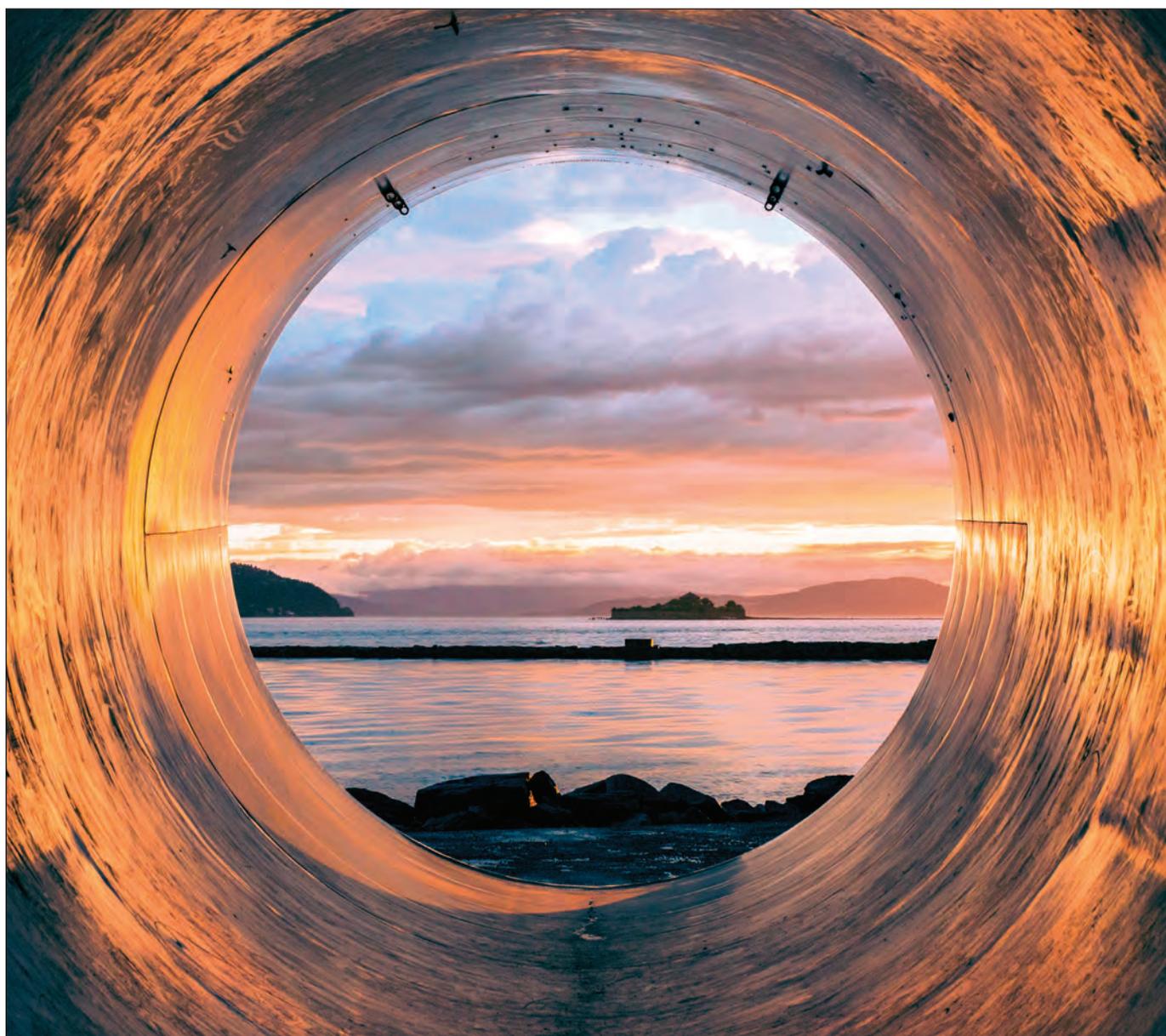




INGEGNERIA DELL'AMBIENTE



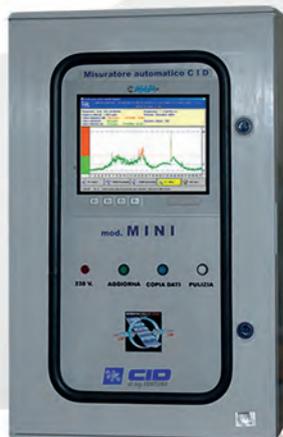
N. 4/2020



Sondiamo la sicurezza e la qualità dell'acqua

SONDA TENSIOATTIVI

SONDA COD OUT



Rilevazione automatica in continuo dei parametri:

- TENSIOATTIVI
- SOLIDI SOSPESI
- BOD
- COD
- TORBIDITÀ

dal 1979



CID ING VENTURA Srl

Via Denari 22 - 25127 BRESCIA Tel. 030 3730699 www.venturacid.it info@venturacid.it



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

INDICE



VOL. 7
NUM. 4
2020

Ingegneria
dell'Ambiente
per il 2020 è
sostenuta da:



better together



EDITORIALI

Gestione integrata delle acque reflue: il futuro del riutilizzo dell'acqua nelle grandi aree metropolitane..... 263
George Tchobanoglous

ARTICOLI

La presenza e gli impatti SARS-CoV-2 nel servizio idrico integrato 267
Michela Langone, Luigi Petta, Gianpaolo Sabia, Carmela Maria Cellamare, Marco Ferraris, Roberta Guzzinati, Davide Mattioli

Analisi qualitativa e quantitativa della gestione dei rifiuti di lana di roccia..... 275
Piera Policaro, Federica Carollo, Lucia Rigamonti

Un modello ibrido Euleriano-Lagrangiano per la qualità dell'aria e la stima del contributo delle sorgenti in ambito urbano: caso studio per il centro di Milano..... 289
Giovanni Lonati, Nicola Pepe, Guido Pirovano, Alessandra Balzarini, Anna Toppetti, Giuseppe Maurizio Riva

Sostenibilità ambientale, cambiamenti climatici e attività sportive: una review sul tema 301
Dario Battistel, Marco Benedetti, Paolo Cescon, Giovanni Finotto, Andrea Gambaro, Angelo Pecci, Orazio Rossi

COMUNICAZIONI TECNICO-SCIENTIFICHE

Definizione di proposte operative per bonifiche da amianto non disciplinate specificamente dalla normativa vigente 323
Sergio Clarelli

RUBRICHE

Informazioni dalle Aziende..... 340

Recensioni volumi 343

Avvisi 344

DIRETTORE RESPONSABILE

Stefano Caserini (Politecnico di Milano)

DIREZIONE SCIENTIFICA

Stefano Caserini (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)

Alessio Boldrin (DTU, Copenhagen, Danimarca)

Gianluigi Buttiglieri (Catalan Institute for Water Research, Girona, Spagna)

Andrea Capodaglio (Università di Pavia)

Alessandra Carucci (Università di Cagliari)

Stefano Cernuschi (Politecnico di Milano)

Raffaello Cossu (Università di Padova)

Paola Crippa (Università di Notre Dame, USA)

Giovanni De Feo (Università di Salerno)

Massimiliano Fabbicino (Università di Napoli Federico II)

Francesco Fatone (Università Politecnica delle Marche)

Elena Ficara (Politecnico di Milano)

Paola Folidori (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)

Gaspare Viviani (Università di Palermo)

Maria Chiara Zanetti (Politecnico di Torino)

COMITATO DI REDAZIONE

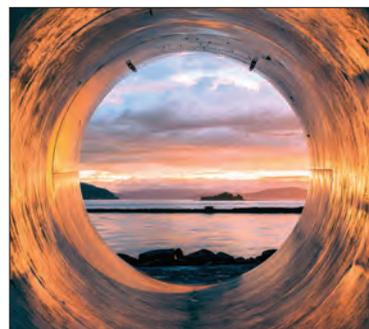
Arianna Azzellino, Mario Grosso, Giovanni Lonati, Lucia Rigamonti, Elena Sezenna

SEGRETARIA DI REDAZIONE

Loredana Alaimo



**INGEGNERIA
DELL'AMBIENTE**



N. 4/2020

**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 BY-NC-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: Ing. Stefano Caserini. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA), Sezione Ambientale, Via Golgi 39, 20133 Milano. Tel. 02.23996430, e-mail: info@ingegneriadellambiente.net

Publicato on-line il 26 gennaio 2021.

Finito di stampare in gennaio 2021, presso Colorshade di Cabrini Matteo M., Via Cristoforo Colombo, 7, 20068 Peschiera Borromeo (MI).

GESTIONE INTEGRATA DELLE ACQUE REFLUE: IL FUTURO DEL RIUTILIZZO DELL'ACQUA NELLE GRANDI AREE METROPOLITANE

George Tchobanoglous*

Ripensare il trattamento delle acque reflue e le strategie di gestione nelle grandi città è fondamentale per la sostenibilità a lungo termine delle risorse idriche

In tutto il mondo, molte grandi aree metropolitane sperimentano carenze idriche, dovute alla limitazione delle fonti di approvvigionamento idrico, alla crescita della popolazione e ai cambiamenti climatici. Per ridurre i problemi attuali e futuri della scarsità d'acqua, devono essere sviluppati programmi integrati di gestione sostenibile delle risorse idriche a livello regionale. Nuove strategie integrate e sostenibili di gestione delle risorse, che prevedono varie forme di riutilizzo dell'acqua, compreso il riutilizzo potabile pianificato, possono svolgere un ruolo vitale e cruciale nell'aiutare ad alleviare i problemi di scarsità d'acqua.

Sebbene la maggior parte delle grandi città abbia riconosciuto i vantaggi del riutilizzo delle acque reflue, devono comunque affrontare anche alcuni aspetti, non immediatamente evidenti, derivanti dal trattamento centralizzato delle acque reflue, paradigma degli ultimi 100 anni. Ad esempio, in molti ca-

si i sistemi di collettamento centralizzato delle acque reflue convogliano le acque reflue verso impianti di depurazione situati lontano dai siti adatti per il riutilizzo. Le possibilità di riutilizzo sono limitate dai costi delle infrastrutture per il trasporto e lo stoccaggio dell'acqua recuperata verso i punti di utilizzo (ovvero, tipicamente, dalla distanza dall'impianto di trattamento). Per massimizzare i potenziali benefici del riutilizzo delle acque reflue, è necessario ripensare il trattamento delle acque reflue e le strategie di gestione in alcune città metropolitane.

Le opportunità del riutilizzo delle acque depurate nelle città metropolitane

Prima di considerare la gestione integrata delle acque reflue, è opportuno esaminare quali opportunità di riutilizzo dell'acqua sono disponibili per l'uso nelle aree metropolitane (vedi Tabella 1 a pagina seguente).

Storicamente la principale applicazione per il riutilizzo dell'acqua depurata è stata l'irrigazione agricola. Sfortunatamente, nella maggior parte delle aree metropolitane le opportunità di riutilizzo per uso agricolo sono limitate, senza contare che anche il fatto che la domanda agricola sia stagionale costituisce un limite importante. Nell'esaminare le altre opportunità di riutilizzo dell'acqua elencate nel-

* *Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, California USA
E-mail: gtchobanoglous@ucdavis.edu*

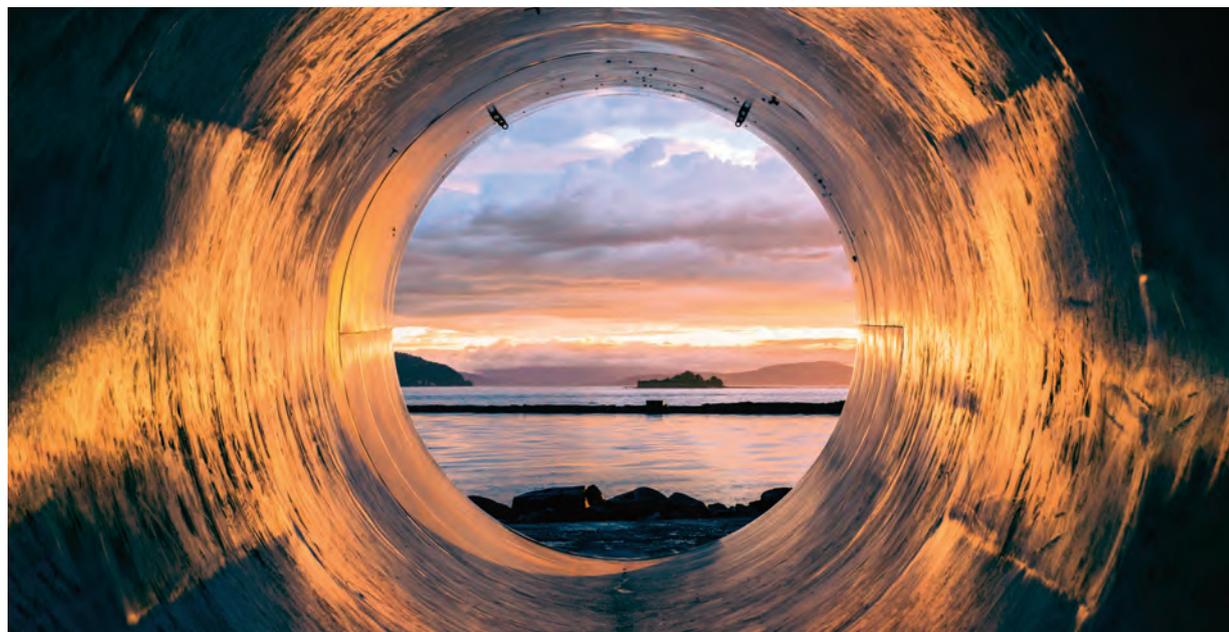


Table 1 – Applicazioni di riuso dell’acqua depurata in città metropolitane, esempi tipici, vincoli e controindicazioni (adattato da Angelakis et al., 2018)

Applicazioni	Esempi tipici	Vincoli e controindicazioni
Uso irriguo in agricoltura	Irrigazione di colture agricole; vivai e floricoltura	Aree limitate per l’irrigazione agricola all’interno delle città metropolitane; domanda stagionale; necessità di stoccaggio invernale; costi infrastrutturali e di pompaggio
Altri usi Irrigui	Parchi; aiuole spartitraffico, campi da golf, campi sportivi	Punti di utilizzo spesso lontani dagli impianti di produzione dell’acqua da riutilizzare; necessità di reti separate; domanda variabile
Riciclo e riuso industriale	Acque di raffreddamento, acque di reintegro per caldaie, acque di processo, acqua di elevata qualità per l’industria delle componenti elettroniche	Domanda costante; requisiti specifici di qualità dell’acqua diversi da sito a sito
Usi ricreativi ed ambientali	Laghi e stagni, integrazione delle portate di corsi d’acqua, Produzione di neve artificiale per stazioni sciistiche; utilizzo per sgombero neve in città	Requisiti diversi da sito a sito; domanda spesso stagionale
Usi urbani non potabili	Antincendio; autolavaggi; lavaggio strade; acque di cacciata in reti fognarie; cacciate per WC, acque di raffreddamento, irrigazioni di grandi giardini condominiali	Uso discontinuo; domanda ridotta; reti idriche separate per l’uso come acque di cacciata nei WC: fattibili in edifici nuovi, molto costoso l’adeguamento in edifici vecchi
Controllo dell’intrusione salina	Introduzione di ATW (Advanced Treated Water) in acquiferi per tenere sotto controllo l’intrusione salina dal mare	Limitato a zone costiere; costi per il trattamento e le infrastrutture
Incremento dei livelli di falda	Introduzione di ATW in acquiferi per la reintegrazione delle acque di falda (utilizzo potabile indiretto)	Disponibilità di acquiferi idonei; costi per il trattamento e le infrastrutture
Incremento di disponibilità di acque superficiali	Introduzione di ATW in acque superficiali (riutilizzo potabile indiretto)	Disponibilità di adeguati volumi di stoccaggio di acque superficiali; costi per il trattamento e le infrastrutture
Incremento di disponibilità di fonti di acqua primaria	Miscelazione di ATW con acqua da alter fonti prima dell’impianto di potabilizzazione (riuso potabile diretto)	Assenza di norme specifiche, qualità variabile dell’effluente, diluizione disponibile variabile
Incremento di disponibilità di acqua potabile	Introduzione di ATW direttamente nella rete di distribuzione (riuso potabile diretto)	Assenza di norme specifiche; timori da parte degli utenti; regolamenti attuativi inadeguati dove esistenti; accettabilità sociale

la Tabella 1, le applicazioni relative al riutilizzo potabile, comprese l’utilizzo indiretto attraverso le acque sotterranee, di superficie e l’aumento dell’acqua grezza, stanno attualmente ricevendo la massima attenzione. L’interesse per il riutilizzo potabile si basa sui seguenti fattori: (1) l’approvvigionamento di acque reflue è sostenibile, (2) sono disponibili tecnologie di trattamento appropriate che possono essere utilizzate per produrre acqua ad alto livello qualitativo (Advanced Treated Water, ATW), (3) ATW può essere utilizzata tutto l’anno, (4) il costo di ATW è competitivo con altre fonti di approvvigionamento idrico alternative, ove disponibili, e (5) le quantità di acque reflue sono sufficienti per garantire anche una scala adeguata per la redditività economica. Si stima che dei circa 8,7 milioni di metri cubi di acque reflue trattate giornalmente e scaricate nell’oceano in California, poco meno della metà (4,15 milioni di metri cubi al giorno) potrebbero essere recuperati per il loro riutilizzo (Raucher e Tchobanoglous, 2014; Tchobanoglous et al., 2015).

