovabili eolica e solare (non sovvenzio-

nate), gli LCOE a livello di una singola unità di generazione sono ora rispettivamente intorno a 50 e 60 dollari USA/MWh (Lazard, 2023, p. 9). Analisi dettagliate condotte con risoluzione oraria in 145 regioni in tutto il mondo, concentrandosi su sistemi energetici completamente rinnovabili, hanno rivelato che l'LCOE su scala a livello di sistema, incorporando fattori come lo stoccaggio di elettricità, la riduzione e le perdite di rete, può raggiungere un massimo di due volte il LCOE delle singole unità di produzione (Ram et al., 2017; Bogdanov et al., 2019). Tuttavia, anche con questi costi aggiuntivi, il LCOE totale dell'unità di generazione rinnovabile, compresi i costi di sistema, ammonta a un massimo di circa 80 US\$/MWh, che è meno della metà del costo stimato dell'energia nucleare senza sussidi. Da notare che quest'ultimo non si adegua alla variabilità del carico, a differenza di un sistema di energia completamente rinnovabile con risoluzione oraria.

La prospettiva senza sussidi, in un'ottica di investimento privato adottata sopra, non considera un'ampia gamma di altri costi per la società. Seguendo la catena di produzione, questi includono costi esterni valutabili significativi, ad esempio, i costi sanitari, come l'incremento dei casi di cancro ai polmoni derivante dall'attività estrattiva dell'uranio (Jacobson, 2020), le malattie derivanti dalle emissioni del cantiere di costruzione e altri rischi per la salute derivanti dal normale funzionamento, dallo smantellamento e dallo smaltimento di scorie e residui di demolizione. Inoltre, l'adozione di una prospettiva intergenerazionale indica che i benefici limitati offerti dall'energia nucleare nel presente sono oscurati dagli oneri imposti alle generazioni future, che sosterebbero costi sostanziali per lo stoccaggio e lo smaltimento di scorie e residui di demolizione (Barron e Hill, 2019). Schulze et al. (1981) hanno presentato una prima motivazione per considerare il benessere delle generazioni future attraverso la scelta appropriata di un tasso di sconto sociale.

Considerato che l'utilizzo delle centrali nucleari non è economica, è necessario prendere in considerazione altri aspetti che ne giustifichino l'adozione. Tra gli altri ci sono i tentativi di mantenere l'energia nucleare civile come complemento alle attività militari (Cox et al., 2016).

4. Nemmeno estendendone la vita utile

Oltre due terzi dei 415 reattori in funzione nel 2021 hanno superato la soglia dei 30 anni di durata operativa (AIEA, 2022b). Dato che questi reattori nucleari sono stati originariamente progettati per un periodo operativo previsto di 30-40 anni, sorge la necessità di sostituirli con altre tecnologie, o con nuovi reattori o

⁶ In altri paesi come la Russia o la Cina, l'intera industria nucleare è di proprietà statale, per cui non sono disponibili dati affidabili sui costi o costi livellati, tanto meno confrontabili con i valori di mercato.

estendendone la durata utile. L'estensione della durata comporta costi elevati dovuti ai crescenti costi di manutenzione e agli investimenti e agli aggiornamenti necessari per la sicurezza. L'Agenzia internazionale dell'energia (IEA) (2019) ha richiesto che per prolungare la durata dei reattori esistenti si ricorra a sussidi. Un aspetto chiave è la valutazione da parte delle autorità di vigilanza di quali misure siano necessarie per portare il sistema allo "stato dell'arte" (INRAG et al., 2021). Ciò comporta ostacoli finanziari significativi. Ad esempio, in Francia, il paese con il parco di reattori più standardizzato al mondo, la Corte dei conti ha stimato che l'operatore EDF dovrà investire fino a 100 miliardi di euro entro il 2030 per prolungare la vita del suo parco reattori di ulteriori 10 anni, portandoli da 40 a 50 anni. Ciò rappresenta più di tre volte il valore di mercato azionario di EDF e una media di 1,7 miliardi di euro per reattore, o circa 1.500 euro/kW di investimento per l'estensione della vita utile, o circa 55 US\$/MWh per mantenerlo in funzione per altri 10 anni (Cour des Comptes, 2016). Nel complesso, l'IEA stima che il costo dell'elettricità per estensioni della vita utile di 10-20 anni sia compreso tra 40 e 55 dollari USA/MWh. Questo è più o meno equivalente al costo attuale dell'elettricità prodotta da fonti rinnovabili. Pertanto, non vi è alcun vantaggio economico ottenibile dall'estensione della durata rispetto all'espansione delle energie rinnovabili.

In definitiva, anche l'estensione della vita utile non garantisce la redditività dell'impianto alle condizioni attuali del mercato elettrico. I dati provenienti dagli Stati Uniti mostrano che gli impianti più vecchi hanno costi operativi e di manutenzione significativamente più elevati e necessitano di regolari iniezioni di capitale, e non sono in grado di reggere la concorrenza nelle aste del mercato elettrico (Bradford, 2013; vedere ad esempio Lovins, 2013, 2017; Schneider et al., 2019, pag. 238). Negli ultimi anni le società di servizi pubblici hanno perseguito attivamente leggi e contratti statali per fornire sostegno finanziario a reattori economicamente non sostenibili. Dei 23 reattori programmati per il pensionamento anticipato tra il 2009 e il 2025, 13 sono già stati chiusi, otto hanno subito una chiusura ritardata a causa di programmi di sussidi e il destino di due reattori al Diablo Canyon (California, USA) rimane incerto (Schneider et al., 2023).

5. L'espansione dell'energia nucleare non sarebbe abbastanza rapida per contribuire adeguatamente alla mitigazione dell'emergenza climatica

Anche nello scenario di sostegno finanziario pubblico per la costruzione di centrali nucleari economicamente non sostenibili, come accaduto in passato, i

lungi tempi necessari per un loro incremento non consentono di fornire un contributo significativo agli impegni di decarbonizzazione su larga scala. Il processo di pianificazione, progettazione e costruzione delle centrali nucleari è caratterizzato da una considerevole durata. Negli Stati Uniti, la durata media della costruzione di centrali nucleari a partire dagli anni '70 è stata di circa 9 anni (Kooimey e Hultman, 2007, p. 5634), mentre su scala globale è stata di 7,4 anni nel 2015 (Berthélemy e Escobar Rangel, 2015, pag. 125). A questo bisogna aggiungere il tempo necessario per le procedure di pianificazione e autorizzazione. Jacobson (2020) stima che il tempo complessivo necessario per la messa in esercizio delle centrali nucleari sia compreso tra 10 e 19 anni.

Considerando l'ultimo decennio (2012–2021), questa stima sembra addirittura molto ottimistica, poiché la durata media di costruzione da sola (senza pianificazione) è salita a 9,2 anni per 62 reattori completati, di cui 37 costruiti in Cina (Schneider et al., 2022). Considerando i pochi progetti in corso nell'OCSE, la durata media appare ancora più sfavorevole. Ad esempio, la costruzione di Olkiluoto-3 in Finlandia è durata 17 anni (2005-2022), mentre Flamanville-3 in Francia, è in costruzione dal 2007, e le procedure per la costruzione delle Unità 3 e 4 dell'impianto Vogtle negli Stati Uniti, avviate nel 2013, potrebbero richiedere un periodo di tempo ancora lungo per il completamento.

La portata e la criticità temporale delle sfide associate alla trasformazione socio-ecologica non incoraggiano la via dell'incremento della produzione di energia nucleare affinché possa svolgere un ruolo significativo nella decarbonizzazione della produzione di energia elettrica. Per raggiungere gli obiettivi delineati nel Percorso 3 del rapporto dell'IPCC (IPCC, 2018), che include un aumento previsto dell'energia nucleare del 98% entro il 2030 e del 501% entro il 2050, sarebbe necessario raddoppiare il parco nucleare esistente di circa 440 centrali elettriche entro i prossimi 10 anni e raggiungere un aumento di 6 volte entro i prossimi tre decenni (Wealer, 2020).

Anche se si trascura la lunga durata della costruzione, un altro motivo per cui l'energia nucleare non può essere ampliata in misura rilevante è la disintegrazione della catena di approvvigionamento. I tradizionali venditori di reattori Westinghouse e Framatome sono in difficoltà finanziarie e continuano a lottare per sopravvivere: Westinghouse è fallita nel 2017 e Framatome (allora Areva) è stata salvata dallo Stato francese con 4-5 miliardi di euro. Dal 2000, la Russia è il fornitore nucleare emergente (Drupady, 2019) e domina il mercato dei reattori con più accordi tecnologici rispetto agli altri quattro principali fornitori (Francia, Stati

Uniti, Cina, Corea) messi insieme (Jewell et al., 2019). Considerando l'imperativo geopolitico di limitare la produzione nucleare russa, unito allo stato di difficoltà dell'economia russa e alle sfide della Cina nell'assicurarsi i clienti, è improbabile che le iniziative nucleari di questi due Paesi possano avere successo (Thomas, 2018, 2019).

6. I piccoli reattori modulari e lo sviluppo di reattori non convenzionali richiedono decenni e hanno prospettive economiche peggiori

L'industria ha in corso lo sviluppo di nuove tipologie di reattori, che qui ora consideriamo nel contesto dell'emergenza climatica. Queste nuove tipologie includono i cosiddetti piccoli reattori modulari SMR ("Small Modular Reactors") con capacità relativamente bassa (<300 MWel) e progetti di reattori non convenzionali (ossia non raffreddati ad acqua leggera). Quest'ultima categoria comprende i primi stadi di sviluppo di tecnologie nucleari come i reattori veloci autofertilizzanti, i reattori a sali fusi e i reattori ad alta temperatura. Tuttavia, i reattori non convenzionali sono ancora a uno stadio iniziale di ricerca e sviluppo, compresi quelli promossi dalla "Generation IV International Forum" (GIF), ancora lontani diversi decenni dal potenziale sviluppo commerciale, sempre che diventino fattibili, ed è improbabile che raggiungano uno status competitivo nel prossimo futuro (Cochran et al., 2010; Lyman, 2021; Pistner et al., 2023; Bose et al., 2024). Una sintesi delle questioni in gioco è fornita da Wimmers et al. (2023).

Inoltre, osservando più da vicino i reattori proposti e studiati, si nota che sono solo in parte basati su concetti tecnologici fondamentalmente diversi (Locatelli et al., 2013; Pioro, 2023). Ad esempio, i reattori ad alta temperatura esistono da almeno mezzo secolo, il concetto di reattori autofertilizzanti veloci e di reattori al torio è noto già dagli anni '50 (Weinberg, 1959; Pittman, 1961; Rose, 1974). Quasi tutti i progetti ad alta temperatura o con autofertilizzazione rapida sono stati abbandonati a causa di problemi tecnologici o semplicemente perché antieconomici. Tuttavia, il portafoglio tecnologico dello scenario di riferimento della Commissione Europea fino al 2050 comprende anche le cosiddette tecnologie dei reattori di quarta generazione (CE, 2016, p. 41).

Le recenti esperienze con gli SMR suggeriscono che sviluppi commerciali competitivi sono improbabili nel medio termine. In precedenza, l'industria aveva cercato di costruire centrali nucleari con capacità sempre maggiori, per sfruttare potenziali economie di scala. Gli SMR seguono la strada opposta, essendo definiti dall'AIEA come "reattori avanzati che producono

energia elettrica fino a 300 MWel, progettati per essere costruiti in fabbrica e spediti ai fornitori di energia per essere installati in base alla domanda".⁷ Attualmente sono riposte notevoli speranze nello sviluppo di SMR come soluzione a lungo termine per l'energia nucleare (Lokhov et al., 2013; Locatelli et al., 2014; Sainati et al., 2015; NEA, 2016; Black et al., 2019). Inoltre, vengono pubblicizzati come più flessibili, ad esempio fornendo funzionalità aggiuntive come il teleriscaldamento. Anche alcune startup statunitensi, come NuScale o TerraPower supportate da Gates, stanno lavorando in questa direzione, (2021).

Tuttavia, tra gli 80 progetti SMR elencati dall'AIEA (AIEA, 2022a,b) solo quattro impianti pilota sono attualmente in costruzione o già operativi (uno in Russia, due in Cina e uno in Argentina) (Böse et al., 2024). Le stime dei futuri costi di produzione sono molto speculative; tuttavia, diverse analisi indicano che gli SMR saranno per qualche tempo più costosi delle attuali centrali nucleari su larga scala. Oltre ai costi variabili di funzionamento e manutenzione più elevati (Carelli et al., 2010; Cooper, 2014), le analisi attuali mostrano che i costi di capitale overnight sono tra il 6 e il 26% più alti rispetto al costo medio dell'attuale nucleare ad alta capacità. Alonso et al. (2016) stimano LCOE di 175 US\$/MWh, ancora superiori a quelli degli attuali reattori.

Si può considerare improbabile il fatto che le tecnologie non convenzionali e gli SMR raggiungano numeri significativi, poiché la loro potenziale espansione potrebbe essere limitata anche per altre cause, come l'ottenimento di licenze o i vincoli imposti dalla normativa nazionale, nonché di una base limitata di potenziali investitori (Böse et al., 2024). Lo stesso discorso vale per i reattori ad acqua leggera. Ricordiamo che durante i settant'anni di "grande" energia nucleare, gli effetti di "apprendimento", cioè la diminuzione dei costi unitari di capitale dovuti alla diffusione della tecnologia, non sono mai stati raggiunti. Al contrario, vi sono prove che suggeriscono una discontinuità nelle curve di apprendimento relative ai costi e ai tempi di costruzione (Portugal-Pereira et al., 2018), indicando che la standardizzazione e le sinergie tra Paesi non sono state sfruttate (Grubler, 2010; Rangel e Leveque, 2012). Alcune delle regioni più ambiziose, ad esempio il Medio Oriente o l'Asia, hanno poca esperienza con la normativa della sicurezza (Ramana et al., 2013; Yamashita, 2015). Inoltre, un gran numero di reattori con capacità ridotte implica rischi significativi di proliferazione del materiale fissile (Glaser et al., 2013; Lyman, 2013). Secondo un recente sondaggio condot-

⁷ IAEA (2016): "SMR - Nuclear Power." December 12, 2016. <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors>.

to da Thomas e Ramana (2022), è emerso che anche i progetti di reattori basati su una tecnologia accuratamente testata non potranno essere implementati prima del 2030. Inoltre, il sondaggio suggerisce che progetti più radicali potrebbero potenzialmente non essere mai implementati.

7. L'energia nucleare è difficilmente compatibile con un sistema energetico basato sulle rinnovabili

L'approccio convenzionale alla generazione e alla fornitura di elettricità dall'energia nucleare è generalmente associato a un modello di generazione del carico di base. Tuttavia, in un sistema energetico che fa progressivamente affidamento su energie rinnovabili variabili, questo modello di generazione del carico di base viene sostituito da un modello altamente flessibile, basato sull'offerta, come mostrato da Hodge et al. (2020). Fattori tecnici ed economici impongono limitazioni alla flessibilità e ai tassi di incremento delle centrali nucleari, come riconosciuto dall'industria (OCSE/NEA, 2012, p. 46). Questi fattori comprendono restrizioni sulle operazioni di riciclaggio, come la necessità di mitigare i fenomeni di fatica dei materiali, nonché vincoli di esecuzione e considerazioni sui costi. L'impatto di queste limitazioni diventa più pronunciato quando si valutano interi parchi di reattori nucleari piuttosto che singole unità (Morris, 2018). Le centrali nucleari tipicamente generano elettricità nello spettro del carico di base con vincoli di funzionamento obbligatorio (must-run)⁸ che per soddisfare le richieste di carico di punta deve essere supportato con unità di generazione operative flessibili come turbine a gas, centrali elettriche a carbone, ma anche elettricità rinnovabile disacciabile, in particolare dall'idroelettrico, e stoccaggio, come lo stoccaggio di energia idroelettrica tramite pompaggio.