Una strategia per una gestione integrata delle acque di rifiuto

L’alternativa più fattibile al trattamento centralizzato delle acque reflue per ottenere un maggiore riutilizzo dell’acqua nelle applicazioni citate nella tabella 1 è una strategia di gestione integrata delle acque reflue che utilizzi strutture decentralizzate di gestione delle acque reflue (Decentralized Wastewater Management Facilities, DWWMF). I DWWMF sono ubicati lungo i collettori di fognatura, in corrispondenza o vicino ai punti di confluenza di aree scolanti. I DWWMF a monte di un depuratore centralizzato possono assumere due forme: impianti di trattamento delle acque reflue satellitari o autonomi (Wastewater Treatment Facilities, WWTF). Gli impianti satellitari di trattamento delle acque reflue (Satellite WWTF, SWWTF) possono assumere una varietà di forme, tra cui: (1) impianti di trattamento per sottobacini scolanti, porzioni di una comunità o un’intera comunità afferente a uno stesso

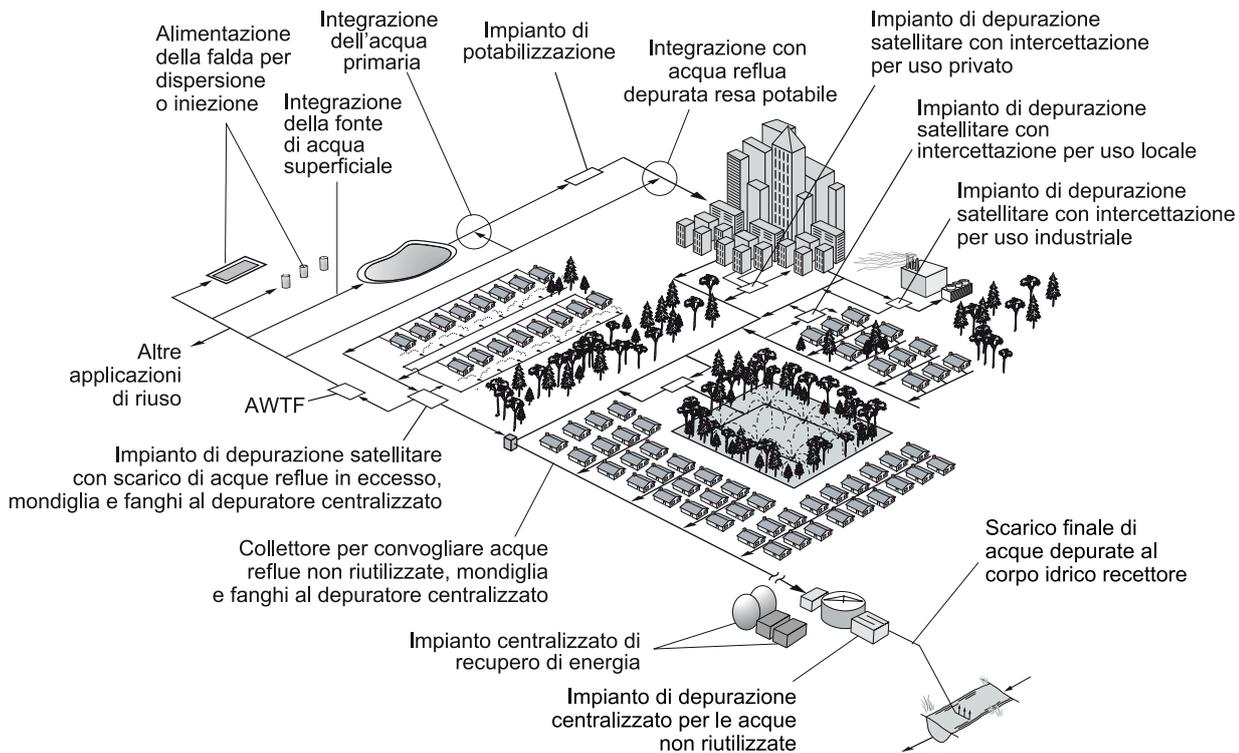


Figura 1 – Vista schematica di un sistema di gestione delle acque reflue decentralizzato integrato che utilizza impianti satellitari di trattamento delle acque reflue per applicazioni di riutilizzo locale e potabile (adattato da Gikas e Tchobanoglous, 2009). WWTF = Impianti di trattamento di acque di rifiuto; AWTF = Impianto di depurazione di acque di rifiuto con trattamenti avanzati per la produzione di acqua depurata di alta qualità

bacino; (2) impianti di trattamento di tipo estrattivo, in cui quantità variabili di acque reflue vengono estratte da un sistema di raccolta delle acque reflue, trattate e utilizzate per specifiche applicazioni locali; e (3) impianti di trattamento del tipo ad intercettazione per il riciclaggio interno agli edifici, in cui le acque reflue da trattare e riutilizzare vengono intercettate prima di raggiungere un sistema di raccolta.

I diversi tipi di impianti di trattamento satellitare SWWTF sono illustrati nella Figura 1. Una caratteristica unica degli SWWTF, come mostrato nella Figura 1, è il fatto che sono tutti collegati al sistema centralizzato di raccolta delle acque reflue, che raccoglie e convoglia al depuratore centralizzato il flusso di acque reflue in eccesso, i residui e i fanghi di supero. Non dovendo trattare questi flussi, e considerando il fatto che gli SWWTF possono funzionare con portata costante, le loro prestazioni possono essere ottimizzate, producendo un effluente di qualità superiore per applicazioni di riutilizzo non potabili e potabili. Le strutture di trattamento autonome (individuali), non mostrate nella Figura 1, non sono collegate alla struttura di trattamento centralizzata. In genere, le strutture autonome (note anche come distribuite) vengono uti-

lizzate per comunità più piccole e / o isolate all'interno di un ambito territoriale.

Oltre ai vantaggi derivanti dal riutilizzo dell'acqua, i SWWTF possono essere utilizzati per ridurre i flussi di acque reflue verso strutture centralizzate, molte delle quali hanno raggiunto la loro capacità di trattamento idraulico e organico o potrebbero dover ridurre o eliminare gli scarichi nei corpi idrici interessati. In alcuni casi, gli standard di scarico sono diventati così rigorosi che è più economico riutilizzare gli effluenti altamente trattati. Collocando un impianto di trattamento avanzato dell'acqua (Advanced Water Treatment, AWTF) accanto o vicino a un SWWTF (come in Figura 1), l'ATW può essere prodotta per una varietà di applicazioni di riutilizzo potabile.

Esempi di sistemi di gestione integrata delle acque reflue

L'utilizzo di SWWTF a monte di un impianto centralizzato di depurazione è una pratica consolidata in California, nella città di Los Angeles, nei distretti sanitari della contea di Los Angeles County (CSDLAC) e nella città di San Diego. L'impianto di recupero dell'acqua Donald C. Tillman di Los Angeles, messo in funzione nel 1985, è usato per

irrigare un giardino giapponese di 2,6 ettari famoso in tutto il mondo e per alimentare un laghetto di 1,11 ettari all'interno dello stesso giardino, oltre a garantire una portata minima nel fiume di Los Angeles (City of Los Angeles, 2018).

La contea di Los Angeles pratica dal 1962 il rifornimento delle acque sotterranee prelevando acqua di fiume, integrata con acque piovane locali e con acqua di recupero da uno degli impianti satellite (County Sanitation Districts of Los Angeles County 2018). A San Diego, il North City Reclamation Plant, anch'esso un impianto satellite, è stato costruito per migliorare il riutilizzo locale degli effluenti trattati, principalmente campi da golf (City of San Diego 2018).

I passi futuri

Per massimizzare il riutilizzo dell'acqua in futuro nelle aree metropolitane, è necessario prendere in seria considerazione lo sviluppo di strategie di gestione sostenibile delle acque reflue che implicano quanto segue: (1) uso di impianti di depurazione satellitari (SWWTF) per massimizzare il riutilizzo dell'acqua locale; (2) uso di impianti di produzione di acqua depurata di alta qualità (AWTF) insieme a SWWTF; e (3) l'aggiunta di impianti di trattamento dell'acqua potabile adiacenti o in prossimità di SWWTF. L'efficacia della prima di queste opzioni è ormai pratica consolidata, come descritto al capitolo precedente. Anche la collocazione di impianti di trattamento delle acque satellitari a monte degli impianti di trattamento delle acque reflue è stata già ampiamente sperimentata. Forse l'esempio più famoso di strutture collocate è nel sud della California, dove si trova l'Orange County Water District Advanced Water Treatment Facility. Si tratta di un impianto, vicino alla Orange County Sanitation District Water Wastewater Treatment Facility, che attualmente produce circa 380.000 metri cubi al giorno di acqua depurata di alta qualità per l'alimentazione della falda che assicura l'approvvigionamento idrico a 800.000 persone nella contea di Orange.

In un futuro più lontano, con le nuove tecnologie e una maggiore esperienza, un'altra possibilità per il riutilizzo dell'acqua potabile sarebbe quella di costruire un AWTF autorizzato come impianto di potabilizzazione, adiacente o vicino a un impianto di trattamento satellitare a monte di un impianto di depurazione centralizzato. Con un controllo adeguato, l'acqua ATW potrebbe essere introdotta direttamente nel sistema di distribuzione dell'acqua potabile. Se ricorressero le condizioni, la collocazione di un AWTF presso un impianto di dissala-

zione dell'acqua di mare, autorizzato come impianto di trattamento dell'acqua potabile, consentirebbe un risparmio significativo nei costi di investimento per la distribuzione dell'acqua.

Considerazioni conclusive

In futuro, il riutilizzo dell'acqua deve essere considerato un elemento chiave nello sviluppo di programmi di gestione integrata sostenibile delle risorse idriche, soprattutto per le grandi aree metropolitane. Per massimizzare i vantaggi del riutilizzo dell'acqua, le grandi città stanno iniziando a riconoscere la necessità di decentralizzare i propri sistemi di gestione delle acque reflue. Nel pensare e pianificare la gestione decentralizzata delle acque reflue è importante notare che possono essere impiegate per massimizzare il riutilizzo dell'acqua una serie di strategie diverse. È fondamentale che tutte le opportunità di riutilizzo dell'acqua siano prese in seria considerazione sia nella pianificazione di nuove strutture che nell'ammodernamento degli impianti di trattamento delle acque reflue esistenti, nonché nello sviluppo di programmi e strategie regionali integrati di gestione sostenibile delle risorse idriche a lungo termine.

Riferimenti bibliografici

- Angelakis AN, Asano T, Bahri A, Jimenez B, Tchobanoglous G. (2018) Water reuse: from ancient to modern times and the future. *Front Environ. Sci.* 6:26.
- City of Los Angeles (2018) Donald C. Tillman water reclamation plant.
- City of San Diego (2018) Water and wastewater facilities. www.sandiego.gov/public-utilities/customer-service/water-wastewater-facilities
- County Sanitation Districts of Los Angeles County (2018). Recycled water. www.lacsd.org/waterreuse/aboutrecycled-water.asp
- Gikas P, Tchobanoglous G. (2009) The role of satellite and decentralized strategies in water resources management. *J Environ. Manag.* 90:144–152.
- Raucher RS, Tchobanoglous G. (2014) Raucher RS, Tchobanoglous G. 2014. The opportunities and economics of direct potable reuse. Washington (DC): WaterReuse Research Foundation.
- Tchobanoglous G, Cotruvo J, Crook J, McDonald E, Olivieri A, Salveson A, Trussell RS. 2015. Framework for direct potable reuse. Alexandria (VA): WaterReuse, AWWA, WEF, and NWRI.

L'articolo è stato pubblicato sul n. 1 vol 15 (2019) di "Integrated Environmental Assessment and Management". Traduzione a cura di Roberto Canziani.

Nota della Redazione: Per un approfondimento del tema del riuso in Europa, si può consultare il rapporto finale "Riutilizzo delle Acque Urbane" del Progetto "[Integrated Water Approach and Urban Water Reuse](#)".

LA PRESENZA E GLI IMPATTI SARS-COV-2 NEL SERVIZIO IDRICO INTEGRATO

Michela Langone^{1*}, Luigi Petta², Gianpaolo Sabia², Carmela Maria Cellamare², Marco Ferraris², Roberta Guzzinati², Davide Mattioli²

Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui, Dipartimento dei Sistemi Produttivi e Territoriali, ENEA – Centri Ricerca ¹Casaccia e ²Bologna.

Sommario – La presenza di virus patogeni umani nel ciclo idrico integrato desta molte preoccupazioni relative agli impatti sulla salute umana. Le misure di emergenza e contenimento adottate durante la pandemia provocata dal SARS-CoV-2, oltre a ripercussioni sul tessuto economico, sociale ed ambientale hanno comportato conseguenze sulle modalità di consumo della risorsa “acqua” evidenziandone l'importanza di una gestione razionale. Il presente lavoro ha lo scopo di fornire un quadro il più possibile aggiornato relativo alle attuali conoscenze sulla presenza e persistenza del SARS-CoV-2 nelle acque reflue, nei fanghi di depurazione nonché nei corpi idrici e le possibili implicazioni per i servizi idrici in termini di trasmissione fecale. Vengono discussi gli impatti in termini di consumi di acqua e qualità degli scarichi prodotti e infine, delineata una “roadmap” per una corretta gestione del servizio idrico integrato durante le pandemie, che riguarda la sicurezza dell'approvvigionamento delle acque potabili, la gestione delle acque reflue e dei fanghi nonché le potenzialità dell'epidemiologia basata sulle acque reflue quale strumento di monitoraggio e di rapido allarme al fine di individuare focolai di malattie infettive.

Parole chiave: trasmissione fecale, salute pubblica, SARS-CoV-2, servizio idrico integrato.

PRESENCE AND IMPACTS OF SARS-COV-2 IN WATER SERVICES

Abstract – The presence of human pathogenic viruses in water services raises many concerns about the impacts on human health. The emergency and containment measures adopted during the pandemic caused by the SARS-CoV-2 have had repercussions on economic, social and environmental fields, as well as on the way to consume water, highlighting the importance of responsible management of water resources. The aim of this work is to provide an up-to-date picture of the current knowledge on the presence and persistence of SARS-CoV-2 in wastewater, sewage sludge as well as in receiving water bodies and the possible implications for the water services in terms of fecal transmission. The impacts in terms of water consumption and quality of the produced discharges are discussed. Finally, a roadmap for safe management of water services during pandemics has been developed in this study, analyzing the drinking-water supply, the fecal, wastewater and sludge management and the potential of wastewater-based epidemiology as a monitoring and early warning tool applicable in order to identify outbreaks of infectious diseases.

* Per contatti: Via Anguillarese, 301, 00123 Roma. Tel. 06.68303765; e-mail: michela.langone@enea.it

Keywords: fecal transmission, Public health, SARS-CoV-2, Urban water cycle.

Ricevuto il 29-10-2020; Correzioni richieste il 23-11-2020; Accettazione finale il 3-12-2020.

1. INTRODUZIONE

La drammatica emergenza sanitaria mondiale legata alla pandemia di COVID-19 è un chiaro esempio dei nuovi problemi e delle nuove sfide legate a un mondo in rapida evoluzione. Al fine di minimizzare gli impatti negativi su salute umana, ambiente ed economia, è fondamentale ridurre le vie di trasmissione del virus e i rischi di contagio oltre che promuovere adeguate politiche volte a favorire l'utilizzo razionale delle risorse naturali, la sostenibilità dei processi produttivi e la tutela dell'ambiente. In particolare, la razionale gestione delle risorse idriche, delle acque reflue e dei rifiuti dovrebbe far parte di una strategia globale di controllo e minimizzazione degli impatti della pandemia. L'attuale crisi, in particolare, sottolinea chiaramente l'importanza del nesso tra acqua e salute. Relativamente all'emergenza COVID-19, la risorsa idrica è fondamentale nella prevenzione del contagio e nella sorveglianza attraverso il monitoraggio dei sistemi fognari, ma può rappresentare anche una fonte potenziale di contagio. Di conseguenza, il servizio idrico integrato, indispensabile garante delle quotidiane esigenze vitali della popolazione e presidio d'igiene, svolge un ruolo fondamentale nel contesto quotidiano e tanto più nel presente contesto di crisi, dovendo garantire sicurezza e qualità nell'approvvigionamento di acqua potabile nonché nella raccolta e gestione del trattamento delle acque reflue.

L'attuale pandemia di COVID-19 è causata da un nuovo coronavirus, definito “sindrome respiratoria acuta grave coronavirus 2” (SARS-CoV-2).

I coronavirus sono virus respiratori che causano malattie a diverso spettro sintomatico, dal comune raffreddore a sindromi respiratorie e altre gravi condizioni cliniche, fino alla morte. Dal momento in cui è stato scoperto, e in soli dieci mesi, la pandemia ha causato più di 1.000.000 decessi in tutto

il mondo (WHO, 2020a). Il SARS-CoV-2 è altamente contagioso (WHO, 2020b); la trasmissione umana avviene principalmente per contatto diretto o indiretto attraverso goccioline respiratorie ($> 5-10 \mu\text{m}$ di diametro) prodotte da individui infetti. I contatti diretti si verificano tra persone in stretto contatto (entro 1 m), mentre la trasmissione indiretta avviene generalmente a seguito di contatto con superfici e oggetti contaminati da goccioline infette (saliva, secrezioni nasali, espettorato). Il SARS-CoV-2 è risultato più stabile su superfici di plastica e di acciaio inox rimanendo vitale fino a 72 ore, rispetto a superfici di rame e cartone (Van Dorremalen *et al.*, 2020). La letteratura scientifica non riporta studi specifici che verificano la trasmissione del SARS-CoV-2 tramite il consumo di cibi. La trasmissione del SARS-CoV-2 può avvenire anche attraverso particelle $< 5 \mu\text{m}$ provenienti dalle vie respiratorie delle persone infette, rilasciate durante la respirazione o l'azione del parlare (Carducci, Federigi and Verani, 2020). Infine, anche se non sono stati dimostrati casi specifici di trasmissione oro-fecale del SARS-CoV-2, le recenti evidenze scientifiche sulla presenza del virus nelle feci e nelle urine di persone asintomatiche e non, supportano l'ipotesi di questa ulteriore possibile via di trasmissione (Amirian, 2020; Heller, Mota and Greco, 2020).

2. METODOLOGIA

Gli studi riportati in questo documento includono articoli di ricerca, review, comunicazioni, report tecnici, case-study, news. È stata condotta una revisione sistematica della letteratura, combinando parole chiave con l'operatore booleano "AND", e utilizzando differenti database bibliografici, quali NCBI, Google Scholar, Scopus e Science Direct. Nello specifico, le parole chiave "COVID-19" / "SARS-CoV-2" sono state cercate insieme a "acqua, acque reflue, fanghi" / "ciclo idrico" / "servizio idrico" / "trasmissione fecale" / "epidemiologia basata sulle acque reflue". Per fornire una visione abbastanza rappresentativa dell'argomento, la ricerca è stata estesa ai preprint utilizzando il server medRxiv (<https://www.medrxiv.org/>).

3. PRESENZA E PERSISTENZA DEL SARS-COV-2 NELLE ACQUE REFLUE, NEI FANGHI E NEI SISTEMI IDRICI

È stato dimostrato che il SARS-CoV-2 può infettare e replicarsi nel tratto gastrointestinale sia

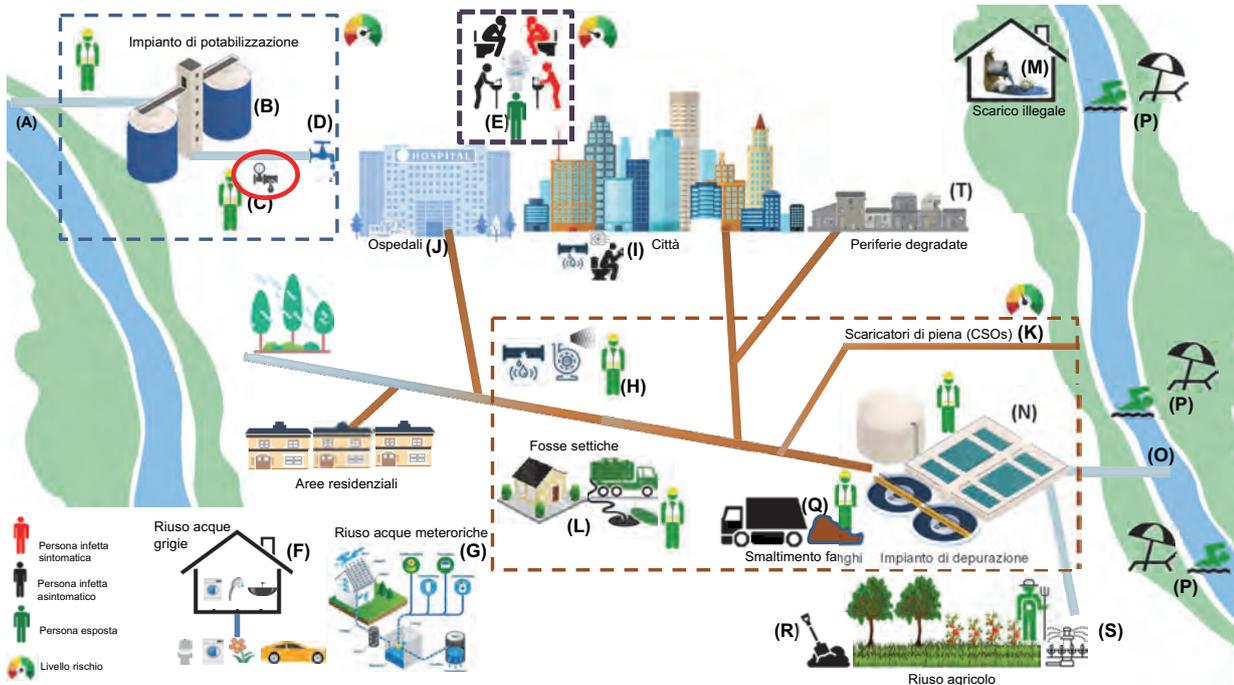
di pazienti sintomatici che asintomatici (Rampelli *et al.*, 2020). Inoltre, mediante il ricorso a tecniche di biologia molecolare, sono state rilevate tracce di RNA del SARS-CoV-2 in campioni di feci, urine e, conseguentemente di acque reflue (Amirian, 2020; Medema *et al.*, 2020). La presenza di RNA virale nelle feci è stata osservata anche in pazienti senza sintomi gastrointestinali, e fino a quattro settimane dopo la cessazione dei sintomi. Ad oggi non è chiaro se l'RNA del SARS-CoV-2 nelle feci provenga dall'espettorato ingerito o dalla replicazione attiva all'interno del tratto gastrointestinale. Quest'ultima via di trasmissione influenzerebbe fortemente la diffusione dei virus infettivi attraverso le acque reflue. Scarsi sono gli studi che finora sono riusciti a isolare il SARS-CoV-2 da campioni di feci e urine (Zhang, Chen and Zhu, 2020); ciò potrebbe essere imputato alla difficoltà di isolare virioni intatti, piuttosto che all'assenza di virioni infettivi. Nonostante il virus sia stato rilevato nelle acque reflue grezze, ad oggi nessun materiale genetico del virus è stato rilevato negli effluenti degli impianti di depurazione dotati di trattamenti terziari, confermando l'ipotesi degli esperti che il nuovo virus non possa sopravvivere nelle condizioni ambientali di un impianto di trattamento delle acque reflue (Rimoldi *et al.*, 2020). La presenza e persistenza del SARS-CoV-2 nei fanghi di depurazione è un altro problema da valutare con attenzione. Frammenti di RNA di SARS-CoV-2 sono stati recentemente rilevati in fanghi primari di depurazione (Peccia *et al.*, 2020). Tuttavia, questi studi non riportano dati relativi all'infettività virale. Per quel che concerne i sistemi idrici naturali, invece, recentemente, è stata riscontrata la presenza di frammenti genetici di SARS-CoV-2 nel fiume a valle dell'area metropolitana di Milano, in Italia, durante il picco della pandemia COVID-19 (Rimoldi *et al.*, 2020); presenza probabilmente dovuta a scarichi di acque reflue non trattate o traboccamenti di liquami. Tuttavia, l'infettività del virus non è risultata significativa. La persistenza dei virus negli ambienti acquatici dipende principalmente dal tipo di acqua (ad es. acqua di rubinetto/acqua di rubinetto filtrata, acqua per reagenti, acqua di lago, acque reflue domestiche, acque reflue pastorizzate, acque reflue ospedaliere), dalla temperatura, dalla presenza di agenti disinfettanti e detergenti, di sostanza organica, di microrganismi antagonisti oltre che dall'esposizione alla luce solare e UV.

4. IL CICLO IDRICO INTEGRATO E I POTENZIALI RISCHI DI TRASMISSIONE

L'insieme dei servizi idrici connessi con l'uso umano della risorsa idrica, ovvero captazione dell'acqua potabile, suo trasporto e distribuzione e quindi collettamento e depurazione delle acque re-

flue, assume un ruolo cruciale in questo momento di crisi, prevenendo o amplificando il contagio da COVID-19. Esistono diversi elementi del ciclo idrico integrato che possono comportare criticità ed un conseguente incremento dei fattori di rischio di diffusione del virus.

La Figura 1 (vedi sotto) riassume il potenziale destino del SARS-CoV-2 nel servizio idrico integrato,



- (A) Le fonti di acqua potabile (cioè le acque superficiali e sotterranee) possono contenere virus a causa della contaminazione con rifiuti e acque reflue infette. Questa possibilità rappresenta un rischio da prendere in considerazione, soprattutto nei casi di scarichi illeciti di acque reflue in corpi idrici superficiali, utilizzati poi come riserve di acqua potabile.
- (B) L'acqua prelevata per scopi potabili viene sottoposta a trattamenti chimico-fisici per rimuovere i contaminanti, compresi i virus. Potenziali rischi possono esistere in caso di trattamenti di potabilizzazione inadeguati. L'esposizione tramite aerosol o contatto diretto è limitata ai lavoratori professionisti se non adeguatamente forniti di dispositivi di protezione individuale (DPI).
- (C) L'acqua potabile viene distribuita ai consumatori finali attraverso le reti di distribuzione. Possibili rischi di contaminazione possono verificarsi in caso di perdite nelle condutture sotterranee e in caso di bassa pressione di esercizio nel sistema di distribuzione dell'acqua. L'esposizione tramite aerosol o contatto diretto è limitata ai lavoratori professionisti.
- (D) I consumatori di acqua potabile sono potenzialmente esposti a virus se i trattamenti di potabilizzazione dell'acqua non sono adeguatamente efficienti e se i sistemi di distribuzione rivelano debolezze strutturali. Tuttavia questo rischio è molto basso.
- (E) I virus vengono escreti nelle feci, nelle urine e nel vomito di persone sintomatiche e asintomatiche. Dato il tempo di sopravvivenza del virus, è necessario prestare attenzione all'igiene personale. Particolare attenzione dovrebbe essere dedicata ai luoghi affollati come ospedali, case di riposo, centri commerciali, uffici.
- (F) Laddove viene praticato il riutilizzo delle acque grigie, si dovrebbe prestare particolare attenzione al potenziale rischio di trasmissione dovuto alla persistenza del virus sulle superfici domestiche (es. lavandino in ceramica, sedile del water in plastica).
- (G) Laddove viene praticato il riutilizzo dell'acqua piovana, è necessario prestare particolare attenzione alle potenziali vie di trasmissione a causa della persistenza del virus nell'ambiente e negli aerosol.
- (H) I virus escreti con feci, urina e vomito entrano nel sistema fognario, dove potrebbero subire un parziale decadimento. Tuttavia, nella rete fognaria potrebbe verificarsi una trasmissione per via aerea, specialmente nei punti in cui vengono prodotti gli aerosol, come le stazioni di pompaggio. Inoltre, a causa di perdite nelle tubazioni della rete fognaria vi potrebbe essere una contaminazione dei sistemi di distribuzione dell'acqua potabile sotterranea, dei corpi idrici superficiali, del suolo, ecc. L'esposizione tramite aerosol o contatto diretto è limitata ai lavoratori professionisti se non adeguatamente protetti da DPI.
- (I) All'interno di edifici, dove le reti idriche o di aerazione presentano un'infrastruttura o una gestione inadeguata, vi possono essere rischi collegati alla trasmissione aerea o per contatto diretto.
- (J) L'interconnessione della rete idraulica delle acque reflue in ambienti di trasmissione ad alto rischio come ospedali ed edifici sanitari deve essere strettamente monitorata, in quanto potrebbe facilitare l'esposizione a SARS-CoV-2.
- (K) Gli scolmatori di piena presenti nelle reti fognarie di tipo misto possono comportare il rilascio di virus infettivi, oltre ad altri inquinanti, nelle acque superficiali.
- (L) Le fosse settiche utilizzate in edifici isolati possono contenere virus con conseguenti rischi per gli operatori del servizio di estrazione e smaltimento oltre che per eventuali altri soggetti vicini ai luoghi di intervento.

- (M) Gli scarichi illeciti possono causare il deflusso diretto di acque reflue potenzialmente contaminate nel corpo idrico recettore, influenzando sulla sicurezza delle acque potabili e di balneazione.
- (N) Le acque reflue vengono trasportate negli impianti di depurazione per essere trattate prima dello scarico finale in ambiente. I trattamenti adottati devono essere in grado di ridurre le concentrazioni e l'attività del virus. Virus umani infettivi sono stati rilevati principalmente negli effluenti secondari della depurazione, ovvero prima del trattamento di disinfezione. Gli operatori degli impianti possono dunque essere esposti a virus infettivi in caso di contatto con acque reflue grezze, effluenti primari e secondari e fanghi di depurazione. I lavoratori sono adeguatamente protetti indossando DPI.
- (O) Trattamenti inadeguati delle acque reflue possono provocare lo scarico di virus nelle acque superficiali, influenzando sulla sicurezza delle acque potabili e di balneazione.
- (P) Gli scarichi illeciti, gli scolmatori di piena e gli effluenti degli impianti di depurazione potrebbero avere un impatto sulle attività ricreative, come la balneazione.
- (Q) I fanghi prodotti dagli impianti di depurazione vengono smaltiti, spesso tramite applicazione su terreno, compostaggio, incenerimento, discarica. I lavoratori a stretto contatto con i fanghi possono essere esposti a virus infettivi sopravvissuti al trattamento degli stessi.
- (R) Particolare attenzione deve essere posta al riutilizzo dei fanghi in agricoltura e allo spandimento agronomico degli effluenti zootecnici.
- (S) Particolare cautela dovrebbe essere prestata alle pratiche di riutilizzo delle acque reflue trattate.
- (T) Al fine di limitare il rischio di diffusione del virus, è necessario prestare attenzione a tutte le realtà caratterizzate da infrastrutture idriche di scarsa qualità o non affidabili, come ad esempio zone periferiche degradate, centri di prima o seconda accoglienza, etc.

Figura 1 – Potenziale destino della SARS-CoV-2 nel servizio idrico e nei luoghi di potenziale esposizione umana (Langone et al., 2021)

evidenziando le potenziali vie di contaminazione. Il livello di rischio aumenta in caso di inadeguata gestione dell'acqua, dei servizi igienico-sanitari oltre che dell'igiene personale.

5. IMPATTI SUL CICLO IDRICO INTEGRATO

Le evidenze scientifiche legate alla trasmissione del SARS-CoV-2 hanno imposto una serie di misure da adottare al fine di ridurre il contagio diretto e indiretto, quali il distanziamento personale, la quarantena, il lavaggio frequente delle mani, la disinfezione delle superfici, etc. Tali misure hanno avuto effetti sul servizio idrico integrato. Per quel che concerne i consumi idrici, gli effetti complessivi sul sistema idrico nazionale nei mesi di quarantena e nei periodi successivi al lock-down, sono difficili da quantificare e possono essere verificati solo con la raccolta dei dati di consumo reali, con il supporto delle aziende di gestione. Tuttavia è stato stimato che durante il periodo di quarantena, a causa della maggior presenza in casa, della maggiore frequenza dei lavaggi delle mani e delle superfici, si è assistito ad un consumo aggiuntivo di acqua potabile, variabile in funzione del tipo di rubinetteria e sensoristica, tra 25-96 litri per persona al giorno (Langone *et al.*, 2021). È peraltro necessario considerare che l'arresto forzato di innumerevoli attività commerciali e lavorative ha indotto una forte diminuzione dei consumi industriali durante il periodo di quarantena. L'effetto complessivo sul sistema idrico integrato può essere valutato solo con il supporto dei gestori.

Le misure adottate possono comportare inoltre una serie di effetti sulla qualità delle acque reflue pro-

dotte, oltre che sull'ambiente in cui vengono scaricate. Questo aspetto è principalmente legato alle operazioni di pulizia e disinfezione delle superfici degli ambienti interni ed esterni con agenti disinfettanti e detergenti, che possono compromettere la qualità delle acque reflue, compromettendo l'efficacia dei trattamenti di depurazione. Inoltre, la selezione dei disinfettanti dovrebbe tener conto della tossicità e degli impatti sull'ambiente e sulla salute umana. Ad esempio, i prodotti a base di ipoclorito dovrebbero essere utilizzati con attenzione, in quanto pericolosi per l'uomo e per l'ambiente e per la produzione, a contatto con la sostanza organica, di sottoprodotti cancerogeni.

6. ROADMAP

In accordo con l'attuale quadro normativo (D.Lgs 152/06 e s.m.i. e D.Lgs 31/01) e a valle delle analisi effettuate, è stata delineata una "roadmap" per una corretta gestione del servizio idrico integrato durante le pandemie (Figura 2, a pagina 271), che riguarda la sicurezza dell'approvvigionamento delle acque potabili, la gestione delle acque reflue e dei fanghi nonché le potenzialità dell'epidemiologia basata sulle acque reflue quale strumento di monitoraggio e di rapido allarme al fine di individuare focolai di malattie infettive.

6.1. La sicurezza dell'approvvigionamento delle acque potabili

In un contesto di impianti di potabilizzazione centralizzati, il rischio di trasmissione del SARS-CoV-2 tramite il sistema di approvvigionamento delle acque potabili è basso. Tuttavia, l'utenza allacciata



Figura 2 – Roadmap per una corretta gestione del servizio idrico integrato durante le pandemie

alla rete di distribuzione di acqua potabile può essere esposta ai virus nel caso di contaminazione delle riserve idriche, trattamenti di potabilizzazione inadeguati o a causa di guasti nella rete di distribuzione.

In Italia nel 2018 il volume di acqua complessivamente prelevato per uso potabile risultava pari a 9,2 miliardi di metri cubi (417 litri per abitante al giorno). Di questi l'84,8% deriva da acque sotterranee (48,9% da pozzo e 35,9% da sorgente), il 15,1% da acque superficiali (9,8% da bacino artificiale, il 4,8% da corso d'acqua superficiale e lo 0,5% da lago naturale) e il restante 0,1% da acque marine o salmastre (ISTAT, 2020).