Sebbene i progetti di reattori più recenti possiedano tecnicamente migliori capacità per le operazioni a domanda variabile (Cany et al., 2018; Jenkins et al., 2018), le centrali esistenti sono generalmente utilizzate come centrali elettriche a carico di base continuo per considerazioni economiche, tecniche e di sicurezza. Tuttavia, ottenere un'energia nucleare flessibile, come proposto da Duan et al. (2022), richiede l'integrazione dello stoccaggio di energia termica e di tre o quattro volte la capacità della turbina a vapore di una centrale nucleare di carico di base convenziona-

le, ipotizzando una riduzione delle ore a pieno carico da 8.000 a 2.000 all'anno per la fornitura di energia elettrica flessibile. Ciò si traduce in un peggioramento economico per le nuove centrali nucleari a causa dell'aumento dei costi di capitale associati allo stoccaggio dell'energia termica e alla maggiore capacità delle turbine a vapore. Inoltre, la flessibilità fornita dallo stoccaggio dell'energia termica è limitata a pochi giorni, limitandone l'efficacia nel soddisfare i requisiti di bilanciamento stagionale. Al contrario, gli impianti idroelettrici con stoccaggio in serbatoi, gli impianti di bioenergia e lo stoccaggio stagionale basato sull'elettricità rinnovabile con idrogeno verde o metano da fonti rinnovabili (e-metano o elettrometano) offrono il potenziale per soddisfare le fluttuazioni della domanda stagionale in modo più efficace, come evidenziato da Bogdanov et al. (2019).

I sistemi energetici altamente rinnovabili comprendono l'intero sistema energetico, ovvero energia elettrica, calore, trasporti e industria (Breyer et al., 2022b) e la sinergia tra questi settori consente ulteriore flessibilità e quindi efficienza del sistema energetico ed efficacia in termini di costi (Breyer et al., 2022a). Il valore potenziale dell'energia nucleare flessibile sarà ridotto dalle opzioni di flessibilità emergenti come la ricarica intelligente dei veicoli elettrici e i concetti Vehicle-to-Grid (Uddin et al., 2018; Yao et al., 2022) che offrono flessibilità anche su base settimanale a un costo notevolmente inferiore (Child et al., 2018b; Taljegard et al., 2019). Secondo alcuni autori la fornitura continua di carico di base fornita dall'energia nucleare è una peculiarità significativa (Sepulveda et al., 2018). Tuttavia, è importante notare che una fornitura così continua di carico di base non è essenziale. Le fonti variabili di energia rinnovabile devono soddisfare un profilo di carico diversificato (Toktarova et al., 2019), ma il solare fotovoltaico e l'energia eolica, in combinazione con soluzioni di stoccaggio a breve termine e stagionale, possono comunque fornire un profilo di generazione simile al carico di base a un costo inferiore rispetto a quella resa da nuovi impianti nucleari (Fasihi e Breyer, 2020; Lazard, 2021).

Le questioni di compatibilità tra l'energia nucleare e le fonti energetiche rinnovabili variabili, in particolare il solare fotovoltaico e l'energia eolica, pongono ulteriori sfide, considerando la prevista predominanza di queste energie rinnovabili nella fornitura di energia elettrica (Bogdanov et al., 2019; IEA, 2021). Queste sfide derivano dalla convergenza dei profili di generazione, che rende difficile integrare e coordinare il funzionamento dell'energia nucleare accanto a quella solare ed eolica. Lo spettro di generazione cumulativa di elettricità da varie unità di energia rinnovabile copre tutte le aree del profilo di carico, dal carico di base alla fornitura

⁸ Il livello obbligatorio della flotta tedesca, considerata la più flessibile al mondo, è pari al 20-50% per i reattori ad acqua pressurizzata (PWR) e al 60% per i reattori ad acqua pressurizzata (BWR) (Grünwald e Caviezel, 2017, pag. 11).

di carico di punta e all'elettricità in eccesso (Verbruggen e Yurchenko, 2017). In un sistema energetico che dipenda prevalentemente dalle centrali nucleari, le fonti di energia rinnovabile potrebbero teoricamente fornire l'alimentazione di picco se combinate con sistemi di stoccaggio e sistemi flessibili. In uno scenario del genere, però, le rinnovabili non riuscirebbero a realizzare appieno il proprio potenziale economico e di efficienza di sistema. Ciò comporterebbe anche un aumento della domanda di capacità di stoccaggio nelle ore di basso consumo energetico (Verbruggen e Yurchenko, 2017), complicando ulteriormente l'integrazione tra le diverse fonti energetiche. Dare la priorità alle energie rinnovabili all'interno del sistema energetico comporterebbe l'eliminazione virtuale della domanda di generazione del carico di base (Hirth et al., 2015; Bogdanov et al., 2019; Child et al., 2019; Breyer et al., 2022a, Fig. 16). Integrare le centrali nucleari in un tale sistema sarebbe impegnativo, poiché richiederebbe sostanziali inconvenienti economici e modifiche tecniche per adattarne il funzionamento. Infatti, i sistemi energetici basati principalmente su energie rinnovabili variabili sono orientate a sistemi che garantiscano flessibilità, come le energie rinnovabili dispacciabili, la sinergia tra settori energivori diversi, l'interconnessione tra reti elettriche e la risposta alla domanda variabile (ad esempio, ricarica di veicoli elettrici, pompe di calore ed elettrolizzatori per la produzione di carburanti e prodotti chimici) (Brown et al., 2018; Child et al., 2018a; Bogdanov et al., 2021; Breyer et al., 2022b).

La tendenza verso un maggiore utilizzo dell'energia nucleare richiede un esame del suo contesto storico e delle sue implicazioni per i processi di trasformazione socio-ecologica (Geels et al., 2016; Cherp et al., 2017). Inoltre, l'espansione e la perpetuazione delle tecnologie di generazione del carico di base ostacolano la transizione verso un sistema energetico altamente flessibile e rinnovabile al 100%, creando un quadro a doppio sistema (fossile-nucleare e rinnovabili), che rafforza l'effetto "lock-in" associato alla logica di generazione del carico di base (REN21, 2017, p. 158 ss.). Inoltre, emergono aspetti finanziari contrastanti. Sia il proseguimento che l'espansione della produzione di energia nucleare, come anche la transizione verso un sistema di energia rinnovabile al 100%, necessitano di finanziamenti statali e sussidi pubblici per la ricerca, lo sviluppo e la conversione del sistema. Ciò può generare competizione per l'accesso ai finanziamenti destinati ai due percorsi, invece di favorire il sostegno reciproco.

8. Le sfide nel contesto dei cambiamenti climatici e dei conflitti armati

Sebbene l'energia nucleare sia spesso pubblicizzata come una potenziale soluzione per mitigare il cambiamento climatico, sta emergendo la preoccupazione

che l'energia nucleare sia particolarmente sfavorevole in un futuro con temperature più elevate e maggiori minacce militari. In un mondo in via di riscaldamento, in cui i reattori sono esposti a crisi idriche con potate di magra dei fiumi o con il riscaldamento dei mari, la perdita di acqua di raffreddamento porta a riduzioni della produzione o addirittura a fermi di produzione (Averyt et al., 2011), mentre questo rischio è trascurabile nel caso di sistemi di energia elettrica rinnovabile (Lohrmann et al., 2019). Altre questioni legate al cambiamento climatico sono l'innalzamento del livello del mare, l'erosione delle coste e condizioni meteorologiche estreme come tempeste costiere o inondazioni. Tutte questioni che sollevano gravi preoccupazioni in termini di sicurezza, soprattutto per i reattori ubicati sulle coste, considerando che nel mondo un quarto dei reattori nucleari è situato in zone costiere (Kopytko e Perkins, 2011). Tsunami e inondazioni, come ha dimostrato l'incidente di Fukushima, possono essere catastrofiche per una centrale nucleare, perché possono mettere fuori uso i propri sistemi elettrici, disabilitarne i meccanismi di raffreddamento, portare al surriscaldamento e alla possibile fusione. Inondazioni sono sempre più frequenti lungo la costa degli Stati Uniti, specialmente in molte località lungo la costa orientale e quella del Golfo, dove sono situati numerosi reattori. Anche dopo lo spegnimento dei reattori, negli USA i rifiuti ad alto livello radioattivo sotto forma di combustibile esaurito sono ancora immagazzinati presso il sito di produzione e soggetti ai rischi derivanti dall'innalzamento del livello del mare (Jenkins et al., 2020).

Altre minacce sono la proliferazione nucleare, il sabotaggio, gli attacchi terroristici e i conflitti armati come la guerra Russo-Ucraina (Schneider et al., 2022, cap. "Energia nucleare e guerra"). Il rischio di proliferazione nucleare è fortemente connesso all'energia nucleare, sia verticalmente con gli Stati dotati di armi nucleari (ad esempio, USA, Regno Unito, Francia, Russia, Cina) che accumulano maggiori scorte e costruiscono nuove armi nucleari (Sorge e Neumann, 2021), sia orizzontalmente verso nuovi Paesi come, ad esempio, l'Iran e l'Arabia Saudita.⁹

Sebbene vi siano prove che "il legame tra i programmi di energia nucleare e la proliferazione sia sopravvalutato" (Miller, 2017), il rischio di proliferazione di armi nucleari è comunque possibile (Schneider e Ramana, 2023). Inoltre, senza soluzioni adeguate e sicure

⁹ Anche se ci sono stati senza propri programmi di armi nucleari che gestiscono o pianificano di gestire centrali nucleari per ragioni di indipendenza (Mazzucchi, 2022) (ad esempio, Giappone, Belgio, Finlandia, Brasile e altri), il rischio di proliferazione in questi casi rimane possibile (Schneider e Ramana, 2023).

re per lo smaltimento, il materiale nucleare è ancora immagazzinato in loco o in strutture centralizzate e quindi esposte ad azioni di gruppi terroristici che vogliono impossessarsene. Bunn et al. (2016) riferiscono di alcuni casi in cui sono state sottratte quantità dell'ordine di chilogrammi di plutonio o di uranio altamente arricchito. Inoltre, i gruppi terroristici (tra cui Al Qaeda) potrebbero intraprendere seri sforzi per ottenere armi nucleari (Futter, 2021). Infine, la maggior parte del combustibile esaurito è ancora immagazzinato in serbatoi pieni di acqua, ad esempio, l'81% di tutto il combustibile europeo si trova in vasche riempite di acqua (Besnard et al., 2019), spesso non protette da strutture di contenimento, il che le rende altamente vulnerabili agli attacchi terroristici (Gronlund et al., 2007).

10. Conclusioni

Nel contesto dell'emergenza climatica è in corso un intenso dibattito sul potenziale dell'energia nucleare nel contribuire alla decarbonizzazione dei sistemi energetici. In questo articolo abbiamo sviluppato e valutato sette argomenti per cui riteniamo che l'energia nucleare sia inappropriata nel contrasto al cambiamento climatico.

L'argomento principale è di natura tecnica, ovvero l'incapacità di evitare gli incidenti e i rischi ad essi connessi. I considerevoli costi associati all'implementazione di misure per prevenire fusioni del nucleo, fughe radioattive e altri incidenti sono la causa principale delle elevate spese legate all'utilizzo commerciale dell'energia nucleare. Di conseguenza, l'alta intensità di costi, unita a considerazioni sulla sicurezza, implica che l'energia nucleare non sia una fonte di energia sostenibile e conveniente per la transizione energetica verso sistemi a basse emissioni di carbonio. In realtà, questo è anche il motivo per cui l'energia nucleare non è stata in grado di raggiungere la competitività con altre fonti energetiche, e nemmeno gli interventi per estendere la vita utile delle centrali esistenti si sono rivelate economicamente convenienti.

L'energia nucleare è caratterizzata da tempi di costruzione molto lunghi, e tempi ancora maggiori sono prevedibili per lo sviluppo di sistemi nucleari innovativi, la cui realizzazione appare troppo lontana e incerta per contribuire in tempi brevi alla mitigazione del cambiamento climatico.

Dal punto di vista del sistema energetico, il nucleare non è compatibile con un sistema basato sulle rinnovabili, ma anzi ne ostacola l'espansione.

Ultimo ma non meno importante, l'energia nucleare è particolarmente sfavorevole in un futuro caratterizzato da temperature più elevate, condizioni meteorologiche estreme e maggiori minacce militari. Oltre

a queste motivazioni, la ricerca futura dovrebbe esplorare la relazione tra l'energia nucleare e i processi di trasformazione energetica in termini più generali. Le considerazioni qui presentate suggeriscono di considerare anche altre ragioni (ad esempio, la sovranità energetica) per cui alcuni Paesi stanno ancora perseguendo l'energia nucleare, citando regolarmente il clima come motivazione principale.