Il primo passo per prevenire la contaminazione delle acque potabili richiede una adeguata protezione delle riserve idriche evitando che i corpi idrici superficiali e sotterranei possano venire a contatto con materiale fecale, principale fonte di potenziale contaminazione di virus e patogeni. L'attuale normativa prevede la definizione e perimetrazione delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano. Le acque superficiali detengono un rischio di contaminazione superiore rispetto alle acque sotterranee, che beneficiano invece degli effetti della filtrazione del terreno, dell'adsorbimento sui sedimenti e dell'inattivazione progressiva, che aumenta con il tempo necessario a raggiungere la falda. Occorre dunque controllare e limitare gli scarichi illeciti di acque reflue, così come assicurare trattamenti di depurazione adeguati e ridurre al minimo i rischi legati alla presenza degli scolmatori di troppo pie-

no (CSO – combined sewer overflow) nelle reti fognarie di tipo misto. La protezione delle riserve idriche non può prescindere, inoltre, dall'adeguato trattamento di depurazione delle acque reflue.

Per garantire una maggiore sicurezza è comunque necessario un trattamento di potabilizzazione appropriato, che dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche e microbiologiche dell'acqua di partenza, al fine di rimuovere i contaminanti, compresi i virus potenzialmente presenti in captazione. I metodi convenzionali e centralizzati di trattamento dell'acqua che utilizzano la filtrazione e la disinfezione con cloro sembrano essere sufficienti ad inattivare il virus COVID-19 (WHO, 2020c). Anche la disinfezione con luce ultravioletta (UV) risulta essere un valido metodo per abbattere alcune tipologie di virus. Un potenziale rischio di contaminazione delle acque potabili è legato, inoltre, alla presenza di perdite nelle reti di distribuzione, che in Italia risultano essere ancora rilevanti, corrispondenti a circa il 37.3% del volume immesso in rete (ISTAT, 2020). Al fine di ridurre tale rischio occorre abbassare l'entità delle perdite oltre che evitare cali di pressione nelle condutture. In caso di necessario stoccaggio, l'acqua trattata deve essere conservata in sicurezza in contenitori regolarmente puliti e coperti.

Laddove sia previsto il riutilizzo delle acque grigie/piovane va posta particolare attenzione ad un potenziale rischio di trasmissione. Tuttavia, per le acque grigie, caratterizzate dalla presenza di detergenti e disinfettanti che possono inattivare il virus, il rischio risulta essere basso. Infine, van-

no evidenziati ambiti particolari, quali ad esempio *hotspot* e centri di prima e seconda accoglienza, o alcune zone periferiche di grandi città, ove si configurano situazioni di disagio sociale, che presentano uno specifico fabbisogno di interventi idrici ed igienico-sanitari volti al miglioramento ed alla sicurezza dell'approvvigionamento idrico oltre che ad una corretta gestione delle acque reflue al fine di limitare il rischio di diffusione di agenti patogeni.

6.2. La corretta gestione delle acque reflue

I virus escreti con feci, urine, vomito, saliva o secrezioni respiratorie entrano nel sistema fognario. A valle, dunque, di usi domestici, pubblici, commerciali e produttivi, le acque reflue possono rappresentare una fonte di trasmissione del virus se non gestite correttamente. Una adeguata gestione deve necessariamente partire da un collettamento delle acque reflue quanto più capillare e distribuito sul territorio. Particolare attenzione va posta nel ridurre e controllare gli scarichi non depurati, che possono rappresentare una via di trasmissione in caso di attività ricreative (es. balneazione), di contaminazione di riserve idriche, di contatto con la rete di distribuzione dell'acqua potabile. In Italia, l'infrastruttura fognaria colletta nel complesso un carico pari all'88,7% di quanto generato sul territorio nazionale (ARERA, 2017). In caso di scarichi isolati non convogliabili in reti fognarie sono previste soluzioni locali per il trattamento delle acque reflue, quali vasche Imhoff, con dispersione finale dei reflui trattati per immersione a suolo e prelievo dei fanghi tramite autospurgo. Va inoltre riportato che vi sono anche casistiche di scarichi non autorizzati in cui i reflui non subiscono nessuna fase di trattamento.

L'infrastruttura fognaria italiana è composta in prevalenza da reti di tipo misto (73%), che raccolgono nella medesima canalizzazione sia acque bianche che nere, con una copertura di reti separate per acque nere pari al 27% (ARERA, 2017). Rotture o interruzioni a carico delle reti fognarie possono causare la contaminazione di corpi idrici superficiali e sotterranei, oltre che dell'acqua potabile nel caso in cui le reti di distribuzione e fognaria entrino in contatto. Nel sistema fognario-depurativo vi può essere una trasmissione via aerea, soprattutto nei punti dove vi è produzione di aerosol, quali le stazioni di sollevamento e le vasche biologiche aerate. Tuttavia, l'esposizione attraverso aerosol è limitata agli operatori profes-

sionali, che sono adeguatamente protetti attraverso dispositivi di protezione individuale (DPI). Analoghi rischi possono verificarsi all'interno di edifici in cui attraverso impianti o operazioni inadeguate si verifichi l'ingresso di acque reflue o aerosol generato da reflui, nelle reti idriche o di aerazione. Un altro rischio legato alle reti fognarie di tipo misto è rappresentato dalla presenza di scolmatori di troppo pieno (CSO), che in condizione di eventi meteorici rilevanti, in cui viene superata la relativa capacità di carico volumetrico, consentono sversamenti in ambiente di acque reflue non trattate.

Vanno previste dunque una serie di azioni volte al miglioramento dell'infrastruttura fognaria, sia in termini di collettamento che di manutenzione, oltre che una serie di iniziative volte a superare i problemi legati agli scolmatori di troppo pieno, quali ad esempio trattamenti *ad hoc* di tali flussi, piuttosto che aumentare la percentuale di rete fognaria di tipo separato.

Gli impianti di depurazione in esercizio in Italia sono 17.897. Il 46,8% sono vasche Imhoff, il 31,3% impianti secondari, il 12,9% impianti avanzati (con trattamenti terziari) e il 9% impianti primari (ISTAT, 2019). Gli impianti di tipo avanzato – seppur meno numerosi – trattano oltre la metà (66,7%) dei carichi inquinanti. Gli impianti di trattamento centralizzato convenzionali sono in grado di assicurare un adeguato livello di protezione (WHO, 2020c). In generale, diverse fasi di trattamento contribuiscono alla rimozione o all'inattivazione dei virus, a partire dalla sedimentazione primaria laddove presente, che consente di separare la porzione di virus associata al materiale particolato in sospensione. Il trattamento biologico convenzionale a fanghi attivi assicura ulteriori significative rimozioni degli agenti patogeni per l'effetto combinato dell'aerazione dei reflui, dell'attività biologica della biomassa e della sedimentazione secondaria. Contribuisce all'inattivazione del virus anche il tempo di residenza nelle vasche di trattamento e l'esposizione alla luce solare, seppure limitata agli strati più vicini alla superficie. Inoltre un ruolo essenziale è quello della fase finale di disinfezione, non sempre prevista soprattutto in caso di piccoli impianti e che invece potrebbe assicurare un'ulteriore forma di protezione, se correttamente applicata a tutti gli scarichi per tutta la durata degli episodi epidemici. I rischi sanitari per i lavoratori nelle strutture di trattamento igienico-sanitario sono minimizzati prevedendo l'adozione di adeguati DPI.

Infine, anche se non vi sono evidenze di presenza e persistenza del SARS-CoV-2 negli effluenti degli impianti di depurazione, va posta particolare attenzione alla pratica del riutilizzo idrico delle acque depurate, dove le principali vie di esposizione al virus consistono nell'ingestione di cibo e acqua contaminati e nell'inalazione di aerosol promossa soprattutto dall'impiego di sistemi d'irrigazione a sprinkler. Ai fini della minimizzazione di rischi igienici sanitari, l'utilizzo di tecniche irrigue quali irrigazione a goccia o sub-irrigazione o il reimpiego di acque reflue per colture non edibili risultano misure efficaci di prevenzione e protezione.

6.3. La corretta gestione dei fanghi di depurazione

I trattamenti delle acque reflue generano fanghi di depurazione (primari, secondari, misti) che vengono sottoposti, nella linea fanghi degli impianti di depurazione, ad una serie di trattamenti atti a ridurre il contenuto di sostanze organiche biodegradabili, il contenuto di acqua e la carica microbica e patogena. I normali trattamenti dei fanghi, eseguiti negli impianti di depurazione, non sono sempre efficaci nel ridurre il numero di patogeni e, a seconda del metodo di smaltimento dei fanghi (es. spargimento su terreni agricoli, compostaggio, incenerimento o conferimento in discarica) possono essere necessari ulteriori processi.

In riferimento ai dati del 2016, in Italia la produzione di fanghi di origine civile è di circa 3.183.919 t TQ/anno (ISPRA, 2018). Ipotizzando un tenore medio del 25% di sostanza secca nei fanghi disidratati, è possibile stimare una produzione di 795.980 t SS/anno nel 2016. Secondo i dati raccolti nel 2016 da ARERA, tra le modalità di smaltimento previsto vi è ancora il ricorso alla discarica (circa 25% del totale), mentre circa il 75% dei fanghi viene recuperato. Tra le modalità di recupero più diffuse in Italia vi è il riutilizzo in agricoltura mediante spandimento diretto (38%) o compostaggio (46%) e la produzione di prodotti ammendanti. Solo il 6% dei fanghi recuperati vengono destinati al co-incenerimento in impianti di termovalorizzazione dei rifiuti, e piccole altre quote residuali in altre forme di recupero, come ad esempio l'invio ai cementifici.

Particolare attenzione va riposta quando è previsto il riutilizzo agricolo dei fanghi municipali. Il rischio di trasmissione del virus è basso laddove vengano assicurati gli appropriati trattamenti (es. trattamento di stabilizzazione con calce, acido solfo-

rico, ammoniaca, soda o una combinazione di questi, digestione anaerobica (mesofila e termofila) o aerobica (mesofila e termofila), disidratazione termica, idrolisi termica con temperatura superiore a 100°C per almeno 20 minuti, pastorizzazione del fango liquido per un minimo di 30 minuti a 70°C) (ISS, 2020), mentre un potenziale pericolo di trasmissione del virus può essere rappresentato da smaltimenti illeciti di fanghi non trattati. Ai fini della minimizzazione di rischi igienici sanitari legati allo spandimento dei fanghi in agricoltura, è possibile incorporarli al suolo, immediatamente dopo lo spandimento, oppure ricorrere a tecniche di iniezione profonda.

6.4. Sorveglianza epidemiologica basata sulle acque reflue

L'epidemiologia basata sulle acque reflue è stata proposta come uno strumento efficiente, economico e potente per valutare, monitorare e gestire la pandemia (Mao *et al.*, 2020). Vari gruppi di ricerca hanno segnalato in modo indipendente la presenza di SARS-CoV-2 nelle acque reflue non trattate, cercando di correlare la sua concentrazione alla presenza dell'infezione nella popolazione. Il monitoraggio delle acque reflue può essere utilizzato per tracciare e fornire avvisi precoci di focolai di SARS-CoV-2. Tuttavia, le attuali sfide sono rappresentate dallo sviluppo e dalla standardizzazione di metodi analitici e dal campionamento statisticamente rappresentativo delle acque reflue.

Numerosi Stati membri hanno preso l'iniziativa di monitorare la presenza dei residui di COVID-19 nelle acque reflue. In Italia, a luglio 2020, ha preso il via il progetto Sari (Sorveglianza ambientale reflue in Italia) coordinato dall'Istituto superiore di sanità (ISS) e che coinvolge le Agenzie ambientali, Snpa, Asl, Izs, Università, centri di ricerca e, attraverso Utilitalia, oltre 50 gestori del servizio idrico integrato. Il Joint Research Centre (JRC) ha preso l'iniziativa di avviare uno studio a ombrello (umbrella study) paneuropeo che collega i principali studi di riferimento a livello nazionale e regionale in un approccio unico. In tale studio numerosi stakeholder europei stanno lavorando in parallelo, con differenti modelli e approcci, collaborando per risolvere le sfide legate al campionamento, alla metodologia analitica, all'interazione con servizi sanitari ed epidemiologi, al data hosting e al supporto decisionale e al trasferimento di conoscenze.

7. CONCLUSIONI

Questo studio evidenzia gli aspetti fondamentali per una gestione sicura dei servizi idrici, gli impatti delle misure di prevenzione e contenimento sul ciclo idrico integrato ed illustra le potenzialità e i limiti dell'approccio epidemiologico delle acque reflue. In particolare, evidenzia che sono necessarie diverse azioni per ridurre al minimo il rischio di trasmissione fecale nel sistema idrico integrato, partendo dall'approvvigionamento, fino alla gestione delle acque reflue e dei fanghi. In particolare necessita un'ottimizzazione delle reti di distribuzione dell'acqua e delle reti fognarie, riducendo le perdite nelle tubazioni, gli scolmatori di troppo pieno e gli scarichi illeciti. Inoltre, è necessario incrementare l'efficacia delle pratiche di riutilizzo agricolo delle acque depurate e dei fanghi al fine di minimizzare i rischi di contaminazione di virus.

Infine, il lavoro porta all'attenzione una serie di aspetti chiave da approfondire al fine di progredire nella conoscenza tecnica e nella corretta impostazione di una gestione sostenibile dei servizi idrici in caso di ri-emergenza di SARS-CoV-2, e di future epidemie mortali o pandemie, in particolare:

- Standardizzare i metodi per la rilevazione biomolecolare di SARS-CoV-2 (concentrazione, estrazione e purificazione) nelle acque reflue, fanghi e acque superficiali.
- Aumentare le conoscenze sulla vitalità, infettività e persistenza del SARS-CoV-2 in feci, urine, acque reflue grezze, sistemi fognari, impianti di depurazione e fanghi.
- Integrare il settore idrico con gli altri settori pubblici, come il sanitario e altri organismi competenti per perseguire un approccio sistematico nella sorveglianza delle pandemie.
- Considerare l'approccio epidemiologico delle acque reflue come primo step di una sorveglianza efficace per individuare focolai, seguito da test clinici specifici per identificare i singoli individui infetti.
- Condurre valutazioni quantitative del rischio di trasmissione del SARS-CoV-2 attraverso le acque potabili, le acque reflue e i corpi e gli impianti idrici ricreativi.
- Condividere le informazioni tra gestori del servizio idrico integrato, organismi sanitari di sorveglianza e controllo (ARPA, ISS, Utilitalia, etc) ed enti di ricerca (Università, ENEA, CNR, etc).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Amirian E.S. (2020) 'Potential fecal transmission of SARS-CoV-2: Current evidence and implications for public health', *International Journal of Infectious Diseases*. International Society for Infectious Diseases, 95, pp. 363-370.
- ARERA (2017) Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta.
- Carducci A., Federigi I. and Verani M. (2020) 'Covid-19 Airborne Transmission and Its Prevention: Waiting for Evidence or Applying the Precautionary Principle?', *Atmosphere*, 11(710), pp. 1-21.
- Van Doremalen N. et al. (2020) 'Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1', *The New England Journal of Medicine*, 382(16), pp. 1-4.
- Heller L., Mota C.R. and Greco D.B. (2020) 'COVID-19 faecal-oral transmission: Are we asking the right questions?', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 729, pp. 10-12. doi: [10.1016/j.scitotenv.2020.138919](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138919).
- ISPRA (2018) Rapporto Rifiuti Speciali. Edizione 2018, Rapporto 285/2018.
- ISS (2020) Interim indications on the management of sewage sludge for the prevention of the spread of the SARS-CoV-2 virus. Report n. 9/2020. [In italiano].
- ISTAT (2019) Utilizzo e qualità della risorsa idrica in Italia.
- ISTAT (2020) Le statistiche dell'ISTAT sull'acqua, anni 2018-2019.
- Langone M. et al. (2021) 'SARS-CoV-2 in water services: presence and impacts', *Environmental Pollution*, 268(Part A), pp. 1-13.
- Mao K. et al. (2020) 'The potential of wastewater-based epidemiology as surveillance and early warning of infectious disease outbreaks', *Current opinion in Environmental Science & Health*, 17, pp. 1-7.
- Medema G. et al. (2020) 'Presence of SARS-Coronavirus – 2 RNA in Sewage and Correlation with Reported COVID-19 Prevalence in the Early Stage of the Epidemic in The Netherlands', *Environmental Science & Technology Letters*, 7, pp. 511-516. doi: [10.1021/acs.estlett.0c00357](https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00357).
- Peccia J. et al. (2020) 'SARS-CoV-2 RNA concentrations in primary municipal sewage sludge as a leading indicator of COVID-19 outbreak dynamics', *Preprints* 20105999.
- Rampelli S. et al. (2020) 'Retrospective Search for SARS-CoV-2 in Human Faecal Metagenomes', Available SSRN <https://ssrn.com/abstract=3557962>
- Rimoldi S.G. et al. (2020) 'Presence and vitality of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers', *Preprints* 20086009.
- WHO (2020b) Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations: scientific brief, 29 March 2020. doi: [10.1056/NEJMoa2001316.5](https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316.5).
- WHO (2020c) Water, sanitation, hygiene and waste management for the COVID-19 virus. Technical brief 3 march 2020.
- WHO (2020a) Weekly Epidemiological Update on COVID-19 – 27 October 2020. Available at: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20201012-weekly-epi-update-9.pdf>
- Zhang Y., Chen C. and Zhu S. (2020) 'Isolation of 2019-nCoV from a stool specimen of a laboratory-confirmed case of the coronavirus disease 2019 (COVID-19)'. (In Chinese)', *China CDC Weekly*, 2(8), pp. 123-124.

ANALISI QUALITATIVA E QUANTITATIVA DELLA GESTIONE DEI RIFIUTI DI LANA DI ROCCIA

Piera Policaro^{1*}, Federica Carollo¹, Lucia Rigamonti¹

¹ Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – sezione Ambientale, Milano.

Sommario – La lana di roccia è un materiale isolante di recente introduzione le cui caratteristiche lo rendono idoneo a soddisfare le più recenti imposizioni normative in termini di isolamento termico, isolamento acustico e protezione dal fuoco. L'utilizzo di questo materiale si è notevolmente intensificato negli ultimi anni ed è stimato che questo trend si manterrà costante anche nei prossimi decenni con la conseguente crescita delle quantità di rifiuti prodotte. In Europa, in particolare nella zona EU28, è stato stimato, in totale, che nel periodo di tempo che va dal 2033 al 2050 vi sarà un incremento della produzione dei rifiuti di lana di roccia pari al 19,0% con un incremento medio dell'1,1% ogni anno. Capire cosa sia la lana di roccia e quale sia il suo destino finale, una volta persa la sua qualifica come prodotto, può permettere di valutare in maniera oggettiva in che modo una crescita sempre maggiore della produzione di rifiuti potrà portare delle complicazioni nel già oberato sistema di gestione dei rifiuti italiano. I rifiuti di lana di roccia fanno parte della macro-categoria dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&DW) e, in particolare, rientrano nei flussi individuati dai codici CER 17 06 03* (materiali isolanti contenenti o costituiti da sostanze pericolose) e 17 06 04 (materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 17 06 01 e 17 06 03). Poiché i materiali contenenti sostanze pericolose non possono essere considerati se si vuole fare un'analisi sulle possibilità di riciclo/recupero/riuso dei rifiuti, sono stati qui considerati i soli materiali non contenenti o costituiti da sostanze pericolose, cioè quelli identificati dal codice CER 17 06 04. Si è inoltre considerato il fatto che, oltre ai rifiuti provenienti dalle attività di costruzione, demolizione e ristrutturazione, una quota significativa di rifiuti di lana di roccia proviene dagli impianti di produzione.

Parole chiave: lana di roccia, gestione rifiuti, riciclo, smaltimento, rifiuti da costruzione e demolizione.

QUALITATIVE AND QUANTITATIVE ANALYSIS OF ROCK WOOL WASTE MANAGEMENT

Abstract – Rock (stone) wool is a newly introduced insulating material whose characteristics make it suitable for the latest regulatory requirements in terms of thermal and acoustic insulation other than fire protection. The use of this material has intensified considerably in recent years and it is estimated that this trend will remain constant in the coming decades with the consequent increase in the amount of waste

produced. In Europe, in particular in the EU28 zone, it has been estimated that in the period of time from 2033 to 2050 there will be an increase in the production of rock wool waste equal to 19.0% with an average annual increase of 1.1%. Understanding what rock wool is and what its final destiny is, once it has lost its status as a product, can allow evaluating objectively how, increasing growth in the production of wastes, may bring complications into the already overburdened Italian waste management system. Rock wool waste is part of the macro-group of construction and demolition waste (C&DW) and, in particular, is part of the flows identified in the European waste catalogue by the codes 17 06 03* (insulating materials containing or consisting of hazardous substances) and 17 06 04 (insulating materials other than those mentioned in 17 06 01 and 17 06 03). Since materials containing hazardous substances cannot be considered if an analysis of the possibilities of recycling/recovery/reuse of the waste has to be made, only the waste not containing or consisting of dangerous substances, i.e. those identified by code 17 06 04, have been considered here. Moreover, the analyses considered that, in addition to the waste from construction, demolition and renovation activities, a significant proportion of the rock wool waste come from the production plants.

Keywords: rock wool, waste management, recycling, disposal, construction and demolition waste.

Ricevuto il 3-6-2020; Correzioni richieste il 21-7-2020; Accettazione finale il 10-9-2020.

1. INTRODUZIONE

La lana di roccia è un isolante termo-acustico classificato tra le lane minerali che a loro volta appartengono alla più ampia categoria delle Fibre Artificiali Vetrose (FAV). Le FAV vengono prodotte seguendo svariati processi, tutti basati sulla lavorazione di un sottile flusso di materiale fuso ad alte temperature. Generalmente, le FAV sono a base di silice e contengono varie quantità di ossidi inorganici. I componenti non silicei includono ossidi di terre alcaline, alcali, alluminio, boro, ferro e zirconio. Questi ossidi possono essere introdotti nel processo produttivo sia come materie prime per la produzione delle fibre, ma anche come additivi allo scopo di rendere il processo produttivo più performante o migliorare la qualità del prodotto finale (IARC, 2002).

* Per contatti: Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci, 32 – 20133 Milano. Tel. 02.23996415. E-mail: piera.policaro@mail.polimi.it.

1.1. Proprietà chimiche e fisiche delle FAV

A seconda del processo di formazione delle fibre, le FAV possono essere classificate come *lana*, cioè una massa di fibre aggrovigliate e discontinue di lunghezze e diametri variabili, o come *filamenti*, cioè fibre continue di lunghezza indeterminata con diametri più uniformi e tipicamente maggiori rispetto alle lane. I diametri di una lana seguono, approssimativamente, una distribuzione log-normale con un diametro medio tra 3 e 10 μm (IARC, 2002). Tuttavia, durante alcuni processi di produzione delle lane si può avere la formazione di un numero considerevole di particelle grandi e arrotondate con un diametro maggiore o uguale a 60 μm (TIMA, 1993).

Le FAV presentano una struttura non cristallina ma vetrosa o amorfa. Per tale motivo, la rottura delle stesse avviene trasversalmente, lungo il corpo della fibra, con la tipica frattura concoide con il risultato di avere fibre con lo stesso diametro ma più corte. Non presentano, invece, piani di scissione che permettano la rottura longitudinale in modo da ottenere fibre di uguale lunghezza ma con diametri più piccoli (Assuncao & Corn, 1975).

Le FAV presentano una composizione chimica molto variabile in base alla tipologia di fibra. Tra gli elementi che compongono le FAV quelli che rivestono un ruolo fondamentale sono gli ossidi alcalini (Na_2O , K_2O) e alcalino/terrosi (CaO , MgO , BaO). Tali elementi, infatti, se presenti in elevate concentrazioni sono indice di biosolubilità, e quindi non pericolosità, delle fibre stesse. La biosolubilità è, infatti, legata alla capacità che ha l'organismo di smaltire le sostanze prima che diano vita a fenomeni di biopersistenza.

1.2. Proprietà termofisiche della lana di roccia

Gli isolanti, in base alla loro composizione, possono essere organici o inorganici, classificati a loro volta in funzione dell'origine naturale o sintetica. La lana di roccia è un isolante inorganico di origine sintetica.

Oltre alla distinzione per composizione e origine, i vari materiali isolanti si possono distinguere anche in funzione delle loro proprietà termofisiche. In base alle differenti proprietà che possiede ciascun isolante quest'ultimo potrà essere utilizzato per diversi scopi specifici. Per poter confrontare i vari materiali isolanti si considerano diverse grandezze, tra cui la conducibilità termica λ [W/mK], la densità [kg/m^3], il fattore di resistenza alla diffusione

del vapore acqueo [-], la resistenza meccanica a compressione al 10% σ_{10} [kPa], la resistenza al fuoco e l'isolamento acustico.

1.3. Pericolosità delle lane minerali

Il Regolamento (CE) n.1272/2008 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele, più comunemente indicato come Regolamento CLP (Classification, Labelling and Packaging), stabilisce che i parametri che è necessario valutare per determinare la pericolosità di una lana minerale sono il contenuto percentuale in massa di ossidi alcalini e alcalino/terrosi, la bio-solubilità e il diametro geometrico medio pesato rispetto alla lunghezza.

Da quanto riportato nel Regolamento CLP si può dedurre uno schema di flusso (Figura 1) che è necessario seguire per poter stabilire se una lana minerale possa essere classificata come pericolosa e se quindi sia necessario prevedere degli accorgimenti allo scopo di tutelare la salute umana. Quando si considera una qualsiasi lana minerale la prima cosa da verificare è il contenuto percentuale di ossidi alcalini e alcalino/terrosi. In gene-

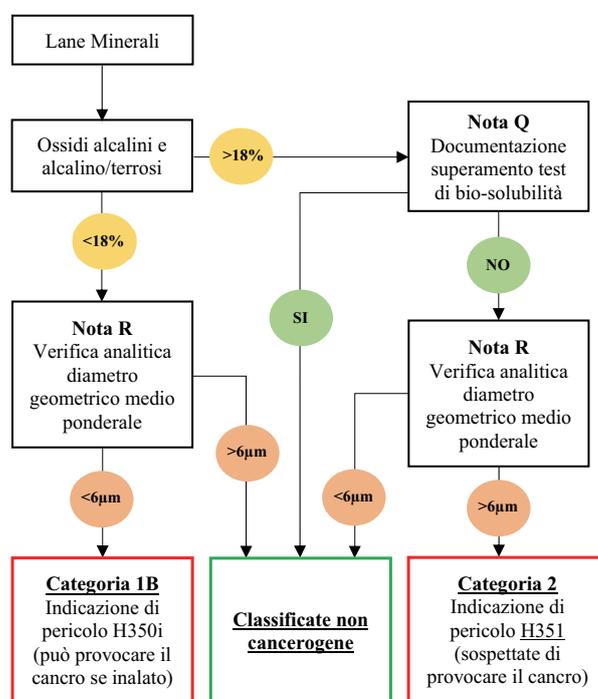


Figura 1 – Schema per la classificazione delle lane minerali pericolose ai sensi del Regolamento CLP (F.I.V.R.A., 2016)

rale, si può dire che una lana minerale può essere considerata non cancerogena solo nei seguenti casi:

- ha un contenuto di ossidi alcalini e alcalino/terrosi inferiore al 18% ed è verificata la Nota R (il diametro geometrico pesato rispetto alla lunghezza deve essere superiore a 6 μm);
- ha un contenuto di ossidi alcalini e alcalino/terrosi superiore al 18% e viene verificata la Nota Q (è verificata la bio-solubilità delle fibre tramite dei test);
- ha un contenuto di ossidi alcalini e alcalino/terrosi superiore al 18%, non verifica la Nota Q ma verifica la Nota R.

1.4. Produzione della lana di roccia

La lana di roccia viene prodotta in appositi impianti dedicati. Il processo produttivo può essere diviso in 6 fasi principali (Figura 2) alle quali si aggiungono una serie di fasi accessorie (Gamma Meccanica, 2020).

La prima tra le fasi principali è l'alimentazione delle materie prime (1). La lana di roccia è un silicato amorfo, composto principalmente da basalto, anfibolite, diabase, dolomite e lana di roccia riciclata proveniente dalla linea di produzione. Nella produzione della lana di roccia deve essere utilizzato un mix di materie prime adeguato e bilanciato (*ricetta*) allo scopo di ottenere una miscela finale che abbia una composizione chimica adatta per avere una lava "fibrabile" cioè che abbia determinate caratteristiche di viscosità ed acidità

dentro un range di temperatura definito. La composizione della miscela può variare a seconda del produttore e del tipo di lana di roccia che si vuole produrre.

I materiali vengono quindi convogliati in un forno di fusione (2) e qui fusi a una temperatura compresa tra i 1500°C e i 1600°C. Esistono tre tipologie di forno di fusione utilizzabili per la produzione della lana di roccia che si distinguono in base alla fonte energetica utilizzata per la fusione: forno di fusione a coke (cubilotto), forno di fusione elettrico e forno di fusione a gas. Il cubilotto rappresenta la soluzione più tradizionale e meno costosa per la fusione dei materiali in termini di spesa per la realizzazione dell'impianto. Il forno di fusione elettrico è la soluzione più moderna: la fusione avviene sfruttando come fonte di energia quella elettrica che viene generata da elettrodi immersi nel bagno fuso. Il processo risulta molto efficiente grazie alla possibilità di variare la temperatura tramite la modulazione della frequenza dell'energia elettrica applicata agli elettrodi. Il forno di fusione a gas è un tipico forno a bacino/a volta. Si tratta di forni realizzati con materiali refrattari pregiati e per questo motivo vengono utilizzati solo negli impianti che producono limitate quantità di lana di roccia (praticamente assenti in Europa). Poiché la capacità di produzione del forno è direttamente proporzionale alle sue dimensioni, l'investimento iniziale necessario per l'installazione di questo tipo di forno in impianti con capacità di produzione maggiori sarebbe troppo elevato.

1. Alimentazione della materia prima;
2. Fusione;
3. Fibraggio;
4. Formatura;
5. Polimerizzazione;
6. Taglio, confezionamento e immagazzinamento.

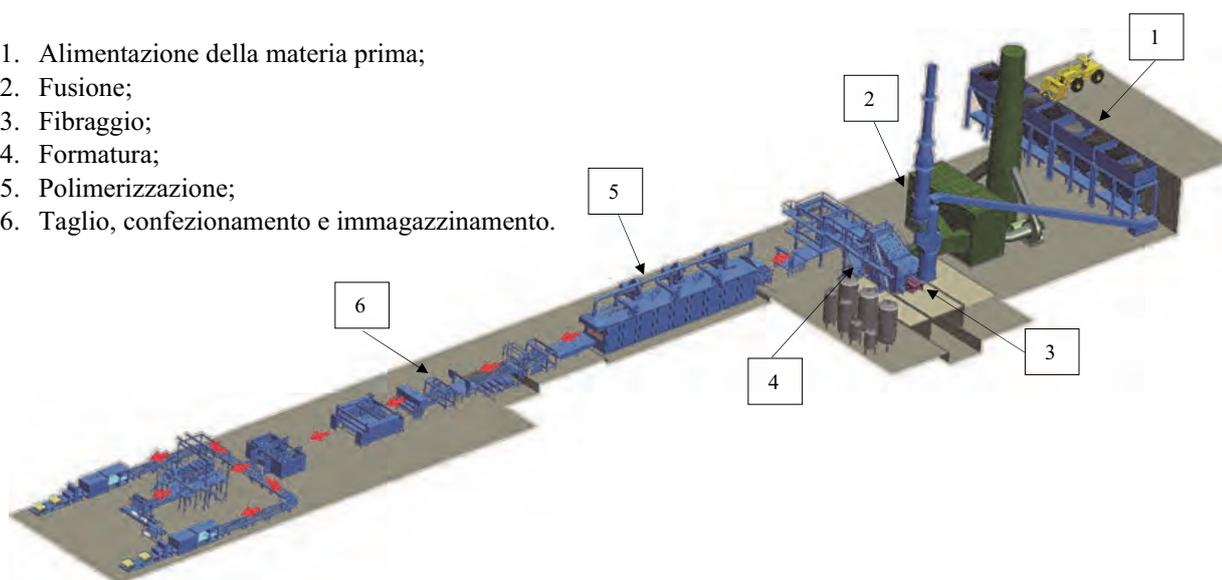


Figura 2 – Schema di un impianto di produzione di lana di roccia (Gamma Meccanica, 2020)

Il materiale fuso viene inviato alla fase successiva di fibraggio (3), in cui il materiale fuso stesso viene trasformato in fibre. Per il fibraggio del materiale fuso si utilizzano le *centrifughe* che nel caso della lana di roccia sono macchine ad asse orizzontale dotate di più dischi (in funzione della produzione richiesta per l'impianto). I dischi ruotano a una velocità di circa 7000 giri/min e grazie alla forza centrifuga che il materiale fuso subisce passandoci attraverso viene trasformato in fibre. Durante questa fase dell'aria ad alta velocità viene insufflata perpendicolarmente ai dischi attraverso delle fessure circolari ed è questa che permette la produzione di milioni di fibre al secondo. A causa del movimento, un filamento di materiale fuso si stacca verticalmente dalla superficie andando a formare la fibra (Širok et al., 2014). La lunghezza delle fibre, che determina la qualità del materiale finale, è strettamente legata all'efficienza con cui avviene la fase di insufflazione d'aria.

Per favorire l'aderenza tra le fibre così formate, in questa fase, vengono aggiunti dei leganti, tipicamente resine termoindurenti (come le resine fenoliche) che, quindi, a contatto con un flusso di aria calda, solidificano. La percentuale di legante utilizzato varia in base al produttore e al destino finale del materiale, ma generalmente si aggira tra l'1 e il 4%. Le fibre in uscita dalla centrifuga vengono inviate alla *camera di formazione* (4), che è una macchina che ha il compito di raccogliere le fibre e formare il cosiddetto *feltro primario*. In questa fase, le fibre convogliate su un nastro trasportatore vengono inviate a un tamburo (o triangolo) rotante che permette la formazione del feltro. La camera di formazione è costantemente mantenuta in depressione per facilitare il posizionamento delle fibre prodotte dalla centrifuga sulle lamelle forate mobili di cui è provvista la camera di formazione. Successivamente un coltello ad aria separa il feltro prodotto dal tamburo che, tramite un nastro trasportatore, viene inviato al pendolo il cui compito è quello di deporre il feltro appena formato da un lato all'altro di un secondo nastro trasportatore creando una serie di strati il cui numero dipende dalla densità e lo spessore desiderato per il prodotto finale.

La fase successiva è quella di polimerizzazione (5). Il forno di polimerizzazione viene utilizzato allo scopo di polimerizzare i leganti introdotti nella fase di fibraggio, tramite l'insufflazione di aria calda. Raggiunta una certa temperatura, si sviluppano le reazioni chimiche di reticolazione che per-

mettono la solidificazione delle resine. Durante queste reazioni si creano dei legami forti (covalenti o ionici) tra le catene polimeriche che costituiscono le resine. Questo processo conferisce alla lana di roccia le proprietà di resistenza meccanica necessarie a questo materiale per le sue applicazioni.

In uscita dal forno di polimerizzazione si ha il materiale finito che, dopo raffreddamento, viene tagliato e confezionato (6) in attesa della distribuzione.