Riferimenti Bibliografici

- Aghahosseini, A., Solomon, A. A., Breyer, C., Pregger, T., Simon, S., Strachan, P., et al. (2023). Energy system transition pathways to meet the global electricity demand for ambitious climate targets and cost competitiveness. *Appl. Energy* 331:120401. doi: 10.1016/j.apenergy.2022.120401
- Alonso, G., Bilbao, S., and del Valle, E. (2016). Economic competitiveness of small modular reactors versus coal and combined cycle plants. *Energy* 116, 867–879. doi: 10.1016/j.energy.2016.10.030
- Averyt, K., Fisher, J., Huber-Lee, A., Lewis, J., Macknick, J., Madden, N., et al. (2011). *Freshwater Use by U.S. Power Plants: Electricity's Thirst for a Precious Resource*. Cambridge, MA: Union of Concerned Scientists. <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2014/08/ew3-freshwater-use-by-us-power-plants.pdf>
- Barkatullah, N., and Ahmad, A. (2017). Current status and emerging trends in financing nuclear power projects. *Energy Strat. Rev.* 18, 127–140. doi: 10.1016/j.esr.2017.09.015
- Barron, R. W., and Hill, M. C. (2019). A wedge or a weight? Critically examining nuclear power's viability as a low carbon energy source from an intergenerational perspective. *Energy Res. Soc. Sci.* 50, 7–17. doi: 10.1016/j.erss.2018.10.012
- Berthélemy, M., and Escobar Rangel, L. (2015). Nuclear reactors' construction costs: the role of lead-time, standardization and technological progress. *Energy Policy* 82, 118–130. doi: 10.1016/j.enpol.2015.03.015
- Besnard, M., Buser, M., Fairlie, I., MacKerron, G., Macfarlane, A., Matyas, E., et al. (2019). *The World Nuclear Waste Report*. Berlin; Brussels: Focus Europe. <https://worldnuclearwastereport.org/>
- Black, G. A., Aydogan, F., and Koerner, C. L. (2019). Economic viability of light water small modular nuclear reactors: general methodology and vendor data. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 103, 248–258. doi: 10.1016/j.rser.2018.12.041
- Bogdanov, D., Farfan, J., Sadovskaia, K., Aghahosseini, A., Child, M., Gulagi, A., et al. (2019). Radical transformation pathway towards sustainable electricity

- via evolutionary steps. *Nat. Commun.* 10:1077. doi: 10.1038/s41467-019-08855-1
- Bogdanov, D., Gulagi, A., Fasihi, M., and Breyer, C. (2021). Full energy sector transition towards 100% renewable energy supply: Integrating power, heat, transport and industry sectors including desalination. *Appl. Energy* 283:116273. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116273
 - Böse, F., Wimmers, A., Steigerwald, B., and von Hirschhausen, C. (2024). Questioning nuclear scale-up propositions: availability and economic prospects of light water, small modular and advanced reactor technologies. *Energy Res. Soc. Sci.* 1, 103448. doi: 10.1016/j.erss.2024.103448
 - BP (2022). *Statistical Review of World Energy 2022*. London. Available online at: www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf
 - Bradford, P. (2012). The nuclear landscape. *Nature* 483, 151–152. doi: 10.1038/483151a
 - Bradford, P. (2013). How to close the US nuclear industry: do nothing. *Bull. Atom. Sci.* 69, 12–21. doi: 10.1177/0096340213477996
 - Breyer, C., Bogdanov, D., Ram, M., Khalili, S., Vartiainen, E., Moser, D., et al. (2022a). Reflecting the energy transition from a European perspective and in the global context—Relevance of solar photovoltaics benchmarking two ambitious scenarios. *Progr. Photovolt.* 31, 1369–1395. doi: 10.1002/pip.3659
 - Breyer, C., Khalili, S., Bogdanov, D., Ram, M., Oyewo, A. S., Aghahosseini, A., et al. (2022b). On the history and future of 100% renewable energy systems research. *IEEE Access* 10, 78176–78218. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3193402
 - Brown, T., Schlachtberger, D., Kies, A., Schramm, S., and Greiner, M. (2018). Synergies of sector coupling and transmission reinforcement in a cost- optimised, highly renewable European energy system. *Energy* 160, 720–739. doi: 10.1016/j.energy.2018.06.222
 - Bunn, M., Malin, M. B., Roth, N., and Tobey, W. H. (2016). *Preventing Nuclear Terrorism. Continuous Improvement or Dangerous Decline?* Cambridge: Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School. <https://www.belfercenter.org/publication/preventing-nuclear-terrorism-continuous-improvement-or-dangerous-decline>
 - Cany, C., Mansilla, C., Mathonnière, G., and da Costa, P. (2018). Nuclear power supply: going against the misconceptions. Evidence of nuclear flexibility from the French experience. *Energy* 151, 289–296. doi: 10.1016/j.energy.2018.03.064
 - Carelli, M. D., Garrone, P., Locatelli, G., Mancini, M., Mycoff, C., Trucco, P., et al. (2010). Economic features of integral, modular, small-to-medium size reactors. *Progr. Nucl. Energy* 52, 403–414. doi: 10.1016/j.pnucene.2009.09.003
 - Cherp, A., Vinichenko, V., Jewell, J., Suzuki, M., and Antal, M. (2017). Comparing electricity transitions: a historical analysis of nuclear, wind and solar power in Germany and Japan. *Energy Policy* 101, 612–628. doi: 10.1016/j.enpol.2016.10.044
 - Child, M., Kemfert, C., Bogdanov, D., and Breyer, C. (2019). Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100% renewable energy system in Europe. *Renew. Energy* 139, 80–101. doi: 10.1016/j.renene.2019.02.077
 - Child, M., Koskinen, O., Linnanen, L., and Breyer, C. (2018a). Sustainability guardrails for energy scenarios of the global energy transition. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 91, 321–334. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.079
 - Child, M., Nordling, A., and Breyer, C. (2018b). The impacts of high V2G participation in a 100% renewable Ål and energy system. *Energies* 11:2206. doi: 10.3390/en11092206
 - Cochran, T. B., Feiveson, H. A., Mian, Z., Ramana, M. V., Schneider, M., and von Hippel, F. N. (2010). It's time to give up on breeder reactors. *Bull. Atom. Sci.* 66, 50–56. doi: 10.2968/066003007
 - Cooper, M. (2014). Small modular reactors and the future of nuclear power in the United States. *Energy Res. Soc. Sci.* 3, 161–177. doi: 10.1016/j.erss.2014.07.014
 - Cour des Comptes (2016). *La maintenance des centrales nucléaires: une politique remise à niveau, des incertitudes à lever*. Paris: Cour des Comptes.
 - Cox, E., Johnstone, P., and Stirling, A. (2016). Understanding the Intensity of UK Policy Commitments to Nuclear Power. SWPS 2016 - 16. https://sussex.figshare.com/articles/report/Understanding_the_intensity_of_UK_policy_commitments_to_nuclear_power_the_role_of_perceived_imperatives_to_maintain_military_nuclear_submarine_capabilities/23434295
 - Davis, L. W. (2012). Prospects for nuclear power. *J. Econ. Perspect.* 26, 49–66. doi: 10.1257/jep.26.1.49
 - D'haeseleer, W. D. (2013). *Synthesis on the Economics of Nuclear Energy – Study for the European Commission, DG Energy*. Leuven: KU Leuven. Available at: https://www.mech.kuleuven.be/en/tme/research/energy_environment/Pdf/wpen2013-14.pdf
 - Downer, J., and Ramana, M. V. (2021). Empires built on sand: on the fundamental implausibility of reactor safety assessments and the implications for nuclear regulation. *Regul. Govern.* 15, 1304–1325. doi: 10.1111/rego.12300
 - Drupady, I. M. (2019). Emerging nuclear vendors in the newcomer export market: strategic considerations. *J. World Energy Law Bus.* 12, 4–20. doi: 10.1093/jwelb/jwy033

- Duan, L., Petroski, R., Wood, L., and Caldeira, K. (2022). Stylized least-cost analysis of flexible nuclear power in deeply decarbonized electricity systems considering wind and solar resources worldwide. *Nat Energy*, 7, 260–269. doi: 10.1038/s41560-022-00979-x
- EC (2016). EU Reference Scenario 2016: Energy, Transport and GHG Emissions – Trends to 2050. Brussels: European Commission. Available online at: https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/full_referencescenario2016report_en.pdf
- Escobar Rangel, L., and Lévêque, F. (2015). Revisiting the cost escalation curse of nuclear power: new lessons from the french experience. *Econ. Energy Environ. Policy* 4, 103–126. doi: 10.5547/2160-5890.4.1.Iran
- Fasihi, M., and Breyer, C. (2020). Baseload electricity and hydrogen supply based on hybrid PV-wind power plants. *J. Clean. Prod.* 243:118466. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118466
- Friedrich, R., and Voss, A. (1993). External costs of electricity generation. *Energy Policy* 21, 114–122. doi: 10.1016/0301-4215(93)90133-Z
- Futter, A. (2021). *The Politics of Nuclear Weapons: New, Updated and Completely Revised*. Cham: Springer International Publishing.
- Gates, B. (2021). *How to Avoid a Climate Disaster - The Solutions We Have and the Breakthroughs We Need*. New York, NY: Alfred A. Knopf.
- Geels, F. W., Kern, F., Fuchs, G., Hinderer, N., Kungl, G., Mylan, J., et al. (2016). The enactment of socio-technical transition pathways: a reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014). *Res. Policy* 45, 896–913. doi: 10.1016/j.respol.2016.01.015
- Glaser, A., Hopkins, L. B., and Ramana, M. V. (2013). Resource requirements and proliferation risks associated with small modular reactors. *Nucl. Technol.* 184, 121–129. doi: 10.13182/NT13-A19873
- Gronlund, L., Lochbaum, D., and Lyman, E. (2007). *Nuclear Power in Warming World: Assessing the Risks, Addressing the Challenges*. Cambridge: Union of Concerned Scientists. Available online at: <https://www.ucsusa.org/resources/nuclear-power-warming-world>
- Groves, L. M. (1983). *Now It Can Be Told: The Story of the Manhattan Project*. New York, NY: Da Capo Press.
- Grubler, A. (2010). The costs of the French nuclear scale-up: a case of negative learning by doing. *Energy Policy* 38, 5174–5188. doi: 10.1016/j.enpol.2010.05.003
- Grünwald, R., and Caviezel, C. (2017). *Lastfolgefähigkeit deutscher Kernkraftwerke: Monitoring*. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Haywood, L., Leroutier, M., and Pietzcker, R. (2023). Why investing in new nuclear plants is bad for the climate. *Joule* 7, 1675–1678. doi: 10.1016/j.joule.2023.07.006
- Hirth, L., Ueckerdt, F., and Edenhofer, O. (2015). Integration costs revisited – an economic framework for wind and solar variability. *Renew. Energy* 74, 925–939. doi: 10.1016/j.renene.2014.08.065
- Hodge, B. S., Jain, H., Brancucci, C., Seo, G., Korpås, M., Kiviluoma, J., et al. (2020). Addressing technical challenges in 100% variable inverter-based renewable energy power systems. *WIREs Energy Environ.* 9:e376. doi: 10.1002/wene.376
- IAEA (2020). *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050*. Vienna.
- IAEA (2022a). *Advances in Small Modular Reactor Developments. A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS)*. Vienna: International Atomic Energy Agency. Available online at: https://aris.iaea.org/Publications/SMR_booklet_2022.pdf
- IAEA (2022b). *Nuclear Power Reactors in the World*. Vienna: International Atomic Energy Agency. Available online at: https://aris.iaea.org/Publications/SMR_booklet_2022.pdf
- IEA (2019). *Nuclear Power in a Clean Energy System*. Paris: International Energy Agency. Available online at: <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>
- IEA (2021). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. Paris: International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- INRAG, Arnold, N., Becker, O., Dorfman, P., Englert, M., Frieß, F., et al. (2021). *Risiken von Laufzeitverlängerungen alter Atomkraftwerke*. Vienna: INRAG. https://www.nuclearfree.eu/wp-content/uploads/2021/04/INRAG_Risiken_von_Laufzeitverlaengerungen_alter_Atomkraftwerke_Langfassung.pdf.
- IPCC (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. New York, NY: IPCC. Available online at: <https://www.ipcc.ch/sr15/download/>
- IPCC (2022). “Summary for Policymakers,” in *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, eds H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, and B. Rama (Cambridge, UK; New York, NY: Cambridge University Press), 3–33. doi: 10.1017/9781009325844.001

- Jacobson, M. Z. (2020). “Evaluation of nuclear power as a proposed solution to global warming, air pollution, and energy security,” in *100% Clean, Renewable Energy and Storage for Everything* (Cambridge: Cambridge University Press).
- Jenkins, L. M., Alvarez, R., and Jordaan, S. M. (2020). Unmanaged climate risks to spent fuel from U.S. nuclear power plants: the case of sea-level rise. *Energy Policy* 137:111106. doi: 10.1016/j.enpol.2019.111106
- Jenkins, L. M., Zhou, Z., Ponciroli, R., Vilim, R. B., Ganda, F., de Sisternes, F., et al. (2018). The benefits of nuclear flexibility in power system operations with renewable energy. *Appl. Energy* 222, 872–884. doi: 10.1016/j.apenergy.2018.03.002
- Jewell, J., Vetier, M., and Garcia-Cabrera, D. (2019). The international technological nuclear cooperation landscape: a new dataset and network analysis. *Energy Policy* 128, 838–852. doi: 10.1016/j.enpol.2018.12.024
- Joskow, P. L. (1982). “Problems and prospects for nuclear energy in the United States,” in *Energy Planning, Policy and Economy*, ed. P. L. aneke (Washington, DC: Heath and Co), 231–245.
- Kåberger, T. (2019). “Economic management of future nuclear accidents,” in *The Technological and Economic Future of Nuclear Power*, eds R. Haas, L. Mez, and A. Ajanovic (Wiesbaden: Springer VS), 211–220.
- Koomey, J., and Hultman, N. E. (2007). A reactor-level analysis of busbar costs for US nuclear plants, 1970–2005. *Energy Policy* 35, 5630–5642. doi: 10.1016/j.enpol.2007.06.005
- Kopytko, N., and Perkins, J. (2011). Climate change, nuclear power, and the adaptation–mitigation dilemma. *Energy Policy* 39, 318–333. doi: 10.1016/j.enpol.2010.09.046
- Lazard (2021). *Lazard’s Levelized Cost of Energy Analysis*. New York, NY. <https://www.lazard.com/media/sptlfats/lazards-levelized-cost-of-energy-version-150-vf.pdf>
- Lazard (2023). *Lazard’s Levelized Cost of Energy Analysis*. Available online at: <https://www.lazard.com/media/2ozoovyg/lazards-lcoeplus-april-2023.pdf>
- Lévêque, F. (2015). *The Economics and Uncertainties of Nuclear Power*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Linares, P., and Conchado, A. (2013). The economics of new nuclear power plants in liberalized electricity markets. *Energy Econ.* 40, S119–S125. doi: 10.1016/j.eneco.2013.09.007
- Locatelli, G., Bingham, C., and Mancini, M. (2014). Small modular reactors: a comprehensive overview of their economics and strategic aspects. *Progr. Nucl. Energy* 73, 75–85. doi: 10.1016/j.pnucene.2014.01.010
- Locatelli, G., Mancini, M., and Todeschini, N. (2013). Generation IV nuclear reactors: current status and future prospects. *Energy Policy* 61, 1503–1520. doi: 10.1016/j.enpol.2013.06.101
- Lohrmann, A., Farfan, J., Caldera, U., Lohrmann, C., and Breyer, C. (2019). Global scenarios for significant water use reduction in thermal power plants based on cooling water demand estimation using satellite imagery. *Nat. Energy* 4, 1040–1048. doi: 10.1038/s41560-019-0501-4
- Lokhov, A., Cameron, R., and Sozoniuk, V. (2013). OECD/NEA study on the economics and market of small reactors. *Nucl. Eng. Technol.* 45, 701–706. doi: 10.5516/NET.02.2013.517
- Lovins, A. B. (2013). The economics of a US civilian nuclear phase-out. *Bull. Atom.Sci.* 69, 44–65. doi: 10.1177/0096340213478000
- Lovins, A. B. (2017). Do coal and nuclear generation deserve above-market prices? *Electricity J.* 30, 22–30. doi: 10.1016/j.tej.2017.06.002
- Lyman, E. (2013). *Small Isn’t Always Beautiful Safety, Security, and Cost Concerns about Small Modular Reactors*. Cambridge: Union of Concerned Scientists. <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/2019-10/small-isnt-always-beautiful.pdf>
- Lyman, E. (2021). “Advanced” isn’t Always Better: Assessing the Safety, Security, and Environmental Impacts of Non-Light-Water Nuclear Reactors. Cambridge, MA: Union of Concerned Scientists. doi: 10.47923/2021.14000
- Markard, J., Bento, N., Kittner, N., and Nuñez-Jimenez, A. (2020). Destined for decline? Examining nuclear energy from a technological innovation systems perspective. *Energy Res. Soc. Sci.* 67:101512. doi: 10.1016/j.erss.2020.101512
- Mazzucchi, N. (2022). Nuclear power can help the democratic world achieve energy independence. *Nature* 606, 841–841. doi: 10.1038/d41586-022-01733-9
- Meyer, B. (2012). *Externe Kosten der Atomenergie und Reformvorschläge zum Atomhaftungsrecht – Dokumentation von Annahmen, Methoden und Ergebnissen*. Berlin. https://foes.de/pdf/2012-09-Externe_Kosten_Atomenergie.pdf
- Miller, N. L. (2017). Why nuclear energy programs rarely lead to proliferation. *Int.Secur.* 42, 40–77. doi: 10.1162/ISEC_a_00293
- MIT (2003). *The Future of Nuclear Power*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology. <https://web.mit.edu/nuclearpower/pdf/nuclearpower-full.pdf>
- MIT (2009). *Update of MIT 2003 Future of Nuclear Power*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology. <https://web.mit.edu/nuclearpower/>
- MIT (2018). *The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.