1.5. Applicazioni

Le particolari caratteristiche della lana di roccia la rendono un materiale utilizzabile in molteplici campi, a partire dall'edilizia fino agli elettrodomestici. La lana di roccia viene utilizzata principalmente in:

- Edilizia civile e industriale: è sicuramente il campo in cui la lana di roccia trova maggiori applicazioni. Viene utilizzata per l'isolamento delle chiusure verticali e orizzontali, dei controsoffitti e delle partizioni interne.
 - Processi industriali: la lana di roccia viene utilizzata per l'isolamento di tubazioni, serbatoi, colonne di distillazione, vessel, ciminiera, caldaie e impianti criogenici. La temperatura riveste un ruolo fondamentale in tutti i processi industriali e un buon isolamento termico permette di migliorare l'efficienza di tali processi.
 - Elettrodomestici: le aziende produttrici di elettrodomestici utilizzano la lana di roccia per il rivestimento dei forni allo scopo di limitare la dispersione di calore e massimizzare l'efficienza energetica di questi dispositivi. Allo scopo di garantire una buona coibentazione di questo elettrodomestico è necessario che l'isolante utilizzato sia stabile a temperature molto elevate, in modo da non rilasciare sostanze che possano risultare pericolose se presenti in un ambiente in cui possano entrare in contatto con gli alimenti. Inoltre, è fondamentale che l'isolante abbia una buona reazione al fuoco, in modo da limitare il rischio di diffusione delle fiamme in caso d'incendio.
- La lana di roccia viene utilizzata, inoltre, come isolante per i frigoriferi. In questo caso è però fondamentale che l'isolante impedisca al calore di penetrare all'interno dell'elettrodomestico vanificando il processo di raffreddamento.
- Agricoltura: la lana di roccia viene utilizzata anche in agricoltura nella cosiddetta coltura idro-

ponica. Questo tipo di coltivazione non prevede l'utilizzo di terriccio per la crescita delle piante, che invece vengono sistemate in cubetti di lana di roccia. Le sostanze nutritive necessarie vengono aggiunte all'acqua fornita. Il vantaggio di questo tipo di coltivazione è che la quantità di acqua necessaria per lo sviluppo della pianta è molto minore rispetto a quella utilizzata per le coltivazioni nel suolo. Inoltre, poiché l'utilizzo di fertilizzanti è specifico per la pianta, non vi sono dispersioni. L'unico inconveniente è che spesso il pH di questo isolante è leggermente basico, per cui prima di utilizzarlo è necessario realizzare un lavaggio in acqua a pH neutro.

2. STATO DELL'ARTE E PROSPETTIVE FUTURE SUL RICICLO DEI RIFIUTI DI LANA DI ROCCIA

2.1. Caratteristiche e origine dei rifiuti di lana di roccia

I rifiuti di lana di roccia fanno parte della più ampia categoria dei rifiuti da costruzione e demolizione (C&DW) e come tali sono classificati tra i rifiuti speciali dalla normativa italiana (D.Lgs. n.152/06, all'art.184, comma 3, lettera b). Ai sensi della Decisione della Commissione Europea 2000/532/CE, i C&DW vengono classificati nel Catalogo Europeo dei Rifiuti (CER) al capitolo 17 "Rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione compreso il terreno proveniente da siti contaminati". In tale elenco armonizzato, ogni singolo rifiuto viene classificato tramite un codice a sei cifre. La lana di roccia fa parte dei rifiuti classificati con i codici CER 17 06 03* cioè "altri materiali isolanti contenenti o costituiti da sostanze pericolose" e 17 06 04 cioè "materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 17 06 01 e 17 06 03". A differenza dei materiali classificati ai codici CER 17 06 01 e 17 06 03*, i rifiuti classificati al codice CER 17 06 04 non sono pericolosi, quindi si prestano maggiormente a eventuali operazioni di riciclo. La classificazione avviene tenendo conto delle caratteristiche chimiche e fisiche dei rifiuti e, in particolare, coincide a grandi linee con quella fatta per classificare le lane minerali in pericolose e non pericolose. In particolare, per i rifiuti di lana di roccia e in generale per tutte le FAV si tiene conto di tre parametri che sono:

- contenuto di ossidi alcalini e alcalino/terrosi;
- bio-solubilità;

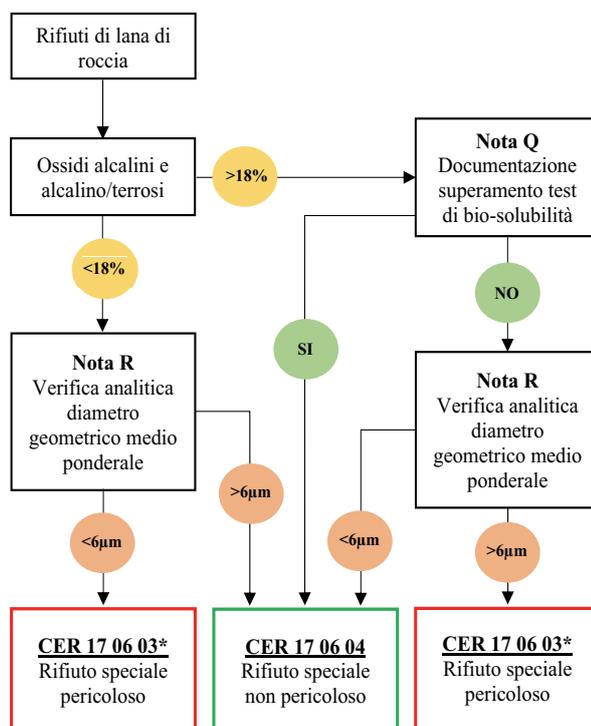


Figura 3 – Schema per la classificazione dei rifiuti di lana di roccia ai sensi del Regolamento CLP (E.I.V.R.A., 2016)

- diametro medio geometrico pesato sulla lunghezza delle fibre.

Per la classificazione dei rifiuti di lana di roccia è possibile seguire lo stesso iter (Figura 3) seguito per la classificazione delle lane minerali e riportato al paragrafo 1.2, secondo i criteri stabiliti dal Regolamento CLP.

I rifiuti di lana di roccia provengono principalmente dagli impianti di produzione di lana di roccia e dalle attività di costruzione, demolizione e ristrutturazione.

In base all'origine, i rifiuti presentano caratteristiche diverse e non possono essere gestiti allo stesso modo.

2.2. Trattamento degli scarti dagli impianti produttivi

Un impianto di produzione di lana di roccia produce tre tipologie di scarti, che possiedono caratteristiche diverse e che corrispondono al 21,4% dei materiali in uscita (Tabella 1, a pagina seguente). I primi scarti, pari al 12,3% del totale degli scarti prodotti, derivano della fase di alimentazione delle materie prime e, pertanto, sono costituiti dalle materie prime fini che vengono perse durante le varie fasi di pesatura e trasporto. Questi materiali

Tabella 1 – Flussi in ingresso e in uscita da un impianto di produzione di lana di roccia (Gamma Meccanica, 2020)

Ingresso			Uscita		
Materie prime	1.425,9 kg	87,8 %	Scarti dalla fase di stoccaggio e selezione delle materie prime	42,8 kg	2,6 %
Coke	166,0 kg	10,2 %	Ferro a recupero	41,5 kg	2,6 %
Leganti	31,8 kg	2,0 %	CO ₂ e polveri	235,1 kg	14,5 %
Totale	1.623,7 kg	100,0 %	Scarti dalla fase di fibraggio e formatura	229,0 kg	14,1 %
			Scarti dalla fase di taglio, controllo qualità e stoccaggio	75,3 kg	4,6 %
			Lana di roccia (prodotto finale)	1.000,0 kg	61,6 %
			Totale	1.623,7 kg	100,0 %

possono essere utilizzati come materia prima nell'impianto di bricchettatura, se presente, oppure come materiali inerti in altre attività edili (realizzazione manti stradali, riempimento).

Gli scarti più facili da riciclare sono quelli provenienti dalla fase di taglio corrispondenti al 21,7% del totale degli scarti prodotti. Si tratta, infatti, di materiale che possiede già le caratteristiche finali della lana di roccia e può direttamente essere convogliato nella fase di recupero degli scarti, dove verrà triturato in fiocchi, pesato e dosato per poi essere inviato a monte della camera di formazione per essere reintrodotta nel processo produttivo. Tuttavia, la quantità di materiale re-immettibile nel processo produttivo è sottoposta a limitazioni, in quanto l'aggiunta di questi materiali, in grosse quantità, potrebbe causare la presenza di "spot" nei pannelli finiti che, rendendo il materiale non più omogeneo, ne peggiorano le caratteristiche di isolamento termico e acustico. Tipicamente, è possibile sostituire circa il 10% delle materie prime con questa tipologia di scarti (Gamma Meccanica, 2020). Negli impianti, quindi, vengono appositamente realizzati dei silos di stoccaggio per i materiali recuperati.

Gli scarti più difficili da riciclare sono quelli prodotti nella fase di fibraggio che, oltretutto, sono quelli prodotti in quantità maggiore (66% del totale degli scarti prodotti). Durante questa fase, circa il 15% del materiale fuso mescolato ai leganti non riesce ad essere fibrato. Questo materiale viene raccolto tramite un nastro trasportatore e inviato alla fase di recupero degli scarti. Non può essere, invece, inviato in testa all'impianto poiché contiene leganti ed è costituito da materiali fini. Si presenta, infatti, come un fango che non è possibile fondere nella cupola poiché andrebbe a disturbare il flusso di aria comburente. Le soluzioni attualmente utilizzate per questi scarti sono lo smaltimento in discarica oppure la bricchettatura. Quest'ultima prevede di mescolare gli scarti con

dei materiali inerti come il cemento, la bauxite, i residui del processo di macinazione (provenienti dallo stesso impianto produttivo di lana di roccia o da processi produttivi terzi) e un legante organico allo scopo di inertizzare i leganti presenti, in modo da creare dei bricchetti di dimensioni e durezza accettabili per essere fusi nella cupola. Ciascuna azienda di produzione di lana di roccia ha comunque sviluppato una propria ricetta per la produzione di bricchetti.

Questo tipo di procedimento presenta diversi aspetti positivi:

- Si riduce la quantità di rifiuti inviati a smaltimento;
- Si riduce la quantità di materia prima necessaria per la produzione di lana di roccia che viene sostituita dai bricchetti;
- Si riduce la quantità di energia necessaria per la fusione poiché una parte dei materiali è già stata sottoposta a tale trattamento.

Ma sono presenti anche degli aspetti negativi:

- La realizzazione di un impianto ad hoc per la bricchettatura è molto costoso;
- È necessario utilizzare materiali poco sostenibili a livello di impatto ambientale per la realizzazione del processo come il cemento.

2.3. *Trattamento dei rifiuti da attività di costruzione, demolizione e ristrutturazione*

I rifiuti di lana di roccia provenienti da attività di costruzione e demolizione arrivano, generalmente, in impianto mescolati ad altri materiali. In fase di ristrutturazione e demolizione generalmente vengono prodotti maggiori quantità di rifiuti (tutto il materiale utilizzato nell'opera diventa rifiuto) rispetto alla fase della costruzione, dove si stima una perdita di circa il 5% del materiale utilizzato (Väntsi & Kärki, 2014). Oltretutto, questo materiale non viene perso del tutto, in quanto essendo ancora puro può essere facilmente riutilizzato in

altri lavori o trattato alla stregua dei residui della fase di taglio nella catena produttiva. Nel caso di ristrutturazione e demolizione il riutilizzo è molto più complicato se non impossibile da realizzare poiché, come già detto, il flusso di materiali provenienti da questo tipo di attività è molto eterogeneo e i materiali dovrebbero essere separati per poter essere gestiti in maniera sostenibile. I residui metallici (come le zanche di fissaggio) potrebbero essere facilmente rimossi tramite l'utilizzo di un separatore magnetico, non vale lo stesso per i residui di intonaco, legno, laterizi e plastica che è possibile incontrare nei rifiuti provenienti da questo tipo di attività.

La soluzione più semplice e più economica attualmente presente per la gestione dei rifiuti di lana di roccia è purtroppo ancora lo smaltimento in discarica. I produttori dei rifiuti li inviano, generalmente, a degli impianti specializzati che procedono a confezionare i rifiuti in *big bags* debitamente etichettate. I materiali vengono, poi, imballati con delle presse stazionarie dedicate e avvolti in materiale termoretraibile. I rifiuti, così confezionati, vengono inviati a impianti dotati di cella dedicata e qui smaltiti. Questa soluzione, sebbene la più economica, è sicuramente la più sconveniente in termini di impatto ambientale. La lana di roccia, nonostante sia fondamentalmente realizzata con materiali naturali, contiene sostanze come formaldeide e fenoli che rischiano di percolare e, in assenza di un adeguato sistema di raccolta del percolato, di inquinare il terreno.

2.4. Tecnologie in fase di sviluppo

A causa della sempre crescente quantità di rifiuti di lana di roccia prodotti, gli operatori del settore si chiedono se esistano soluzioni alternative a quelle esistenti per la gestione di questi materiali.

Tra le soluzioni alternative alle attuali, le più interessanti sono quelle che prevedono l'utilizzo dei rifiuti di lana di roccia come aggiunte nella produzione di miscele a base di cemento e per la produzione di materiali ceramici sinterizzati.

La prima soluzione riguarda l'utilizzo dei rifiuti di lana di roccia come materia prima nella produzione di miscele a base di cemento. In passato, molti altri materiali sono stati utilizzati allo stesso modo. La norma UNI EN 206-1 definisce tali sostanze *aggiunte*. Si tratta di materiali che miscelati al calcestruzzo permettono di migliorarne le proprietà o conferirgli caratteristiche speciali. Tra queste vi so-

no le ceneri volanti, i fumi di silice e tutti i prodotti finissimi ottenuti dalla frantumazione delle rocce calcaree o silicee. Per risolvere il problema dello smaltimento dei rifiuti di lana di roccia e per favorire il riciclo, l'industria del calcestruzzo potrebbe essere, quindi, una soluzione. I conglomerati arricchiti con la lana di roccia presentano caratteristiche leggermente differenti rispetto alle malte tradizionali, la maggior parte dei quali permettono di ottenere materiali più performanti e utili a scopi diversi rispetto a quelli tradizionali (Cheng et al., 2011). Inoltre, non bisogna sottovalutare la riduzione dei costi legati alle materie prime e la minimizzazione dell'impatto ambientale dovuto allo smaltimento dei rifiuti di lana di roccia. È stato dimostrato, infatti, che utilizzando i rifiuti di lana di roccia come aggiunte è possibile sostituire fino al 30% della sabbia necessaria per la produzione delle malte e riciclare fino a 70 kg di lana minerale per tonnellata di conglomerato prodotto (Piña Ramírez et al., 2018).

L'altra possibile soluzione è l'utilizzo dei rifiuti di lana di roccia per la produzione di materiali ceramici sinterizzati. La sinterizzazione è un processo ad alta temperatura con il quale è possibile realizzare prodotti mettendo della polvere di materiale in uno stampo e riscaldandola a temperature molto elevate, ma comunque inferiori a quelle di fusione. Utilizzando rifiuti di lana di roccia è possibile, tramite questo processo, creare materiali ceramici utili alla realizzazione di oggetti di ogni tipo. Pranckevičienė (Pranckevičienė, 2011) ha studiato una tecnologia per la produzione di materiali ceramici sinterizzati utilizzando illiti a basso punto di fusione e i rifiuti di lana di roccia provenienti dalla fase di fibraggio. Per realizzare il processo di sinterizzazione è necessario utilizzare sostanze non plastiche e fondenti in modo da poter ottenere ceramiche con buone qualità chimico-fisiche. I rifiuti di lana di roccia rappresentano le sostanze non plastiche, mentre la sostanza fondente è, generalmente, la nefelina sienite. Uno dei problemi principali riscontrati durante questo studio è che i rifiuti di lana di roccia contengono fenoli e formaldeide che devono essere neutralizzati. Pranckevičienė riporta come i fenoli presenti nei rifiuti di lana di roccia possano essere facilmente neutralizzati utilizzando perossido di idrogeno e solfato ferroso come catalizzatore. La formaldeide, invece, può essere neutralizzata tramite l'utilizzo di una soluzione acquosa al 20% di fosfato di diammonio e urea. A seguito della neutralizzazione delle sostanze, i ri-

fiuti di lana di roccia diventano degli additivi non plastici idonei per la riduzione della plasticità delle illiti. Chen et al. (Chen et al., 2019) hanno invece studiato una tecnologia per la realizzazione di schiume ceramiche sinterizzate utilizzando i rifiuti di lane minerali e il carburo di silicio come agente schiumogeno. Le schiume ceramiche prodotte possono essere utilizzate come materiale isolante. La qualità delle schiume ceramiche varia in funzione della quantità di rifiuti utilizzati per realizzarle. È stato dimostrato come schiume ceramiche prodotte a partire da una miscela contenente il 40% in peso di rifiuti di lane minerali presentano le caratteristiche migliori rispetto ad altre schiume contenenti diversi quantitativi di questi rifiuti. Contenuti troppo bassi o troppo alti di rifiuti determinano una troppo bassa o troppo alta densità apparente. La qualità di queste schiume dipende inoltre anche da altri parametri quali la temperatura di processo, il contenuto di agente schiumogeno e il tempo e la velocità di riscaldamento.

3. ANALISI QUANTITATIVA DELLA PRODUZIONE DI RIFIUTI DI LANA DI ROCCIA

3.1. Descrizione dell'analisi e dei dati

I contesti considerati per l'analisi quantitativa realizzata sono quelli europeo, nazionale e regionale (in particolare, si fa riferimento alla Regione Lombardia).