- <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>
- Morris, C. (2018). Can Reactors React? Is a Decarbonized Electricity System With a Mix of Fluctuating Renewables and Nuclear Reasonable? IASS Discussion Paper. <https://www.rifs-potsdam.de/en/output/publications/2018/can-reactors-react-decarbonized-electricity-system-mix-fluctuating>
 - NEA (2016). Small Modular Reactors: Nuclear Energy Market Potential for Near-term Deployment. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development/ Nuclear Energy Agency. Available online at: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14924
 - OECD and NEA (2020). Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders. OECD & Nuclear Energy Agency. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14924
 - OECD/NEA (2012). The Economics of Long-term Operation of Nuclear Power Plants. Paris: OECD. doi: 10.1787/9789264992054-en
 - Pioro, L. (ed.). (2023). Handbook of Generation IV Nuclear Reactors. Woodhead Publishing.
 - Pistner, C., Englert, M., von Hirschhausen, C., Böse, F., Steigerwald, B., and Gast, L. (2023). Analyse und Bewertung des Entwicklungsstands, der Sicherheit und des regulatorischen Rahmens für sogenannte neuartige Reaktorkonzepte. Berlin: Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung. <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2023032937041>
 - Pittman, F. K. (1961). Nuclear power development in the United States. *Science* 133, 1566–1572. doi: 10.1126/science.133.3464.1566
 - Portugal-Pereira, J., Ferreira, P., Cunha, J., Szklo, A., Schaeffer, R., and Araújo, M. (2018). Better late than never, but never late is better: risk assessment of nuclear power construction projects. *Energy Policy* 120, 158–166. doi: 10.1016/j.enpol.2018.05.041
 - Ram, M., Bogdanov, D., Aghahosseini, A., Oyewo, S., Gulagi, A., Child, M., et al. (2017). Global Energy System Based on 100% Renewable Energy - Power Sector. Lappeenranta; Finland and Berlin: Lappeenranta University of Technology (LUT) and Energy Watch Group. https://ccsi.columbia.edu/sites/default/files/content/docs/EWG_LUT_100RE_All_Sectors_Global_Report_2019.pdf
 - Ram, M., Child, M., Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Lohrmann, A., and Breyer, C. (2018). A comparative analysis of electricity generation costs from renewable, fossil fuel and nuclear sources in G20 countries for the period 2015-2030. *J. Clean. Prod.* 199, 687–704. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.159
 - Ramana, M. V., Hopkins, L. B., and Glaser, A. (2013). Licensing small modular reactors. *Energy* 61, 555–564. doi: 10.1016/j.energy.2013.09.010
 - Rangel, L., and Leveque, F. (2012). Revisiting the Cost Escalation Curse of Nuclear Power: New Lessons from the French Experience. https://minesparis-psl.hal.science/file/index/docid/780566/filename/13WP_12-ME-08.pdf
 - REN21 (2017). Renewables 2017. Paris: Renewable Energy Policy Network for the 21st century. <https://ren21.net/gsr-2017/>
 - Rose, D. J. (1974). Nuclear eclectic power. *Science* 184, 351–359. doi: 10.1126/science.184.4134.351
 - Sainati, T., Locatelli, G., and Brookes, N. (2015). Small modular reactors: licensing constraints and the way forward. *Energy* 82, 1092–1095. doi: 10.1016/j.energy.2014.12.079
 - Schneider, M., Froggatt, A., Hazemann, J., Katsuta, T., Lovins, A. B., Ramana, M. V., et al. (2019). World Nuclear Industry Status Report 2019. Paris: Mycle Schneider Consulting. <https://www.worldnuclearreport.org/The-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2019-HTML.html>
 - Schneider, M., Froggatt, A., Hazemann, J., von Hirschhausen, C., Ramana, M. V., Wimmers, A. J., et al. (2022). World Nuclear Industry Status Report 2022. Paris: Mycle Schneider Consulting. <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2022-hr.pdf>
 - Schneider, M., Froggatt, A., Hazemann, J., von Hirschhausen, C., Ramana, M. V., Wimmers, A. J., et al. (2023). World Nuclear Industry Status Report 2023. Paris: Mycle Schneider Consulting. <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2023-v5.pdf>
 - Schneider, M., and Ramana, M. V. (2023). Nuclear energy and the non-proliferation treaty: a retrospective examination. *J. Peace Nucl. Disarm.* 6, 165–174. doi: 10.1080/25751654.2023.2205572
 - Schulze, W. D., Brookshire, D. S., and Sandler, T. (1981). The social rate of discount for nuclear waste storage: economics or ethics? *Nat. Resour. J.* 21, 811–832. <https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2065&context=nrj>
 - Seaborg, G. T. (1970). The Plutonium Economy of the Future. <http://fissilematerials.org/library/aec70.pdf>
 - Sepulveda, N. A., Jenkins, J. D., de Sisternes, F. J., and Lester, R. K. (2018). The role of firm low-carbon electricity resources in deep decarbonization of power generation. *Joule* 2, 2403–2420. doi: 10.1016/j.joule.2018.08.006
 - Smythe, D. (2011). An objective nuclear accident magnitude scale for quantification of severe and catastrophic events. *Phys. Today*. doi: 10.1063/PT.4.0509
 - Sorge, L., and Neumann, A. (2021). Warheads of Energy: exploring the linkages between civilian nuclear power and nuclear weapons in seven

- countries. *Energy Res. Soc. Sci.* 81:102213. doi: 10.1016/j.erss.2021.102213
- Taljegard, M., Göransson, L., Odenberger, M., and Johnsson, F. (2019). Impacts of electric vehicles on the electricity generation portfolio – A Scandinavian-German case study. *Appl. Energy* 235, 1637–1650. doi: 10.1016/j.apenergy.2018.10.133
 - The New York Times (1954). Abundant Power From Atom Seen; It Will Be Too Cheap for Our Children to Meter, Strauss Tells Science Writers. <http://www.nytimes.com/1954/09/17/archives/abundant-power-from-atom-seen-it-will-be-too-cheap-for-our-children.html>
 - Thomas, S. (2018). Russia's nuclear export programme. *Energy Policy* 121, 236–247. doi: 10.1016/j.enpol.2018.06.036
 - Thomas, S. (2019). Is it the end of the line for Light Water Reactor technology or can China and Russia save the day? *Energy Policy* 125, 216–226. doi: 10.1016/j.enpol.2018.10.062
 - Thomas, S., and Ramana, M. V. (2022). A hopeless pursuit? National efforts to promote small modular nuclear reactors and revive nuclear power. *WIREs Energy Environ.* 11, e429. doi: 10.1002/wene.429
 - Toktarova, A., Gruber, L., Hlusiak, M., Bogdanov, D., and Breyer, C. (2019). Long term load projection in high resolution for all countries globally. *Int. J. Elect. Power Energy Syst.* 111, 160–181. doi: 10.1016/j.ijepes.2019.03.055
 - Uddin, K., Dubarry, M., and Glick, M. B. (2018). The viability of vehicle-to-grid operations from a battery technology and policy perspective. *Energy Policy* 113, 342–347. doi: 10.1016/j.enpol.2017.11.015
 - Ullmann, J. E. (1958). Economics of nuclear power. *Science* 128, 95–96. doi: 10.1126/science.128.3315.95
 - University of Chicago (2004). *The Economic Future of Nuclear Power*. Chicago, IL: University of Chicago.
 - University of Chicago (2011). *Analysis of GW-Scale Overnight Capital Costs*. Chicago, IL: University of Chicago. https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/legacy_files/files/attachments/111129_EPIC_OvernightCost_Report.pdf
 - Verbruggen, A., and Yurchenko, Y. (2017). Positioning nuclear power in the low-carbon electricity transition. *Sustainability* 9:163. doi: 10.3390/su9010163
 - Wealer, B. (2020). The economic organization of nuclear power construction projects: Organizational models for production and financing. *J. Mega Infrastruct. Sustain. Dev.* 2, 206–219. doi: 10.1080/24724718.2021.2012353
 - Wealer, B., Bauer, S., Hirschhausen, C., von, Kemfert, C., and Göke, L. (2021a). Investing into third generation nuclear power plants - review of recent trends and analysis of future investments using Monte Carlo Simulation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 143:110836. doi: 10.1016/j.rser.2021.110836
 - Wealer, B., Bauer, S., Landry, N., Seiß, H., and von Hirschhausen, C. (2018). *Nuclear Power Reactors Worldwide – Technology Developments, Diffusion Patterns, and Country-by-Country Analysis of Implementation (1951–2017)*. Berlin: DIW Berlin, TU Berlin. https://www.diw.de/de/diw_01.c.583380.de/publikationen/data_documentation/2018_0093/nuclear_power_reactors_worldwide_technology_developments_and_country-by-country_analysis_of_implementation_1951-2017.html
 - Wealer, B., von Hirschhausen, C., Kemfert, C., Präger, F., and Steigerwald, B. (2021b). Ten Years after Fukushima: Nuclear Energy Is Still Dangerous and Unreliable. Berlin: DIW Berlin, German Institute for Economic Research. https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.812103.de/dwr-%2021-07-1.pdf
 - Weinberg, A. M. (1959). Some thoughts on reactors. *Bull. Atom. Sci.* 15, 132–137. doi: 10.1080/00963402.1959.11453944
 - Weinberg, A. M. (1971). Nuclear energy A Prelude to H. G. Wells' dream. *For. Aff.* 49, 407–418. doi: 10.2307/20037848
 - Wheatley, S., Sovacool, B. K., and Sornette, D. (2016). Reassessing the safety of nuclear power. *Energy Res. Soc. Sci.* 15, 96–100. doi: 10.1016/j.erss.2015.12.026
 - Wimmers, A., Böse, F., Kemfert, C., Steigerwald, B., Hirschhausen, C. V., and Weibezahn, J. (2023). Plans for Expanding Nuclear Power Plants Lack Technological and Economic Foundations. *DIW Weekly Report*. doi: 10.18723/DIW_DWR:2023-10-1
 - Yamashita, K. (2015). "History of nuclear technology development in Japan," in *AIP Conference Proceedings (Tokyo)*.
 - Yao, X., Fan, Y., Zhao, F., and Ma, S.-C. (2022). Economic and climate benefits of vehicle-to-grid for low-carbon transitions of power systems: a case study of China's 2030 renewable energy target. *J. Clean. Prod.* 330:129833. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129833

Traduzione dall'inglese e adattamento a cura di Roberto Canziani.

Articolo originale: Präger F, Breyer C, Fell H-J, von Hirschhausen C, Kemfert C, Steigerwald B, Traber T and Wealer B (2024) Evaluating nuclear power's suitability for climate change mitigation: technical risks, economic implications and incompatibility with renewable energy systems. *Frontiers in Environmental Economics* 3:1242818.

<https://doi.org/10.3389/frevc.2024.1242818>

REMTECH EXPO

FERRARA FIERE

18 - 20
SETTEMBRE
2024

RemTech Expo è l'unico Hub Tecnologico Ambientale,
specializzato sui temi del risanamento, della
rigenerazione e dello sviluppo sostenibile dei territori

REGISTRAZIONE ONLINE
www.remtechexpo.com



Un marchio di:



Società del gruppo:



RemTech è certificato da:





CARTA E CARTONE 2023: SUPERATI I 3,7 MILIONI DI TONNELLATE E RICICLO DEGLI IMBALLAGGI CELLULOSICI OLTRE IL 90%

I numeri contenuti NEL Rapporto Annuale sulla raccolta differenziata presentato quest'anno consentono di guardare con fiducia alle grandi sfide dell'immediato futuro. Il modello del Consorzio, è un modello che viene da lontano, ma che continua a percorrere i tempi.

Il 2023 ci ha visto raggiungere un tasso di riciclo degli imballaggi cellulosici superiore al 90%, centrando così con sette anni di anticipo l'obiettivo fissato dall'Unione Europea al 2030. Un risultato eccellente, che conferma la solidità del sistema, ma che, tuttavia, va letto in modo più approfondito e contestualizzato. Analizzando il tasso di riciclo nel triennio 2021-2023, si nota il passaggio dal brusco calo del 2022 (-5%) al rimbalzo del 2023 (+7,7%). Due risultati che quasi si compensano, portando il tasso medio di riciclo nel biennio intorno all'86%, in linea con quello dei due anni precedenti e comunque oltre l'obiettivo UE al 2030 (85%). Non bisogna mai dimenticare, infatti, che le performance di raccolta differenziata e avvio a riciclo sono direttamente influenzate dalle strategie dell'industria e dalle scelte di consumo dei cittadini, e che queste risentono a loro volta di fattori diversi, sia economici che sociali. La marcata differenza tra i due anni è spiegata in parte proprio dalla tendenza altale-



ITALIA	3,75 milioni t	+2,9% sul 2022
NORD	1,90 milioni t	+2,8% sul 2022
CENTRO	871 mila t	+1,5% sul 2022
SUD	983 mila t	+4,5% sul 2022

70

milioni di t
DI CARTA E CARTONE
SOTTRATTI ALLE
DISCARICHE
DAL 1998 AL 2023

nante dei mercati delle materie prime e dei consumi di imballaggi nel biennio trascorso, condizionato pesantemente dai costi energetici e dall'aumento dell'inflazione. Fattori che hanno comportato nel 2023 una maggiore movimentazione delle scorte dei magazzini accumulate (e immesse ufficialmente a consumo) nel corso del 2022.

Nel 2023 la raccolta differenziata di carta e cartone in Italia è cresciuta di quasi il 3% rispetto al 2022

LE CONVENZIONI CON COMIECO

oltre 2,3 milioni di t
di carta e cartone

62,6%
dei volumi nazionali

95,3%
abitanti convenzionati

89,8%
comuni convenzionati

191,1

milioni di €
CORRISPETTIVI
EROGATI AI COMUNI

LA RETE DEL RICICLO

Impianti di gestione dei rifiuti

Italia 345			
141	66	138	
Nord	Centro	Sud	

Cartiere

Italia 56			
31	18	7	
Nord	Centro	Sud	



PIÙ E MEGLIO

- > Intercettare carta e cartone che ancora finiscono in discarica: 700 mila tonnellate, di cui oltre la metà disponibili al meridione e nei centri urbani più grandi.
- > Migliorare la qualità: ciò che avviamo a riciclo alimenta il motore dell'economia circolare italiana e chi ricicla è come un cuoco: per preparare ottimi piatti ha bisogno di materie prime di qualità.
- > Piano Sud e cantierizzazione PNRR sono tra gli strumenti che faranno la 18 differenza.