A livello europeo attualmente non esiste un database che riporti specificatamente il flusso di rifiuti di lana di roccia prodotti. Tuttavia, grazie a un modello matematico da applicare ai dati di produzione di lane minerali è possibile stimare la produzione di rifiuti di lana di roccia provenienti dalle attività di costruzione, demolizione e ristrutturazione nell'area EU28. Il modello considerato è quello sviluppato da Müller et al. (Müller et al., 2009). Questo modello nasce per la stima della produzione dei rifiuti di lane minerali e si basa su due ipotesi fondamentali:

- le lane minerali hanno una vita utile media di 30 anni;
- gli scarti nella fase di installazione si assestano al 5% dei materiali utilizzati.

Sulla base di queste ipotesi il volume totale di rifiuti di lane minerali nell'anno i -esimo V_i è pari a:

$$V_i = 0,95 \cdot P_{i-30} + 0,05 \cdot P_i$$

dove P_i è il volume di lane minerali prodotte nell'anno i -esimo e P_{i-30} è il volume di lane minerali prodotte nell'anno $i-30$.

Il primo termine di questa relazione rappresenta il volume di rifiuti prodotti dalle attività di ristrutturazione e demolizione, mentre il secondo termine rappresenta il volume di rifiuti prodotti dalle attività di costruzione.

Per poter applicare il modello per la stima dei rifiuti di lana di roccia si può aggiungere una nuova ipotesi, secondo cui la quantità di lana di roccia prodotta, durante l'arco temporale considerato, corrisponde al 70% del totale delle lane minerali prodotte. La Commissione Europea ha stimato, infatti, che la lana di roccia prodotta corrisponde al 70% della produzione totale di lana minerale, mentre il rimanente 30% sono le altre lane minerali come la lana di vetro (Väntsi & Kärki, 2014). Tenendo conto di questa ipotesi si può allora dire che il volume totale di rifiuti di lana di roccia $V_{RW,i}$ prodotti nell'anno i -esimo sarà pari a:

$$V_{RW,i} = 0,95 \cdot (0,7 \cdot P_{i-30}) + 0,05 \cdot (0,7 \cdot P_i) = 0,7 \cdot V_i$$

Partendo dai dati di produzione della lana di roccia al codice PRODCOM 23991910 estratti dal database dell'ufficio statistico dell'Unione Europea (Eurostat) (Tabella 2), il primo step dell'analisi è rappresentato dalla realizzazione di una regressio-

Tabella 2 – Produzione di lane minerali nell'area EU28 (Eurostat)

Anno	Quantità di lane minerali prodotte [t]
2003	2.249.394
2004	2.429.827
2005	1.980.025
2006	2.284.268
2007	2.486.572
2008	2.557.969
2009	2.166.509
2010	2.175.836
2011	2.468.638
2012	2.558.417
2013	2.448.619
2014	2.430.740
2015	2.460.601
2016	2.524.589
2017	2.673.860
2018	2.825.389

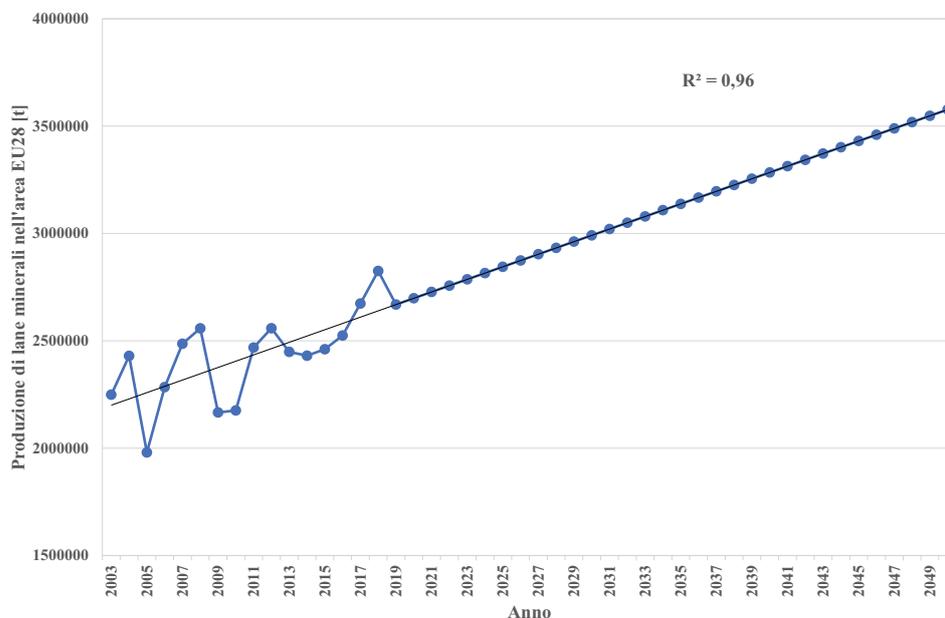


Figura 4 – Regressione lineare dei dati di produzione delle lane minerali nell'area EU28

ne lineare su tali dati (Figura 4). È di immediata visione il trend crescente della retta che presenta oltretutto un buon valore di R^2 .

Per la stima della produzione di rifiuti di lana di roccia provenienti dagli impianti di produzione, poiché sia gli scarti provenienti dalle fasi di alimentazione che di taglio vengono reimmessi nel ciclo produttivo, vengono considerati i soli rifiuti provenienti dalla fase di fibraggio, che ammontano al 14,1% dell'output totale. Si è, inoltre, supposto che, verosimilmente, nell'orizzonte temporale considerato, l'efficienza di un impianto pro-

duuttivo si manterrà costante. Tenendo conto di queste considerazioni e utilizzando i dati di produzione ottenuti dalla regressione lineare, è possibile stimare la quantità di rifiuti prodotti nella fase di produzione nell'area EU28 nell'arco di tempo che va dal 2033 al 2050.

A livello nazionale, non essendo presenti impianti per la produzione di lana di roccia, non è possibile avere un database per la produzione. Inoltre, i dati di vendita di questo materiale in Italia sono discontinui (Figura 5), quindi non è stato possibile stimare la produzione di rifiuti di lana di roccia.

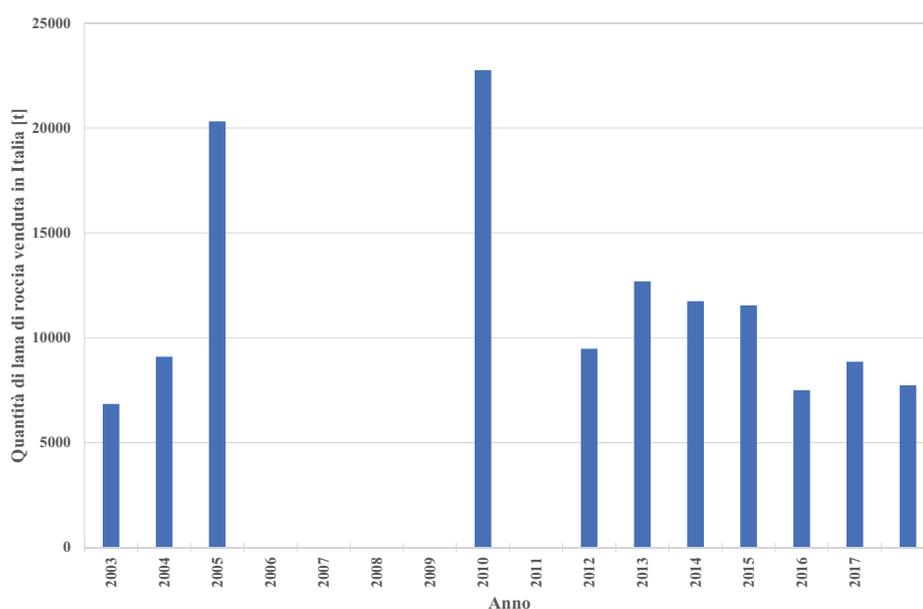


Figura 5 – Quantità di lana di roccia venduta in Italia (Eurostat)

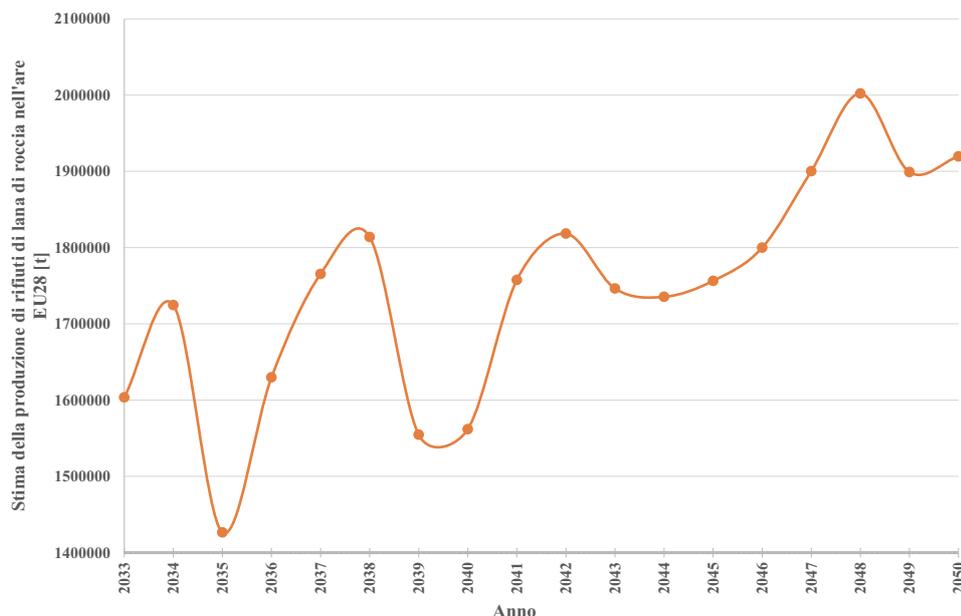


Figura 6 – Stima della produzione di rifiuti di lana di roccia nell'area EU28 provenienti dalle attività di costruzione, demolizione e ristrutturazione

A livello regionale si è voluta valutare la situazione attuale in modo da poter capire in che modo vengano gestiti i rifiuti di lana di roccia. Con questa analisi si è tentato di capire se effettivamente le modalità di riciclo attualmente esistenti siano applicate o se il destino di tali rifiuti sia lo smaltimento. Anche per il contesto regionale non esiste un database che riporti la quantità di lana di roccia prodotta, tuttavia è stato possibile analizzare i dati forniti da Arpa Lombardia relativi alla gestione dei rifiuti classificati al CER 17 06 04 nell'anno 2017. Poiché i materiali contenenti sostanze pericolose non possono essere considerati se si vuole fare un'analisi sulle possibilità di riciclo/recupero/riuso dei rifiuti, i rifiuti classificati al codice CER 17 06 03*, cioè quelli costituiti o contenenti sostanze pericolose, non sono stati qui considerati.

4. RISULTATI

Applicando il modello descritto precedentemente ai dati ottenuti, è stato possibile stimare la produzione di rifiuti di lana di roccia nell'area EU28 dal 2033 al 2050 provenienti dalle attività di costruzione, demolizione e ristrutturazione (Figura 6). È importante notare che la stima parte dall'anno 2033 perché è il primo anno per il quale è disponibile il dato P_{i-30} della produzione di lana di roccia (anno 2003). La curva presenta un andamento crescente con un aumento totale del 19,7% nell'orizzonte temporale considerato e un incremento medio annuale della produzione di rifiuti pari all'1,4%. Per quanto riguarda, invece, i rifiuti provenienti dagli impianti di

produzione di lana di roccia, tenendo conto delle ipotesi precedentemente descritte, è stato possibile stimare la produzione di rifiuti di lana di roccia nel periodo che va dal 2033 al 2050 (Figura 7, a pagina seguente). Dal grafico è evidente una crescita lineare della produzione di rifiuti di lana di roccia. I dati mostrano un aumento nella produzione pari al 16,2% nell'intervallo di tempo analizzato, con un incremento medio annuo pari allo 0,95%. È importante, però, considerare che nel caso degli impianti di produzione, la quantità di rifiuti prodotti è strettamente legata all'efficienza con cui viene realizzato l'intero processo. Se un impianto produttivo fosse provvisto di una macchina di fibraggio che garantisse perdite di materiale minore, la quantità di rifiuti prodotti sarebbe più bassa.

Sommando le quantità di rifiuti di lana di roccia stimate, è possibile ottenere la stima totale dei rifiuti che saranno prodotti nell'area EU28 tra il 2033 e il 2050 (Figura 8, a pagina seguente). In questo arco di tempo si avrà un incremento della produzione di rifiuti pari al 19,0% con un incremento medio annuo pari all'1,1%.

Per il contesto regionale, Arpa Lombardia ha fornito i dati MUD relativi agli impianti in regione che nel 2017 hanno gestito rifiuti classificati al codice CER 17 06 04. La quantità totale di rifiuti trattati è risultata pari a 11.200,5 t e gli impianti 153. Gli impianti sono stati divisi in funzione delle operazioni che svolgono. In particolare, si distinguono 107 impianti che realizzano operazioni di recupero (Figura 9, a pagina seguente) e 46

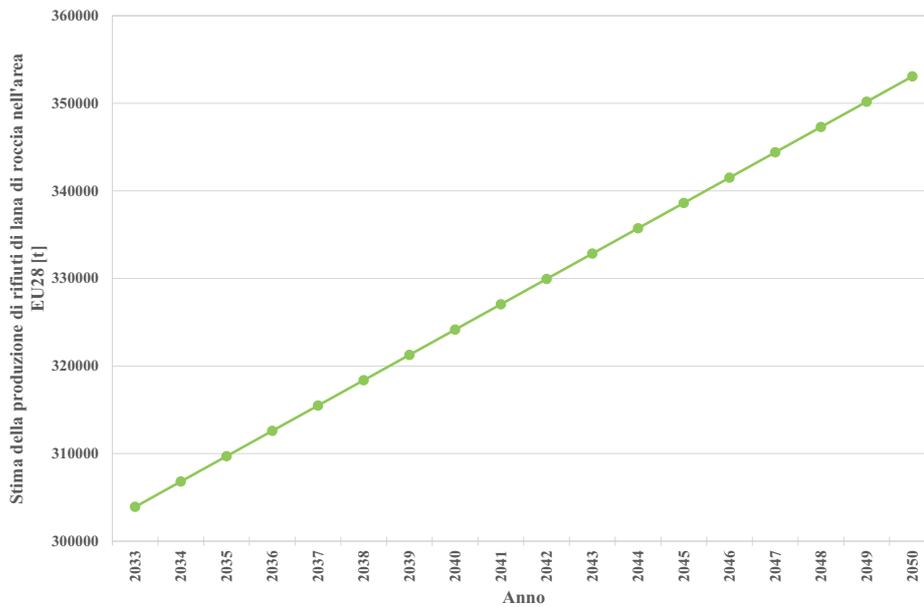


Figura 7 – Stima della produzione di rifiuti di lana di roccia nell'area EU28 provenienti dagli impianti di produzione

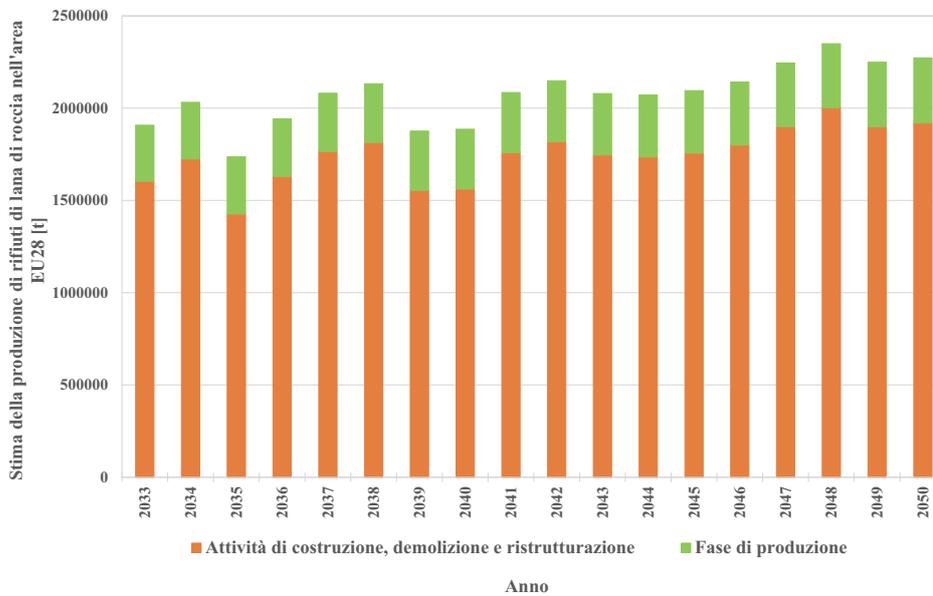


Figura 8 – Stima della produzione totale di rifiuti di lana di roccia nell'area EU28

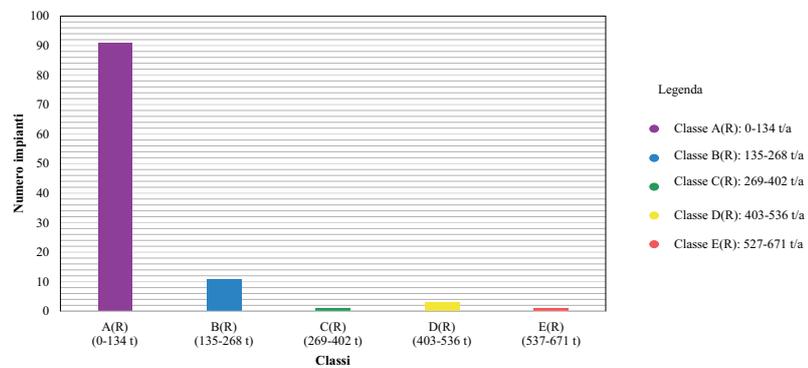
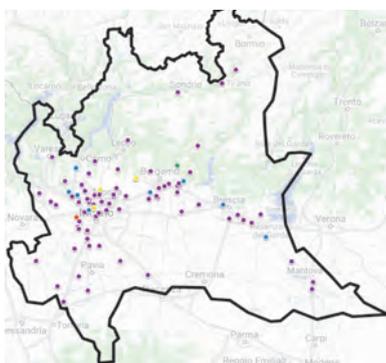