RECUPERO E RICICLO IMBALLAGGI CELLULOSICI

superato obiettivo
UE 2030 (85%)

92,3%
TASSO DI RICICLO



e ha raggiunto la quota record di oltre 3,7 milioni di tonnellate. Un andamento che si riflette positivamente anche sul tasso di riciclo degli imballaggi cellulosici che arriva al 92,3%, in netto anticipo sugli obiettivi UE al 2030 (85%). I dati mettono in evidenza la solidità del sistema di raccolta e riciclo: un “alveare” di cui fanno parte i Comuni, i gestori dei servizi ambientali, la filiera del riciclo di carta e cartone e i cittadini che con il loro impegno hanno conferito mediamente circa 64 kg ciascuno, un risultato mai raggiunto in precedenza. Risultato record anche per il Sud che raggiunge in media i 50 kg/ab. Dal Nord al Sud: la mappa della raccolta differenziata di carta e cartone.

Nel “Giro d’Italia” della raccolta differenziata la maglia rosa per il Nord va all’Emilia Romagna con oltre 93 kg per abitante, per il Centro viene assegnata alla Toscana con quasi 90 kg per abitante e per il Sud alla Sardegna con più di 61 kg per abitante.

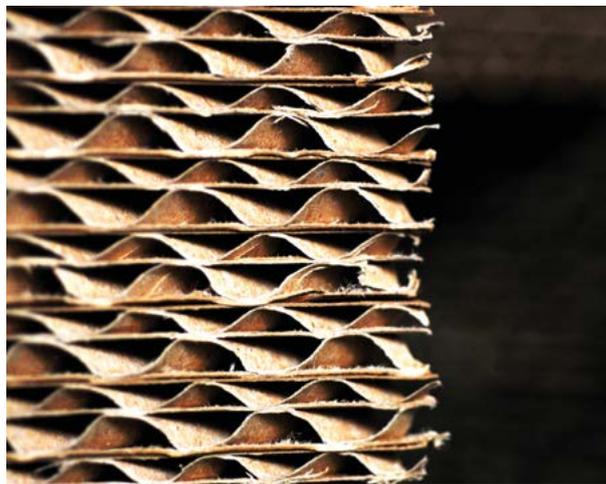
Tra le grandi città, una menzione speciale merita Roma, che cresce di 3.600 tonnellate (+1,5%) ma ha ancora un potenziale stimato di raccolta di 80.000 tonnellate/anno così come ci sono ampi margini di miglioramento sul fronte della qualità della raccolta famiglie. Tutte le macroaree del Paese contribuiscono alla crescita, seppur in misura diversa. Il Nord si con-

ferma il bacino più consistente in termini di quantità con quasi 1,9 milioni di tonnellate raccolte: +2,8% rispetto al 2022. Questa crescita è trainata da Veneto (+9,9%), Emilia-Romagna (+2,7%) e Liguria (+8,1%) che compensano la stabilità delle altre regioni e le chiusure negative, seppur trascurabili, di Valle d’Aosta (-0,7%) e Trentino-Alto Adige (-0,2%). Il Centro cresce complessivamente dell’1,5% su una raccolta totale pari a 871.000 tonnellate a cui contribuiscono il Lazio (+2,7%), la Toscana (+1,5%) e l’Umbria (+0,9%), mentre le Marche continuano sotto il segno negativo dell’ultimo biennio (-2,2%).

Numeri positivi anche al Sud che supera le 983.000 tonnellate raccolte con un incremento del 4,5%. L’unica regione in flessione rispetto al 2022 è l’Abruzzo (-1,3%) mentre tutte le altre migliorano le proprie performance: Campania +4,5%, Molise +7,6%, Puglia +2,3%. La Sicilia, con +9,9% sull’anno precedente (migliore performance italiana insieme al Veneto), da sola registra più della metà dell’incremento dei volumi al Sud. Cresce anche la Sardegna (+3,2%) che riconferma anche la migliore performance pro-capite della macroarea.



Il potenziale tra qualità e quantità: le nuove sfide dell'Accordo Quadro Anci-Conai "La presenza di minori impurità nella raccolta differenziata si traduce in una massimizzazione del riciclo e sarà una delle prossime sfide del nuovo accordo ANCI-CONAI, che proprio quest'anno chiude il V ciclo e si appresta ad entrare nel VI." aggiunge Amelio Cecchini, Presidente Comieco "Proprio a fronte di questo accordo nel 2023 sono stati riconosciuti ai Comuni oltre 190 milioni di euro in corrispettivi con un aumento di 41 milioni rispetto al 2022 per la gestione in convenzione di oltre 2,3 milioni tonnellate di carta e cartone provenienti dalla raccolta comunale." "Stimiamo che la raccolta differenziata di carta e cartone abbia ancora un potenziale di 700.000 tonnellate/anno, di cui oltre 400.000 al Sud" commenta Carlo Montalbetti, Direttore Generale Comieco. "Per intercettarle stiamo lavorando con un piano di supporto ai Comuni del meridione che prevede un investimento di 3,5 milioni di euro.



A questo si aggiunge un ulteriore aumento della capacità di trattamento dei rifiuti cartacei a fronte degli investimenti sull'impiantistica generati dai cofinanziamenti del PNRR: 58 progetti in fase di cantierizzazione, la maggior parte nell'area Centro-Sud del Paese".

DATI E SCENARIO

- Nel 2023 la raccolta differenziata comunale di carta e cartone ha superato i 3,7 milioni di tonnellate;
- Rispetto al 2022: +107 mila tonnellate ovvero (+2,9%). Curiosità: questo incremento è pari alla raccolta complessiva di Valle d'Aosta, Umbria e Basilicata messe insieme.
- Pro-capite medio Italia 2023: sfiora i 64kg/ab, al Sud raggiunge i 50 kg/ab (5 anni fa il meridione era ampiamente sotto i 40 kg/ab).
- Tasso riciclo imballaggi cellulosici: nel 2023 ha raggiunto il 92,3%, dato che consolida il superamento in anticipo degli obiettivi europei al 2030 (tasso riciclo oltre 85%).

Gestione Comieco:

Nel 2023 Comieco ha gestito l'avvio a riciclo di 2,3 milioni di tonnellate carta e cartone – di cui 1,5 milioni di imballaggi – erogando corrispettivi economici ai comuni per oltre 191 milioni di euro.

LA STORIA (DAL 1998 AL 2023) DELLA RACCOLTA DIFFERENZIATA E DEL RICICLO DI CARTA E CARTONE IN NUMERI:

- la raccolta comunale di carta e cartone complessiva è passata da 1 a oltre 3,7 milioni di tonnellate/anno;
- sono state raccolte oltre 70 milioni di tonnellate di carta e cartone di cui oltre il 60% (42,5 milioni di tonnellate) gestiti da Comieco;
- il Consorzio ha erogato oltre 2,5 miliardi di euro di corrispettivi per la raccolta;
- il tasso di riciclo, che era al 37%, è ormai stabilmente sopra gli obiettivi UE.

CHI VA SU E CHI VA GIÙ

A livello regionale (per incremento %):

- Maglia rosa a pari merito a Sicilia e Veneto (+9,9%)
- Maglia nera alle Marche (-2,2%).

Considerando le quantità raccolte:

- al Nord si registra l'aumento più consistente +51 mila tonnellate rispetto al 2022 (+2,8%).
- Positive o stabili le altre regioni, ad eccezione di Valle d'Aosta e Trentino-Alto Adige in lieve calo.

FOCUS SUD:

Nel complesso è sempre al Sud che si apprezza l'incremento medio annuo più alto tra le tre macroaree (+4,5%). La Sicilia, in particolare, con 22 mila tonnellate raccolte in più è tra le regioni traino dell'intera macroarea, portando da sola più della metà dei nuovi volumi del Sud e contribuendo per circa un quinto all'incremento annuo nazionale. Bene anche le altre regioni, inclusa la Sardegna che si conferma riferimento per l'area meridionale e resta tra le migliori esperienze a livello nazionale.

Classifica per media pro-capite:

Primo posto: Emilia Romagna 93,2 kg/ab

Secondo posto: Toscana 89,8 kg/ab

Terzo posto: Valle d'Aosta 80,6 kg/ab

Al Sud la regione con la media pro-capite più alta è la Sardegna con 61,1 kg/ab



Per informazioni:

Comieco

Cons. Naz. Recupero e Riciclo degli imballaggi a base Cellulosica

www.comieco.org

IdA



LA TUA CITTÀ PUÒ DIVENTARE LA CAPITALE DELLA RACCOLTA E RICICLO DELLA CARTA - 2025

Pensi che raccolta differenziata e riciclo della tua città abbiano le carte in regola? **Dal 7 al 13 aprile 2025, potrebbe essere la Capitale della V edizione della Paper Week.** Un palcoscenico per valorizzare le buone pratiche a livello nazionale promuovendo al contempo azioni di sensibilizzazione per i propri cittadini attraverso la costruzione di un palinsesto di iniziative di diversa natura e portata: workshop e seminari, esposizioni, collaborazioni con aziende della filiera attive sul territorio, talk, spettacoli, attività con e per le scuole...

Proclameremo la Capitale 2025 del Riciclo della Carta a novembre 2024, nel corso della prossima assemblea nazionale ANCI a Torino.



I Comuni interessati possono proporre la propria candidatura in poche semplici mosse:

- 1 inquadrare il qr code
- 2 scaricare regolamento e moduli
- 3 compilare la manifestazione di interesse
- 4 restituirla compilata entro il 31/10/2024

col patrocinio di

in collaborazione con

media partner

AL VIA L'ITALIAN GEOTHERMAL FORUM

Nasce il 1° Italian Geothermal Forum, l'evento annuale dedicato agli sviluppi dell'energia geotermica e al dibattito internazionale sulle opportunità del settore.

L'appuntamento, di In Fieri organizzato da Mirumir, è fissato per l'11 e il 12 novembre 2024 presso l'Auditorium della Tecnica a Roma. Il forum offrirà un'occasione unica per esplorare le ultime tecnologie

e tendenze emergenti nel settore. Sarà anche un'occasione di confronto con le Istituzioni nazionali e europee dopo le elezioni europee.

Il programma include infatti sessioni plenarie con confronti strategici tra Italia ed Europa su scenari di mercato attuali e futuri. Sono inoltre in programma sessioni tecniche parallele dedicate a bassa, media ed alta entalpia, teleriscaldamento e teleraffrescamen-





to, pompe di calore, calore geotermico per l'industria e minerali strategici dalle brine geotermiche.

I partecipanti avranno l'opportunità di interagire con leader del settore, rappresentanti istituzionali e innovatori globali, esplorando nuove opportunità di investimento e soluzioni geotermiche per soddisfare le esigenze energetiche di aziende e comuni. Ci saranno anche momenti di networking, con incontri con i media, enti di ricerca e associazioni italiane ed estere.

La fonte geotermica viene annoverata sempre più spesso tra le fonti strategiche che possono contribuire a raggiungere gli obiettivi ambientali europei e l'indipendenza energetica, nell'ottica della transizione energetica. La geotermia ad alta, a media e a bassa entalpia è infatti una fonte energetica sostenibile a zero emissioni di CO₂.

L'Italia vanta una profonda esperienza nel settore dell'energia geotermica e possiede numerose centrali in particolare in Toscana.





Recentemente Gilberto Pichetto Fratin, Ministro dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, ha evidenziato il ruolo cruciale della geotermia nel raggiungimento degli obiettivi del Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima (PNIEC). Il piano ha introdotto un fondo di mitigazione del rischio, specificamente progettato per incentivare la realizzazione di nuovi impianti basati su tecnologie innovative. Questo strumento finanziario mira a ridurre le incertezze economiche legate agli investimenti nel settore, offrendo così un supporto fondamentale per lo sviluppo di progetti all’avanguardia e favorendo la crescita della geotermia in nuove aree.

A metà maggio il MASE ha anche firmato un protocollo d’intesa con RSE e INGV, finalizzato alla collaborazione in attività di ricerca in ambito geotermico. Un accordo che “darà impulso a ricerche legate al suolo e allo sviluppo di energie alternative, come la geotermia, in sicurezza. Questo sarà utile per i lavori del Dipartimento Energia e per l’intero Ministero”, ha spiegato il Capo di Gabinetto del Mi-

nistro per l’Ambiente e la Sicurezza Energetica, Antonio Scino.

Il 1° Italian Geothermal Forum è realizzato in collaborazione con le principali associazioni Italiane del settore: l’Unione Geotermica Italiana (UGI), l’Associazione Italiana Riscaldamento Urbano (AIRU), il Consiglio Nazionale Geologi, la Rete Geotermica e l’Associazione Nazionale Impianti Geotermia Heat Pump (ANIGHP, sezione di ANIPA).

Hartmann Valves è Diamond Sponsor, Isamgeo Gold Sponsor, Steam Silver Sponsor.

Per informazioni:

ITALIAN GEOTHERMAL

<https://italiangeothermal.com/>

IdA





italian Geothermal

conference & expo

1° ITALIAN GEOTHERMAL FORUM

11 - 12 NOVEMBRE 2024

Centro Congressi
Auditorium della Tecnica,
Roma

www.italiangeothermal.it

Sponsor Diamond



Sponsor Gold



Sponsor Silver



In collaborazione con



Main Media Partner



Media Partner



ENERGIA & MERCATO



Un evento di



Segreteria Organizzativa



Informazioni DALLE AZIENDE

HAIKI+ inaugura un nuovo impianto di gestione rifiuti industriali a Lazzate

Haiki Recycling S.r.l., parte di Haiki+ S.r.l. e subholding di Innovatec S.p.a., ha inaugurato un nuovo impianto di gestione rifiuti nel Comune di Lazzate (MB).

L'investimento ammonta a circa 5 milioni di euro e permetterà di dare lavoro a circa 40 famiglie, oltre a creare un significativo indotto sul territorio, contribuendo così allo sviluppo economico locale.

“L'apertura di questo impianto rappresenta un passo importante verso la nostra missione di promuovere l'economia circolare – ha commentato Flavio Raimondo, Amministratore Delegato di Haiki+ –. “Siamo orgogliosi di contribuire alla riduzione dei rifiuti destinati alle discariche e di creare nuovi posti di lavoro nella comunità locale.”

“La gestione dei rifiuti rappresenta una sfida importante per un futuro sostenibile, del mondo e anche delle nostre comunità – ha affermato il Sindaco di Lazzate, Andrea Monti –. Oggi parte una attività importante, anche per lo sviluppo economico del nostro territorio, su un'area che da anni era abbandonata e che può così assecondare la destinazione per cui era stata individuata. Ognuno deve fare la propria parte, uniti per raggiungere l'ambizioso obiettivo di una gestione del ciclo dei rifiuti che sia sostenibile, sicura, a basso impatto e tecnologicamente avanzata”.

Il nuovo impianto è progettato per trattare fino a 50.000 tonnellate all'anno di rifiuti non pericolosi. Dotato di tecnologie di ultima generazione, l'impianto è in grado di massimizzare il recupero delle componenti valorizzabili presenti nei rifiuti, come carta, cartone, plastica e legno, contribuendo significativamente alla ri-

duzione del ricorso alle discariche in un'ottica di economia circolare.

La gestione dei rifiuti non pericolosi è una questione cruciale per le politiche ambientali. I rifiuti speciali complessivamente gestiti in Italia sono pari a circa 164,9 milioni di tonnellate, di cui circa 154,3 milioni di tonnellate (93,5% del totale gestito) sono rifiuti non pericolosi e i restanti sono pericolosi. Una gestione efficiente di questi rifiuti è essenziale per ridurre l'impatto ambientale e promuovere l'economia circolare.

Le attività di lavorazione presso l'impianto comprendono la selezione, la cernita altamente automatizzata, la triturazione e la pressatura meccanica dei rifiuti. Questi processi permettono il recupero delle frazioni merceologiche riciclabili come materie prime (carta, ferro, plastica, legno, cartone, ecc.) e la triturazione dei rifiuti non valorizzabili per successivo invio a recupero energetico. Per ottimizzare gli stoccaggi e la valorizzazione dei materiali inviati a successivo recupero, i rifiuti vengono pressati.

I macchinari utilizzati includono: una pressa orizzontale per l'imballaggio dei rifiuti, con una capacità produttiva di 40 tonnellate all'ora; un tri-

turatore per la riduzione volumetrica dei diversi flussi di materiali, con una capacità produttiva di 50 tonnellate all'ora; una cabina di cernita per la precisa separazione delle componenti valorizzabili dai rifiuti, quali carta, cartone, legno e plastica.

A supporto delle attività principali, Haiki Recycling dispone anche di ragni mobili, carrelli elevatori e una flotta di mezzi e autisti per i servizi di ritiro sul territorio. Inoltre, l'impianto è completato da aree di ricezione, stoccaggio finale e da tutte le dotazioni impiantistiche a corredo, quali sistemi antincendio, raccolta reflui, pesatura, uffici e officina.

Haiki Recycling fornisce anche servizi di installazione e noleggio contenitori per rifiuti (scarrabili o fissi) e il prelievo con relativo trasporto dei rifiuti presso gli impianti autorizzati, inclusa l'intermediazione. Queste attività possono essere svolte anche mediante l'utilizzo di risorse in outsourcing, principalmente utilizzate per l'attività di cernita o trasporto.

Il capannone che ospita le attività produttive è equipaggiato con un sistema dedicato di aspirazione e abbattimento delle polveri, oltre a un avanzato sistema antincendio, garantendo così elevati standard di sicurezza e rispetto dell'ambiente. ■

Haiki

<https://www.haikiplus.it/>



Figura 1. Da sx a dx: Nicola Colucci, Presidente Haiki+; Andrea Monti, Sindaco di Lazzate; Flavio Raimondo, AD di Haiki+



better together

DELINEA NUOVE PROSPETTIVE

UNIQA®

elettropompe sommergibili ad alta efficienza

Le elettropompe **UNIQA** garantiscono elevata affidabilità, alte prestazioni e un notevole risparmio energetico in **classe di efficienza IE3**. Ogni modello nasce da una specifica combinazione di motore e idraulica, studiata per raggiungere prestazioni ottimali sul punto di lavoro richiesto in ogni ambiente di lavoro.

La gamma UNIQA offre motori da **1.1 a 355 kW**, da 2 a 12 poli, a 50 e 60Hz e con bocche di mandata da **DN50 a DN600**.

UNIQA è caratterizzata da diverse tipologie di giranti: **Vortex** ad ampio passaggio libero, a **Canali** con sistema antibloccaggio ACS, **Grinder** con sistema di triturazione e **Chopper** con sistema di taglio.

Il sistema di raffreddamento brevettato, con glicole separato dal refluo, impedisce il surriscaldamento del motore grazie ad un **circuito chiuso** a ricircolo interno, in modo da garantire una maggiore efficacia del processo.



Economia circolare, nel Lazio, un sito all'avanguardia in Europa sul recupero delle materie prime critiche

Nascerà a Ceccano (Frosinone) presso il sito industriale di Itelyum Regeneration l'impianto all'avanguardia per il recupero di terre rare per rispondere alla sfida geopolitica delle materie prime critiche strategiche.

A partire dall'obiettivo europeo di una sostanziale autonomia nell'approvvigionamento delle terre rare è stato progettato INSPIREE, il primo impianto in Europa per la produzione di ossidi e carbonati di terre rare (neodimio, praseodimio e disprosio) da riciclo chimico di magneti permanenti esausti, estratti da hard disk e motori elettrici a fine vita.

La Commissione europea ha dichiarato un'urgenza nell'affrontare la dipendenza europea dal resto del mondo di materie fondamentali in sempre più settori, in seguito al quale il Governo italiano ha recentemente approvato il decreto legge "Materie prime critiche", che recepisce il regolamento Critical Raw Materials Act dell'Unione Europea. Il progetto LIFE INSPIREE ha preso ufficialmente il via con la presentazione a Roma, alla presenza dell'Assessore al Bilancio e Programmazione Economica Giancarlo Righini e, in rappresentanza dell'Assessore all'Ambiente e Transizione Energetica Ele-

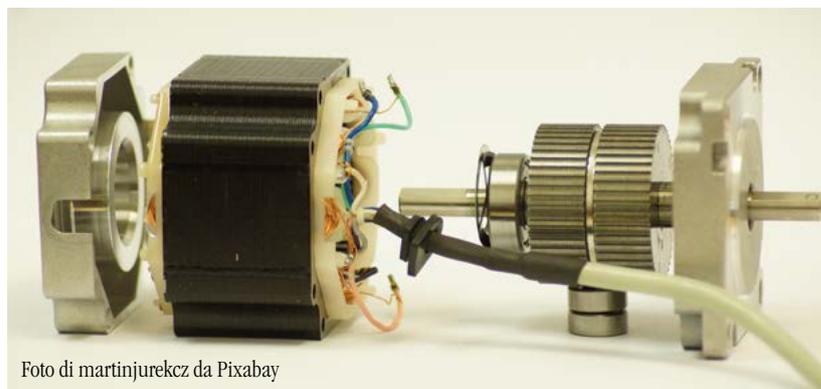


Foto di martinjurekcz da Pixabay

na Palazzo, il Capo Segreteria Pietro Stabile. La Regione Lazio, come evidenziato nel corso dei loro interventi, è oggi sede di molte eccellenze, e si candida a diventare campione di green economy, con un'attenzione alla sostenibilità, coniugando sviluppo del territorio, protezione ambientale e attenzione alla comunità.

Lo scale-up industriale dell'impianto avverrà grazie a un processo a due livelli: il primo step prevede il disassemblaggio dei magneti, mentre il livello successivo consiste nel recupero di ossalati di REE (Rare Earth Elements) tramite idrometallurgia a bassissimo impatto ambientale.

L'impianto di smontaggio potrà trattare 1.000 tonnellate all'anno di rotor elettrici e l'impianto idrometallurgico a regime potrà trattare 2.000 t/anno di magneti permanenti ottenuti da diverse fonti tra cui anche hard disk, piccoli e grandi motori

elettrici con il conseguente recupero di circa 500 t all'anno di ossalati di REE, una quantità sufficiente al funzionamento di 1 milione di hard disk e laptop e 10 milioni di magneti permanenti per applicazioni varie nell'automotive elettrico.

Sono partner del progetto: EIT Raw Materials, il più grande consorzio nel settore delle materie prime a livello mondiale; Erion, il sistema multi-consortile no profit per la gestione di differenti tipologie di rifiuti e la valorizzazione delle materie prime seconde; Glob Eco, azienda con pluriennale esperienza nella raccolta e nel trattamento di RAEE; Università degli studi dell'Aquila, che ha sviluppato, brevettato e ottimizzerà la tecnologia idrometallurgica.

"Siamo lieti di poter mettere a disposizione le specifiche competenze che abbiamo maturato grazie al progetto NEW-RE, finanziato dall'ente europeo EIT Raw Materials" – ha dichiarato Danilo Bonato, direttore generale di Erion Compliance Organisation – "Per l'approvvigionamento delle materie prime strategiche l'Europa dipende ancora troppo da Paesi terzi, nonostante gli sforzi in atto per rendere più circolare la nostra economia. Ora però abbiamo l'opportunità di costruire la value chain del riciclo delle terre rare, attraverso la realizzazione di impianti con tecnologie innovative e strategie più efficaci per massimizzare la raccolta dei rifiuti tecnologici". ■



Figura 1. Francesco Gallo, Direttore operations e R&D Coordinator Itelyum Regeneration, Francesco Ferrante, Vice Presidente Kyoto Club e Marco Codognola AD Itelyum

LIFE INSPIREE

<https://www.itelyum.com/>



IdA



Report di impatto di ATON; la tecnologia riduce gli sprechi di cibo

La tecnologia del gruppo Aton migliora l'impatto sulle persone, sulla qualità del lavoro e sull'ambiente. Perché ottimizzando i flussi delle merci e limitando il consumo di carta e di energia per la rete informatica è possibile ridurre l'impatto sull'ecosistema che circonda l'azienda e i suoi clienti. È questo in sintesi il report di valutazione d'impatto del gruppo Aton, B Corp con sede nel Trevigiano specializzata nella trasformazione digitale delle vendite omnichannel e nella tracciabilità, nei settori industriali alimentare, beni di largo consumo, fashion e in particolare nella GDO.

L'azienda ha presentato il 12 luglio a Montebelluna il proprio report di impatto, dal titolo “.People”, incentrato sulla filosofia aziendale del “we take care” che si traduce in costante impegno e sensibilità verso collaboratori, partner e comunità, evidenziando come la tecnologia possa aumentare la qualità della vita e del lavoro delle persone.

Nel 2023 l'investimento in R&D è aumentato del 19% rispetto al 2022, passando da 1.250.000 euro a 1.492.000 euro e si assesta attorno al 7% del fatturato annuale. In particolare, Aton ha lavorato sullo sviluppo della piattaforma software “.one”, il nuovo hub digitale che integra i processi di business con l'obiettivo di abbattere i silo informativi che rendono difficile la collaborazione tra team, riducendo sprechi e inefficienze e diminuendo i tempi richiesti per l'inserimento dati.

L'azienda trevigiana ha sviluppato i principali indicatori di impatto sociale e ambientale in progetti realizzati con i clienti e li ha diffusi con dei video case study: Aspiag, Gruppo Poli, Gruppo Unicomm e Caffè Vergnano. Va detto che in questo periodo storico la sensibilità delle persone è sempre più alta attorno ai temi della sostenibilità e della riduzione degli sprechi, l'enorme diffusione di App come “Too good to go” ne è l'emblema.

“Negli ultimi anni abbiamo coinvolto direttamente i nostri clienti nella valutazione dell'impatto delle nostre



Figura 1. Evento Aton

soluzioni e dei nostri servizi”, spiega Giorgio De Nardi, CEO di Aton. “Un grande player della GDO ha dimostrato che efficientando i processi con le nostre soluzioni ha diminuito lo spreco di prodotti alimentari del 5%. Su un fatturato di 2,7 miliardi di euro equivale a evitare la distruzione di cibo per un valore pari a 135 milioni. Non solo: ha ridotto del 10% il tempo sprecato nelle percorrenze all'interno dei punti vendita da parte del personale di negozio. Inoltre, evitando le stampe, sono state risparmiate 60 tonnellate di carta. Sono numeri enormi, se consideriamo 600 negozi in tutta Italia, che gestiscono 2,5 milioni di ordini all'anno. Stiamo parlando di un impatto positivo che potrebbe essere ottenuto da tutte le aziende del comparto e della filiera alimentare, e non solo, se ci fosse una maggiore e migliore consapevolezza”.



Figura 2. Giorgio De Nardi Ceo Aton

In concreto, l'investimento in ricerca e sviluppo del gruppo Aton è orientato soprattutto a creare un unico data model accessibile e fruibile dai diversi attori della filiera. Si è lavorato anche sull'architettura centralizzata in cloud per diminuire la capacità computazionale richiesta dalle app per le vendite e la supply chain: tutto questo ha portato alla riduzione dei dati dei sistemi IT, con un impatto significativo in termini di risparmio energetico e riduzione dell'inquinamento digitale. Inoltre, è stato progettato un design system facilmente fruibile per gli utenti per semplificare il lavoro e rendere più veloce e meno dispendiosa la formazione digitale di nuove persone.

“Progettare e sviluppare soluzioni e servizi che contribuiscono alla razionalizzazione dell'impatto ambientale delle aziende clienti eliminando gli sprechi e le inefficienze è uno dei nostri obiettivi”, conclude Tania Zanatta, CFO e responsabile di impatto di Aton. “Riteniamo necessario diffondere soluzioni smart di innovazione digitale, facendo leva sulla loro convenienza economica (ROI) per incrementare l'impatto positivo sul bilancio sociale e ambientale e avviare un ciclo virtuoso che si rinnova e si alimenta con l'avanzamento tecnologico”. ■

Aton
<https://aton.com/>



Viacqua alla ricerca di perdite nell'Alto Vicentino

Ha preso il via il piano di ricerca perdite commissionato da Viacqua nell'ambito del progetto "Water Sustainability Management – Reti di distribuzione Ambito Bacchiglione" che è finanziato attraverso i fondi comunitari del NextGenerationEU, missione componente M2C4–I4.2, nell'ambito del PNRR. Il contributo, per un ammontare complessivo di 33 milioni di euro, è stato assegnato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti al Consiglio di Bacino Bacchiglione e vedrà Viacqua, AcegasApsAmga e Acquenevete nel ruolo di soggetti attuatori. Nel dettaglio Viacqua gestirà interventi finanziati per un totale di quasi 9,8 milioni di euro.

Primi comuni interessati dalle attività sono stati quelli di Carrè e Chiuppano, seguiti da Villaverla, Piovene Rocchette, Caltrano e Thiene. Nel complesso verranno messi sotto la lente di ingrandimento oltre 1.200 km di reti idriche. In questa prima fase del progetto i tecnici incaricati da Viacqua ispezioneranno quasi 220 km di condotte. Successivamente sono già previste le indagini nei territori di Caltrano e Thiene, le cui programmazioni verranno fatte nelle prossime settimane. Nell'area a nord del bacino servito dal gestore si registrano infatti i maggiori volumi di perdite lungo le reti. Da qui la scelta di intervenire in modo mirato con l'obiettivo di portare in tutta l'area, che è servita dall'acquedotto consortile "Astico", le perdite dall'attuale 37% al previsto 23% entro il 2025.

La ricerca delle perdite occulte verrà condotta secondo modalità non distruttive, senza cioè scavi e rotture stradali. In una prima fase si procederà ad una pre-localizzazione delle zone in cui potrebbero esserci perdite in corso sulla

base di modelli matematici che analizzano i dati provenienti dalla rete.

Nello step successivo verranno installati noise logger e/o idrofoni in grado di registrare e analizzare il rumore prodotto da eventuali fuoriuscite d'acqua dalle condotte in modo da restringere le aree di intervento per poi affinare l'individuazione di precisione con il supporto di apparecchiature elettroacustiche avanzate come geofoni e correlatori. A queste tecniche potranno esserne affiancate delle altre quali la tecnologia di ricerca con gas tracciante e la metodologia innovativa basata sui raggi cosmici. ■

Viacqua

<https://www.viacqua.it/>



Il Gruppo Zenit entra ufficialmente a far parte di Tsurumi Manufacturing co., LTD

L'accordo, siglato in data 15 luglio 2024, formalizza l'acquisizione della totalità del capitale di Zenit International S.p.A., holding del Gruppo Zenit, da parte di Tsurumi Manufacturing co., LTD, società multinazionale leader nella produzione e distribuzione di pompe elettriche e con sede in Giappone.

Il colosso giapponese, che nel 2023 ha chiuso l'anno con un consolidato di quasi 60 miliardi di yen (oltre 360.000.000 di euro), acquisisce l'intero capitale sociale dell'azienda modenese, segnando l'inizio di un nuovo percorso per Zenit, azienda storica attiva nel settore della produzione impianti per trattamenti acque reflue, fondata alla fine degli anni '50 e con sede attuale in San Cesario sul Panaro, in provincia di Modena, con un consolidato 2023 portato oltre i 40 milioni di euro.

Tale operazione, inserita all'interno di un percorso iniziato nel 2018 come partnership commerciale prima e accordo strategico con partecipazione di capitale poi, permetterà al Gruppo Zenit di continuare a crescere e portare l'eccellenza del Made in Italy nel mondo.

Il nuovo assetto societario, pur non variando la compagine organizzativa interna, permetterà al Gruppo modenese di continuare a investire in ricerca e sviluppo di tecnologie innovative, in ottimizzazione e refurbishing di strutture preesistenti, in implementazione di nuove aree operative, etc.

Dal punto di vista commerciale, il Gruppo Zenit continuerà ad essere presente sui mercati strategici di riferimento con il proprio marchio, mantenendo la propria identità di brand e perseguendo la propria strategia commerciale e di marketing, definita a priori con la nuova Holding. Al contempo, la potenza commerciale e il know-how tecnico di Tsurumi Manufacturing co., LTD., dal 1924 sinonimo di qualità ed eccellenza nel settore delle pompe per trattamento acque riconosciuta a livello mondiale, consentiranno all'azienda modenese di compiere importanti passi in avanti in termini di crescita manageriale, progresso tecnico e sviluppo commerciale.

L'accordo siglato suggella l'inizio di un nuovo capitolo nella storia di entrambe le aziende, completando la strategia perseguita dai due Gruppi negli ultimi anni: l'attuazione di una sinergia che permetterà la crescita di entrambe le aziende nell'ottica di una costante co-operazione. ■

Zenit

www.zenit.com/it-IT

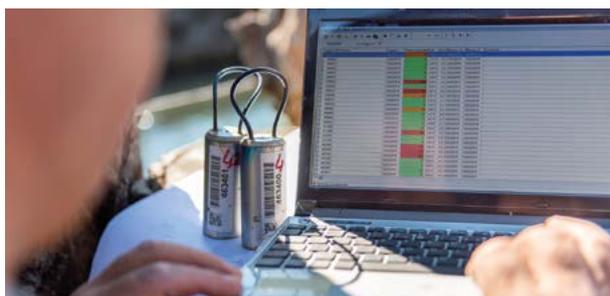


Figura 1. Viacqua – Ricerca perdite: i dati raccolti dagli strumenti vengono caricati e analizzati digitalmente.



Figura 1. Foto di gruppo con il gruppo direttivo di Zenit e Tsurumi Pumps durante la cerimonia successiva alla firma dell'accordo.

IdA

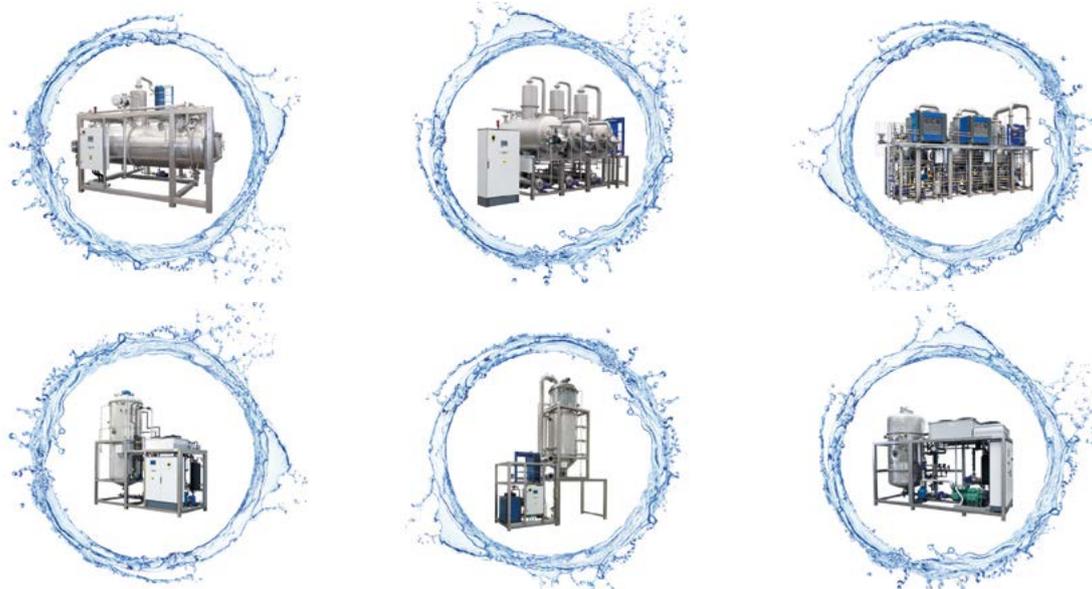


TRATTAMENTO ACQUE REFLUE INDUSTRIALI DAL 1984



- ✓ ZERO LIQUID DISCHARGE (ZLD)
- ✓ RIDUZIONE COSTI DI SMALTIMENTO
- ✓ RECUPERO ACQUE IN CIRCUITO CHIUSO

EVAPORATORI E CONCENTRATORI SOTTOVUOTO



BE WASTEWATER FREE

📍 ECO-TECHNO srl – via del Lavoro 42 – 20874 Busnago (MB)
☎ +39 039 6095958 ✉ sales@eco-techno.it 🌐 www.eco-techno.it

Economia circolare: Conoe premia i Comuni Ricicloni

Per sottolineare una volta di più l'importanza dei principi dell'economia circolare e conferire il giusto riconoscimento alle migliori esperienze a livello nazionale nella gestione dei rifiuti urbani, il CONOE ha assegnato tre premi per le migliori pratiche riguardanti la raccolta differenziata e la gestione degli oli vegetali esausti nell'ambito della XXXI edizione di Comuni Ricicloni, la storica manifestazione di Legambiente.

Hanno ricevuto il riconoscimento come Amministrazioni più ricicloni nella raccolta degli oli vegetali esausti i Comuni di Torino, Genova e Sannicicola di Bari:

- Il Comune di Torino per aver siglato nel 2023 un accordo con CONOE per l'organizzazione di un circuito di raccolta sull'intero territorio Comunale, utilizzando raccoglitori di prossimità. In collaborazione con il gestore del servizio AMIAT, il progetto è stato supportato da una campagna di informazione e comunicazione alle famiglie torinesi. Il risultato raggiunto è stato di notevole impatto in quanto la città ha visto raddoppiare i quantitativi di oli esausti raccolti nel corso dell'anno 2023 rispetto al 2022.
- Il Comune di Genova per aver avviato nei primi mesi del 2024 un servizio di raccolta capillare sull'intero territorio cittadino, con la collaborazione del gestore del servizio AMIU. Sono stati installati raccoglitori rossi in numerose aree strategiche, accompagnati da un'originale campagna di informazione e sensibilizzazione rivolta ai cittadini.
- Il Comune di Sannicicola di Bari per aver raccolto circa 3 tonnellate di olio vegetale esausto in un anno, eccellendo come piccolo Comune per l'importante quantitativo raccolto in valore assoluto mediante l'utilizzo della sola piattaforma ecologica Comunale.

“Nelle nostre città gli oli vegetali esausti sono una componente importante nella raccolta differenziata dei rifiuti – dichiara Tommaso Campanile, Presidente del CONOE – tuttavia, dobbiamo ancora lavorare molto per fare in



Figura 1. Premiazione comuni ricicloni

modo che il corretto smaltimento di questi rifiuti diventi una prassi diffusa tra i cittadini. L'impegno dimostrato dai Comuni di Torino, Genova e Sannicicola di Bari, premiati oggi dal CONOE, è particolarmente significativo. Queste amministrazioni hanno abbracciato la sfida con convinzione e perseveranza, implementando soluzioni innovative e coinvolgendo attivamente la comunità locale. I loro risultati dimostrano che un cambiamento positivo è possibile e costituiscono un esempio virtuoso per tutti gli altri comuni italiani.”

L'economia circolare del CONOE

La corretta raccolta degli oli esausti all'interno dei Comuni è un'attività in grado di generare delle importanti externalità positive, basti pensare che ogni litro di olio raccolto è un costo evitato legato ai processi di disoleazione dei reflui urbani oltre all'eliminazione di un potenziale pericoloso inquinante nel caso in cui il rifiuto dovesse raggiungere falde acquifere o superficiali. Per converso l'impiego di questo rifiuto, una volta avviato ai processi di rigenerazione come componente per la produzione di biocarburanti, può rappresentare per i Comuni, ai prezzi attuali, una possibile fonte di ricavo legato alla cessione del rifiuto alle imprese di raccolta che partecipano al CONOE.

Ad oggi, infatti, gran parte dell'olio raccolto viene recuperato e avviato a rigenerazione secondo un perfetto modello di economia circolare e di sostenibilità ambientale e successivamente destinato alla produzione di

biocarburanti e biolubrificanti, con risultati eclatanti in termini ambientali ed economici di assoluto rilievo: 190 mila tonnellate di CO₂ eq evitate e 80 mila m³ di acqua risparmiati.

I bilanci di Carbon footprint e Water footprint, per i quantitativi di oli vegetali esausti complessivamente gestiti dal CONOE nel 2023 e avviati a produzione di biodiesel.

Circa 300 milioni di euro di risparmio

- Le importazioni di prodotti petroliferi evitate grazie alla produzione di biodiesel CONOE nel 2023.
- 280 milioni di euro di risparmio sulle importazioni di petrolio, in Italia, nell'ultimo decennio.

Alla fine del 2002, dopo il primo anno di attività del Consorzio, il quantitativo di oli esausti gestiti nella filiera consortile ammonta a 15 mila tonnellate e dieci anni dopo, nel 2011, è risultata di tre volte superiore e pari a 46 mila tonnellate. Nel 2018, il totale degli oli raccolti dal Consorzio ha raggiunto quota circa 76 mila tonnellate, e nel 2023 il settore nel suo complesso ha abbondantemente superato le 110 mila tonnellate, provenienti dalle attività professionali e solamente in minima parte da rifiuti urbani. ■

Conoe

Consorzio Nazionale Oli vegetali
Esausti
<https://www.conoe.it/>



Corepla, a Palermo in arrivo 40 ecocompattatori per riciclare oltre 1.000.000 di bottiglie di plastica al mese

Recopet, il progetto per migliorare l'intercettazione delle bottiglie per bevande in PET di Corepla, il Consorzio Nazionale per la raccolta, il riciclo e il recupero degli imballaggi in plastica, arriva anche in Sicilia.

Grazie alla collaborazione con il Comune e Rap SpA, infatti, saranno installati a Palermo 40 ecocompattatori di nuova generazione per consentire ai cittadini di conferire le bottiglie di bevande in PET, ricevere premi e contribuire così al ciclo virtuoso del bottle-to-bottle, ossia trasformare le bottiglie in plastica usate in nuove bottiglie.

Sei gli ecocompattatori già installati sul territorio comunale, grazie a Garby e al supporto di Amg Energia per l'attivazione dei punti di prelievo di energia. Nello specifico:

- Viale Campania ang. Via Lazio
- Piazzale John Lennon ang. Via Giotto
- Via Pindaro (Mondello)
- Via Giuseppe Cimbali ang. Via Ammiraglio Rizzo
- Via Ugo Falcando ang. Via Valerio Rosso
- Via Rocco Jenna

RECOPET è il primo dei progetti del Consorzio in programma in Sicilia che, con una raccolta differenziata pro capite pari a 24,9 kg, in linea con la media nazione dei 25 kg, si prepara ad accogliere anche per questa estate importanti flussi di visitatori ed ha quindi la necessità di rendere il territorio pronto ad attrarre turisti sempre più orientati verso una cultura della sostenibilità.

L'iniziativa si inserisce in una serie di azioni volte a contrastare la dispersione dei rifiuti nell'ambiente con l'obiettivo di sensibilizzare i cittadini a fare una corretta raccolta differenziata e contribuire ad aumentare la consapevolezza di come la plastica possa rappresentare una risorsa per tutti, se correttamente riciclata, e di preservare l'importante patrimonio artistico e naturalistico siciliano.



Figura 1. Recopet per il recupero di bottiglie in PET

“La raccolta differenziata – spiega il presidente di Rap Giuseppe Todaro – è condizione essenziale per un corretto trattamento dei rifiuti. Se non si potenzia questa parte della filiera, qualsiasi altro processo si rivelerà vano. Differenziare e riciclare significa ridurre la quantità di materiale da portare in discarica, ma soprattutto abbattere gli sprechi, economizzare le risorse e difendere l'ambiente. Anche per questo – continua Todaro – riteniamo strategiche tutte le attività volte a promuovere e sostenere politiche ambientali basate sul riuso e riciclo dei rifiuti. In questa ottica rientra naturalmente anche la raccolta selettiva delle bottiglie in Pet (per uso alimentare), con l'obiettivo di riconoscere una premialità nell'ambito del circuito che sarà creato in

tempi molti celeri, migliorando anche la consapevolezza dei cittadini. In questo contesto si inquadra perfettamente la collaborazione con Corepla. Perché grazie a iniziative come questa, attraverso il coinvolgimento attivo di tutti, anche delle utenze più piccole, cresce la consapevolezza e l'abitudine al riciclo e riuso dei rifiuti”. ■

Corepla

Consorzio Nazionale per la Raccolta, il Riciclo e il Recupero degli Imballaggi in Plastica

<https://www.corepla.it/>



IdA



'land-CR.A.F.T.ED': BORGO POPOLARE TRA COSTRUITO E NATURA

C+S Architects (studio con sede tra Treviso e Londra, recente vincitore dell'Albo d'Oro di San Marino e Architetto Italiano 2022) propone a Peccioli, in provincia di Pisa, in Toscana, su incarico dell'amministrazione comunale, il masterplan "land-CR.A.F.T.ED" ("Community Reinvent Affordable Food Through Ecologic Design"), una risposta possibile alle questioni ecologiche, economiche e sociali cruciali nei processi di trasformazione contemporanea di città e paesaggi. Tra queste il consumo di suolo. Secondo i dati delle Nazioni Unite più di metà degli esseri umani vive ora in aree urbanizzate destinate ad aumen-

tare in maniera rilevante nei prossimi anni con conseguente spopolamento delle aree rurali. Questo processo non è accompagnato dalla rinaturalizzazione dei territori abbandonati bensì assistiamo al consumo di nuovo suolo (in Italia nel 2022 è stato consumato suolo pari a 7.677 ettari, cioè 24 ettari al giorno, il 10% in più rispetto all'anno precedente).

"Sembra una contraddizione", dice Maria Alessandra Segantini che, con Carlo Cappai ha svolto ricerche e raccolto dati sul tema in qualità di professore ordinario e responsabile di due gruppi di ricerca rispettivamente alle Università di Hasselt e Londra e in joint venture con l'Università di Siracusa. "I dati ci indicano l'ingente spostamento verso i centri urbani

e ci aspetteremmo l'avanzare di processi di rinaturalizzazione, ma non è così. Si continua a consumare nuovo suolo. Con le nostre ricerche abbiamo scoperto inoltre altre tendenze interessanti nella composizione del mix abitativo delle zone rurali: se da un lato si è ridotto il numero dei coltivatori diretti che un tempo erano anche i proprietari dei terreni, sono aumentati i precari con background multietnico, sono comparsi ovunque bed and breakfast e agriturismi per soddisfare le richieste turistiche, musei delle colture locali, spazi di degustazione, villaggi immacolati che raccontano il distacco dalle fattorie, che tuttavia al contempo diventano sempre più automatizzate e digitali, offrendo un interessante volano di strumenti per continuare a lavorare



a distanza fino ad arrivare al design di esoscheletri che permettono il contatto con la natura e l'attività di farming ad una popolazione che invecchia costantemente, in un'Italia affetta da processi rilevanti di spopolamento, migrazione dei giovani e perdita di risorse”.

I dati della ricerca a scala globale rappresentavano un potenziale a disposizione quando C+S Architects è stata contattata dal Sindaco Macelloni per il progetto di rigenerazione dell'area di Santo Stefano nel comune di Peccioli (provincia di Pisa, in Toscana) per costruire un complesso di dodici case popolari e servizi. Si tratta di un'area di 11,76 ettari con una capacità edificatoria di meno di 3.000 mq. Collocato a valle del borgo appenninico di Peccioli, Santo Stefano si presenta come un grande lotto libero, con i ruderi di alcuni edifici di servizio al lavoro agricolo.

Dichiara Macelloni: “Abbiamo chiesto a C+S Architects di disegnare un complesso di case popolari nell'area di Santo Stefano e lo studio ci ha restituito una visione all'avanguardia che rende il terreno produttivo innestando l'arboricoltura, che migliora la vista dall'alto e la qualità dell'aria tra due arterie di traffico, mentre contestualmente riconnette gli abitanti delle case sociali alla terra, costruendo una comunità multietnica e multiculturale. La sostenibilità a tutto tondo (economica, ambientale e sociale) della visione proposta ci mette al centro di un lavoro di squadra che guarda al futuro dei nostri paesaggi. Il confronto con la Regione su questo masterplan è imminente e con loro lavoreremo per realizzare questo prototipo di sviluppo sostenibile a cavallo tra costruito e natura, tra tradizione e innovazione”.

“Abbiamo lavorato con il paesaggio agricolo su scale diverse”, dice Segantini. “Alla scala macro abbiamo recuperato il tema dell'arboricoltura (in alternanza di frassini maggiori e pioppi con impianto policiclico multi-obiettivo o misto) che ridisegna un paesaggio che si rigenera naturalmente

diventando una risorsa anche economica per il Comune, in linea con alcuni esempi locali e quindi anche facile in termini di gestione. Il nuovo paesaggio è disegnato da una serie di boschi circolari serviti da sentieri per le manutenzioni e taglio, bacini di raccolta dell'acqua per l'irrigazione e ricoveri per le attrezzature agricole. Tale paesaggio ha permesso di ridare vita agli edifici rurali che mal si adattavano alle vecchie funzioni e che sono stati trasformati in accoglienza con offerta turistica e spazi collettivi per la nuova comunità che abiterà l'area di Santo Stefano”.

Ma è proprio quest'ultima un ulteriore elemento di interesse del progetto.

Le dodici nuove residenze sociali richieste dall'amministrazione sono state disegnate come una comunità di micro-fattorie che traducono il sistema dei casali storici toscani in forme contemporanee.

Le dimensioni sono variabili da 80 ai 130 mq, ogni unità è caratterizzata da uno spazio di soggiorno/cucina e una, due o tre camere, secondo i canoni classici dell'edilizia sociale.

Ogni unità è disegnata da un recinto in terra cruda che definisce anche un suolo coltivabile. Qui si innesta il concetto agricolo innovativo del 'pixel-farming' dove è la varietà delle specie e la biodiversità a garantire un'alta produttività. I dati raccolti dimostrano risultati straordinari di qualità dei prodotti risultanti da questo processo, che in questo modo potranno essere utilizzati localmente diventando cibo sostenibile in termini ecologici ed economici.

La parola d'ordine è quindi una innovazione che si nutre delle radici tipologiche reinterpretando in chiave contemporanea il casale dell'Appennino Toscano ma anche di tutto il Centro Italia e allo stesso modo lo riconnette alla coltivazione introducendo la tecnica innovativa del “pixel farming”.

“Ho trascorso parte della mia infanzia tra i calanchi, i vigneti e i pescheti dell'Emilia Romagna, dove stava mio padre che, accanto al suo lavoro, piantava ulivi e tutte le specie possibili che

spesso portava con sé da altri Paesi del mondo, creando un luogo speciale per la biodiversità – ricorda Segantini – questo progetto si nutre di quelle radici e le coniuga con tecniche innovative sia in termini di agricoltura che di costruzione”.

Innovativo è il modello proposto che coniuga la casa sociale all'agricoltura, come lo sono le tipologie agricole proposte che connettono le diverse scale del progetto.

Innovative le tecniche costruttive: terra cruda o stampa 3d, legno per le strutture orizzontali e verticali, rame ossidato o zinco per le coperture che sono state disegnate come foglie appoggiate alle murature. Tutte tecniche costruttive che promuovono la decarbonizzazione nel settore delle costruzioni, oggi responsabile del 37% delle emissioni totali di CO₂.

Innovativo il sistema di prefabbricazione delle nuove residenze che sono state studiate come un kit di montaggio da poter riciclare a fine vita degli edifici.

Innovativa anche la costruzione di una comunità multietnica che si nutre del legame con la terra, che avrà a disposizione cibo di qualità autoprodotta e da condividere, mescolando conoscenze ma anche semi locali con quelli provenienti da altri Paesi del mondo.

Sostenibilità a tutto campo per Peccioli dunque, che con questo progetto lancia Land-CR.AFT.ED: un uso del suolo in equilibrio tra il mondo vegetale e quello animale.

Dal consumo di suolo alla produzione di un nuovo paesaggio che si nutre delle culture delle comunità e produce nuova cultura e senso di appartenenza nella prospettiva di una generazione giovane che guarda all'Italia come il Paese dove costruire il proprio futuro. ■

Peccioli

<https://web.cipiuesse.it>



REMTECH EUROPE 2024 – FREE REGISTRATION Links

N	Date	Title	Free Registration link
1	Lun 16 Set – 09:00-13:00	Soil Pollution: policies and data - JRC EC	https://forms.gle/F4oSzhe4ASHYuXcD7
2	Lun 16 Set – 14:30-19:00	Dredged Sediments – USACE	https://forms.gle/aMdMRBLy8kZa5MQh6
3	Mar 17 Set – 09:00-11:00	RNEST, session spéciale francophone: comment évaluer la santé des sols?	https://forms.gle/Y6Lm7pS4UFnTMAMq6
4	Mar 17 Set – 09:00-11:00	Monitored Natural Attenuation (MNA) – CL:AIRE	https://forms.gle/txxdkSxvREu5FMfE6
5	Mar 17 Set – 11:30-13:30	Natural Source Zone Depletion (NSZD) – CL:AIRE	https://forms.gle/hraeTcck4GSM8DL7
6	Mar 17 Set – 14:30-15:30	Stakeholder Engagement – ASTM	https://forms.gle/wtoDetdzdj22TMRP8
7	Mar 17 Set – 15:30-16:30	Drone Technology for Site Assessment – ASTM	https://forms.gle/CUybcSZWZLnCMY6N9
8	Mar 17 Set – 16:30-17:30	Toxicity Testing with the Mayfly - ASTM	https://forms.gle/w9XdbPCvXXrrTZ7CA
9	Mar 17 Set – 17:30-18:30	A Combination of Three Standards on Storage Tanks – ASTM	https://forms.gle/i7FX6Q9yF1vmRTDs5
10	Mar 17 Set – 18:30-19:30	Assessment of NAPL Ebullition in Sediments with a Flux Chamber – ASTM	https://forms.gle/eWGaaatnHgVUduhT8
11	Mar 17 Set – 20:00-22:00	PFAS in Consumer Products – ASTM	https://forms.gle/jvu7BfBvUqQLSmFF8
12	Mer 18 Set – 09:00-11:00	Risk Assessment – ALGA	https://forms.gle/xkWLB1A435WZZAiZ8
13	Mer 18 Set – 09:00-11:00	PFAS risk assessment and management	https://forms.gle/D9L8D3RdvLccWdhM6
14	Mer 18 Set – 09:00-11:00	Biochar and soil amendments	https://forms.gle/xyy4khAFRRyPwZgBA
15	Mer 18 Set – 11:30-13:30	Drones, artificial intelligence and new frontiers in characterization	https://forms.gle/W3U9XddmzDKFEuHf8
16	Mer 18 Set – 11:30-13:30	Healthy soil and the Soil Monitoring Law	https://forms.gle/YGcanHS5T3HTmTkZ6
17	Mer 18 Set – 14:30-16:30	3D and High Resolution Characterization Techniques	https://forms.gle/76FLB8qhEYMum22j6
18	Mer 18 Set – 14:30-16:30	Sustainable remediation and national programs	https://forms.gle/DKU967HX2iSx4Ca8
19	Mer 18 Set – 17:00-19:00	In situ thermal remediation	https://forms.gle/T6uEL5tmmod7C3AF9
20	Mer 18 Set – 17:00-19:00	Bioremediation and nature-based solutions	https://forms.gle/KoNd4t9rM9foiXGF8
21	Mer 18 Set – 14:30-18:30	PROMISCES: PFAS treatment technologies for contaminated sites: soils, sediments and groundwater	https://forms.gle/7kbbbsKw8TpMLvsr5
22	Gio 19 Set – 09:00-13:00	LIFE MY SOIL	https://forms.gle/U6vTHViRDYekqQhH6
23	Gio 19 Set – 09:00-11:00	Groundwater remediation	https://forms.gle/fNqK3Rt9LF16vram8
24	Gio 19 Set – 09:00-11:00	Heavy metals and POPs	https://forms.gle/emvJTekUv1iFMTjGA
25	Gio 19 Set – 11:30-13:30	PFAS groundwater remediation	https://forms.gle/m3b1ub7bGqcRUR616
26	Gio 19 Set – 11:30-13:30	Mining and Soil Remediation Innovations	https://forms.gle/T8XMiK11hkzXDKnr8
27	Gio 19 Set – 13:30-17:30	Live Demo	https://forms.gle/18rwbHGzZK38LZ98
28	Gio 19 Set – 14:30-16:30	CSIA and genetic in Soil Bioremediation	https://forms.gle/6ASp1DDh447kZyTV6
29	Gio 19 Set – 14:30-16:30	Oil and petroleum hydrocarbons	https://forms.gle/7WzjPyaKWSkSR5Um8
30	Gio 19 Set – 17:00-19:00	Light Non-Aqueous Phase Liquid site management: decision process and remedial technologies - ITRC	https://forms.gle/d9hwC4MbJHPjgxe78
31	Gio 19 Set – 17:00-19:00	Chlorinated solvents remediation	https://forms.gle/oeogn4KvyPDBUoyZ9
32	Gio 19 Set – 17:00-19:00	Wastewater and sewage sludge	https://forms.gle/Pv8eiZP6r7UZxmm49
33	Gio 19 Set – 20:00-22:00	Sediment Cap Chemical Isolation - ITRC	https://forms.gle/72utrDxGZG1iJLDm7
34	Ven 20 Set – 09:00-11:00	The management of contaminated sites in Africa: Challenges and Solutions – NICOLA Africa	https://forms.gle/9qscrj7rdNMUG1qZA
35	Ven 20 Set – 09:00-11:00	BAT in the wastewater treatment - IMPEL	https://forms.gle/DxwpqUpqM83hbtEx9
36	Ven 20 Set – 09:00-11:00	Innovative PFAS soil remediation	https://forms.gle/xE5Wt3iiqmFXDx6F8
37	Ven 20 Set – 11:30-13:30	Risk assessment and F&T models	https://forms.gle/TdBFAnd3DVzr2HSSA
38	Ven 20 Set – 11:30-13:30	Test and full scale in-situ soil remediation	https://forms.gle/bEyxjoxvToTcRn6b7
39	Ven 20 Set – 14:30-16:30	Advances in Ecotoxicology and Ecosystem evaluation	https://forms.gle/K5sZUYpFeQZhgEs9
40	Ven 20 Set – 14:30-16:30	AFFF and PFAS impacted sites	https://forms.gle/qcAxr5hDrBfxtPzQ9
41	Ven 20 Set – 14:30-16:30	Vapour intrusion - AESAS	https://forms.gle/bK2ik2hkCpVDWFYm8
42	Ven 20 Set – 16:45-19:20	Climate change and environmental challenges	https://forms.gle/iyxZob2YHCuVdLYU6
43	Ven 20 Set – 16:30-19:00	LA FRESQUE DU SOL	https://forms.gle/Jhzz1154uRHj8Emq7
44	Ven 20 Set – 16:30-18:30	Bioremediation Techniques Used in Brazil - AESAS	https://forms.gle/QrpC6sJ3DE3mu3R39
45	24 Set h.14 – 25 Set h.14	Sustainathon 2024	https://forms.gle/tVtr3Y9ekpQ3y3Fu9

INDEX



VOL. 11
NUM. 2
2024

Editorial

The european Union's perspective on contaminated sites management
Marco Falconi

Articles

Quantification of the environmental performances of the reuse practice promoted by reuse centres with the LCA methodology
Mary Jo F. A. Nichilo, Giulia Cavenago, Mario Grosso, Lucia Rigamonti

Technical-scientific communications

Managed aquifer recharge: opportunity and barriers
Renato Drusiani, Tania Tellini, Dario Giardi, Alberto Lasagna, Barbara La Comba, Claudio Benucci, Carlo Collivignarelli

Carbon markets of the Paris agreement and voluntary markets: similarities, differences, and interactions
Federica Dossi

The removal of atmospheric CO₂, an emerging area of research
Stefano Caserini

Evaluating nuclear power's suitability for climate change mitigation: technical risks, economic implications and incompatibility with renewable energy systems
Fabian Präger, Christian Breyer, Hans-Josef Fell, Christian von Hirschhausen, Claudia Kemfert, Björn Steigerwald, Thure Traber e Ben Wealer

Immagine
in copertina
di C. Collivignarelli

ISSN e e-ISSN 2420-8256

Ingegneria dell'Ambiente per il 2024 è sostenuta da:



better together



Sonde da campo per rilevazione in continuo

Interfaccia SmartCID per l'invio automatico dei dati registrati e visualizzati su pc, smartphone e tablet.

SONDA TENSIOATTIVI

Per la rilevazione automatica in continuo di ppm Tensioattivi



SONDA TENSIOATTIVI

SONDA COD OUT

Per rilevazione automatica in continuo di:
ppm Solidi sospeso totali
ppm BOD5, COD, Torbidità



SONDA COD OUT

VF30 FANGHI

Misura automatica del volume dei fanghi [cc/l] e velocità di sedimentazione [m/h]

Brevetto 2021 n. 102021000028064

NOVITA'



VF30 FANGHI

dal 1979

 **CID**
Ing. VENTURA srl