Figura 9 – Posizione e distribuzione di frequenza degli impianti che realizzano operazioni di recupero (R) del CER 170604 presenti sul territorio lombardo suddivisi in classi in funzione delle quantità di materiali trattati nell'anno 2017

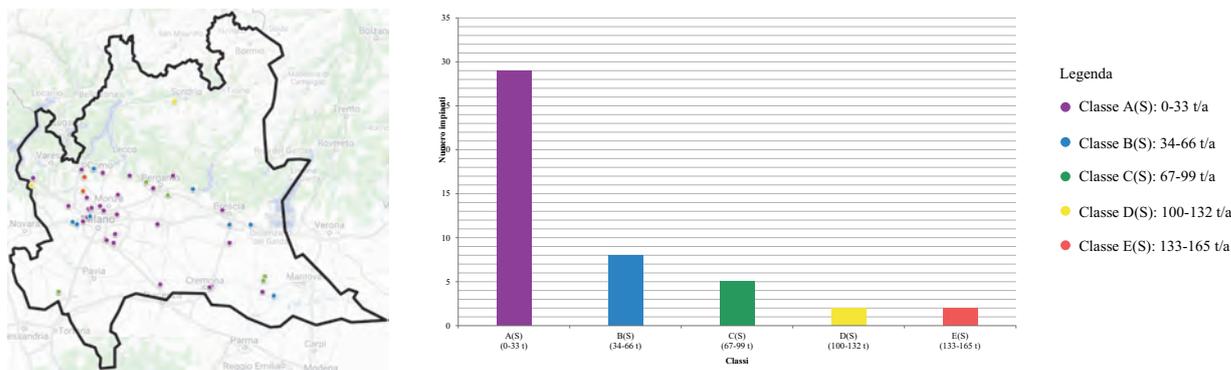


Figura 10 – Posizione e distribuzione di frequenza degli impianti che realizzano operazioni di smaltimento (S) del CER 170604 presenti sul territorio lombardo suddivisi in classi in funzione delle quantità di materiali trattati nell’anno 2017

impianti che effettuano operazioni di smaltimento (Figura 10). Sia per le operazioni di recupero che di smaltimento, la maggior parte degli impianti tratta piccole quantità di rifiuti. Per il recupero, appartengono alla classe 0-134 t/a, infatti, 91 impianti mentre è solo uno quello appartenente alla classe 527-671 t/a. Analogamente, per lo smaltimento, sono 29 gli impianti appartenenti alla classe 0-33 t/a e solo 2 quelli appartenenti alla classe 133-165 t/a.

In Figura 11 e Figura 12 sono riportate le quantità di materiali trattate per ciascuna operazione.

Per quanto riguarda le operazioni di recupero vengono trattate con queste modalità 7.217,5 t cioè il 64,4% del totale. La maggior parte dei rifiuti sono destinati all’operazione R12 (66,7%) e R13 (23,7%) cioè vengono scambiati o messi in riserva in attesa di essere sottoposti a una delle altre operazioni. Gli impianti che dichiarano di compiere queste operazioni, quindi, prelevano i rifiuti ma

non realizzano alcuna operazione di trasformazione degli stessi.

Sono destinati allo smaltimento, invece, 3.983,0 t di rifiuti pari al 35,6% del totale. La maggior parte degli impianti realizza l’operazione di smaltimento D15 (66,3%) che prevede il deposito preliminare prima di realizzare una delle altre operazioni di smaltimento.

Ciascun impianto, inoltre, realizza tali operazioni svolgendo diverse attività. Si possono distinguere a tal proposito diversi tipi di impianti:

- impianti per il recupero di materia;
- impianti per il deposito preliminare dei rifiuti;
- discariche;
- impianti di smaltimento;
- impianti per la messa in riserva dei rifiuti;
- impianti che realizzano trattamenti chimico-fisico-biologici;
- coinceneritori;
- altri.

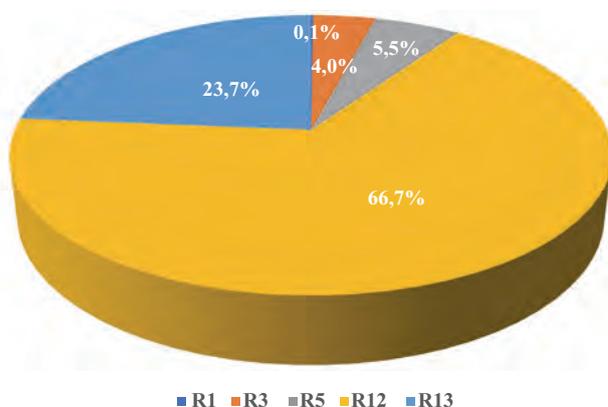


Figura 11 – Quantità di rifiuti classificati alla voce 17 06 04 del CER destinati alle operazioni di recupero nella Regione Lombardia nell’anno 2017

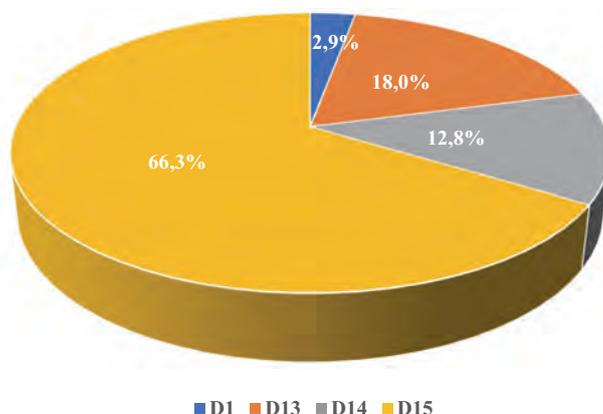


Figura 12 – Quantità di rifiuti classificati alla voce 17 06 04 del CER destinati alle operazioni di smaltimento nella Regione Lombardia nell’anno 2017

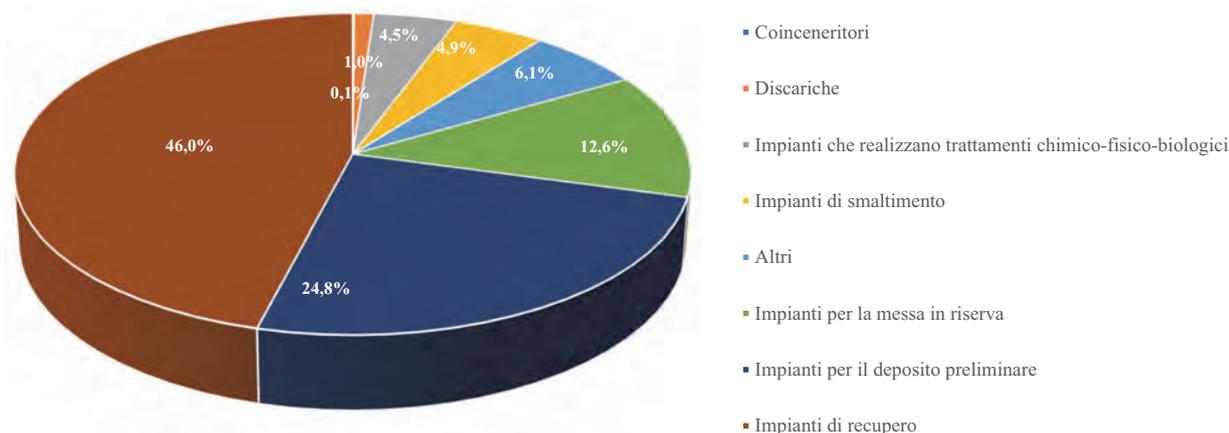


Figura 13 – *Quantità di rifiuti classificati alla voce 17 06 04 del CER trattati per ciascuna tipologia di impianto nella Regione Lombardia nell'anno 2017*

In Figura 13 sono riportate le quantità di rifiuti trattati da ciascuna tipologia di impianto. La maggior parte (46%) viene gestita da impianti che realizzano operazioni di recupero di materia.

5. CONCLUSIONI

L'analisi svolta ha permesso di stimare la produzione di rifiuti di lana di roccia nell'area EU28 dal 2033 al 2050: in particolare, in questo arco di tempo, si avrà un incremento della produzione di tale tipologia di rifiuti pari al 19,0% con un incremento medio annuo pari all'1,1%. È prevista quindi una crescita nella produzione di rifiuti di lana di roccia e ciò, con notevole probabilità, potrebbe rappresentare una grossa sfida per la gestione di questa tipologia di rifiuti. Riguardo al contesto regionale, grazie all'analisi quantitativa svolta sui dati MUD forniti da Arpa Lombardia, si è ottenuto che la quantità totale di rifiuti classificati al codice CER 17 06 04 trattati nel 2017 è pari a 11.201 t, di cui 7.218 t (ossia il 64,4%) sono destinati a recupero e 3.983 t (pari al 35,6%) a smaltimento. In realtà però la maggior parte dei rifiuti a recupero sono destinati all'operazione R12 e R13, cioè vengono scambiati o messi in riserva in attesa di essere sottoposti a una delle altre operazioni di recupero: gli impianti che ricevono i rifiuti, quindi, prelevano i rifiuti ma non realizzano alcuna operazione di trasformazione degli stessi.

Esistono oggi alcune valide soluzioni per la gestione di questi rifiuti, quali il riutilizzo come materie prime e la bricchettatura. Attualmente, però, queste strade risultano poco battute poiché molto più dispendiose del semplice smaltimento in discarica. Inoltre, la quantità di rifiuti trattabi-

le è molto limitata poiché tali rifiuti vanno ad abbassare la qualità della lana di roccia nel primo caso e a generare problemi in fornace nel secondo. La bricchettatura, inoltre, determina un aumento nei costi di produzione dato che la produzione di bricchetti, da utilizzare in sostituzione delle materie prime, è molto più costosa delle operazioni di estrazione e trasporto in impianto della roccia.

Alcuni studi hanno analizzato soluzioni alternative a quelle attualmente esistenti. Queste riguardano l'utilizzo dei rifiuti di lana di roccia come aggiunte per i conglomerati o come additivo nella produzione di materiali ceramici sinterizzati. Tali soluzioni sono molto interessanti, ma presentano una limitazione, cioè che i rifiuti di lana di roccia per poter essere utilizzati debbano essere il più possibile puri, ossia privi di sostanze contaminanti. E questo si scontra con la realtà esistente in cui i rifiuti di lana di roccia provenienti dalle attività di costruzione, demolizione e ristrutturazione, che sono i più abbondanti, contengono al loro interno intonaci, legno, laterizi e plastica che quindi possono interferire negativamente con un eventuale processo di riciclo. La soluzione potrebbe essere quella di favorire sempre di più una demolizione selettiva che permetta di creare flussi di materiali ben distinti e privi di sostanze contaminanti. Questa tecnica sarebbe molto efficiente nel caso di pareti ventilate, in cui è molto più semplice separare le singole unità componenti la struttura rispetto alle altre metodologie utilizzate per la realizzazione dell'isolamento a cappotto. Tuttavia, questo tipo di demolizione è complicata da attuare e non garantisce che i rifiuti siano perfettamente puliti, se non nel caso di pareti ventilate. Sarebbe neces-

sario valutare in che modo le contaminazioni dei rifiuti di lana di roccia possano interferire con i processi e, eventualmente, creare una soluzione alternativa con la quale si possano ovviare queste problematiche.

Un'altra problematica emersa dallo studio è rappresentata dal fatto che in Italia i rifiuti di lana di roccia non vengono distinti dagli altri rifiuti di materiali isolanti e sono quindi raccolti insieme e inviati allo stesso trattamento. Questi materiali non hanno però tutti le stesse caratteristiche e dovrebbero pertanto essere trattati in maniera differente con norme ad hoc per ciascuna tipologia. Sarebbe quindi auspicabile un miglioramento nella gestione dei rifiuti dei materiali isolanti derivanti dalle attività di costruzione, demolizione e ristrutturazione.

Per quanto riguarda i rifiuti provenienti dalla fase di produzione della lana di roccia, quelli prodotti durante la fase di fibraggio sono i più difficili da gestire, nonché quelli generati in quantità maggiore. Durante tale processo quasi il 15% del prodotto viene perso. Questo materiale è ricco di leganti (formaldeide e fenoli) che limitano le possibilità di recuperarlo. La soluzione ideale sarebbe quella di migliorare l'efficienza dell'impianto allo scopo di limitare le perdite. In Italia, comunque, questo problema non ha grossa rilevanza poiché non sono presenti sul territorio nazionale impianti di produzione di lana di roccia, ma potrebbe rappresentare una grande sfida nel contesto europeo in cui sono presenti svariate aziende produttive.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- IARC (International Agency for Research on Cancer) (2002). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans: Volume 81-Man-Made Vitreous fibres. Lione, Francia: IARCPress.
- TIMA (Thermal Insulation Manufacturers Association) (1993) Man-made Vitreous Fibers: Nomenclature, Chemical and Physical Properties, 4th Ed., Eastes, W., ed., Nomenclature Committee of Thermal Insulation Manufacturers' Association, Refractory Ceramic Fibers Coalition (RCFC), Washington, DC.
- Assuncao J. e Corn M. (1975) The effects of milling on diameters and lengths of fibrous glass and chrysotile asbestos fibers., *Am. ind. Hyg. Assoc. J.*, 36, 811-819
- F.I.V.R.A. (2016) Fibre Artificiali Vetrose (FAV) – Aggiornamento delle linee guida del Ministero della Salute.

Gamma Meccanica (2020), Impianti per la produzione di lana di roccia.

<https://www.gamma-meccanica.it/>

Širok B., Bizjan B., Orbanic A. e Bajcar T., (2014) Mineral wool melt fiberization in a spinner wheel, *Chemical Engineering Research and Design*.

Väntsi O. e Kärki T. (2014) Mineral wool waste in Europe: a review of mineral wool waste quantity, quality, and current recycling methods, *J Mater Cycles Waste Manag* 16, 62-72.

Cheng A., Lin W.T. e Ran H. (2011), Application of rock wool waste in cement-based composites, *Materials & Design*, vol. 32, Issue 2, pp. 636-642.

Piña Ramírez C., Atanes Sánchez E., Del Río Merino M., Viñas Arrebola C. e Vidales Barriguete A. (2018) Feasibility of the use of mineral wool fibres recovered from CDW for the reinforcement of conglomerates by study of their porosity, *Construction and Building Materials*, vol. 191, pp. 460-468.

Pranckevičienė J. (2011) Impact of mineral wool production waste on properties of sintered ceramics, *Summaries of Doctoral Thesis*, eLABa – Lithuanian Academic Electronic Library.

Chen Z., Wang H., Ji R., Liu L., Cheeseman C.R. e Wang X. (2019) Reuse of mineral wool waste and recycled glass in ceramic foam, *Ceramics International*, vol. 45, Issue 12, pp. 15057-15064.

Müller A., Leydolph B. e Stanelle K. (2009) Recycling mineral wool waste – Technologies for the conversion of the fiber structure, Part I, *Interacem*, pp. 58:378-381.

Arpa Lombardia, dati forniti.

7. RIFERIMENTI NORMATIVI

Regolamento (CE) n.1272/2008 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele che modifica e abroga le direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE e che reca modifica al Regolamento (CE) n. 1907/2006. *Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L. 353/1 del 31 dicembre 2008*.

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 Norme in materia ambientale. *Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006*.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'Arpa Lombardia per i dati forniti necessari per l'analisi. Si ringraziano, inoltre, i responsabili delle aziende e degli impianti di trattamento dei rifiuti per le informazioni fornite.

UN MODELLO IBRIDO EULERIANO-LAGRANGIANO PER LA QUALITÀ DELL'ARIA E LA STIMA DEL CONTRIBUTO DELLE SORGENTI IN AMBITO URBANO: CASO STUDIO PER IL CENTRO DI MILANO

Giovanni Lonati^{1,*}, Nicola Pepe^{1,2}, Guido Pirovano², Alessandra Balzarini², Anna Toppetti², Giuseppe Maurizio Riva²

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Milano, Milano.

² RSE Spa, Milano.

Sommario – Il lavoro discute le potenzialità applicative di un sistema modellistico ibrido, sviluppato combinando un modello di tipo euleriano, applicato alla scala regionale, con un modello lagrangiano, applicato alla scala locale, tanto per la stima dei livelli di concentrazione di inquinanti atmosferici in area urbana quanto del contributo delle diverse sorgenti di emissioni a tali livelli. Nel dettaglio il sistema è costituito dal modello euleriano CAMx e dal modello lagrangiano AUSTAL2000, insieme con i modelli WRF e TALdia per la predisposizione dei relativi dati meteorologici in ingresso, e dal modello SMOKE, per l'elaborazione e la predisposizione dei dati emissivi a partire dagli inventari delle emissioni. L'applicazione presentata si riferisce ad un caso di studio relativo al centro di Milano per le concentrazioni atmosferiche di materiale particolato fine (PM_{2.5}) e di biossido di azoto (NO₂), inquinanti che determinano le principali criticità per il rispetto dei limiti di qualità dell'aria. I risultati mostrano una buona capacità di ricostruzione dei campi di concentrazione ad elevata risoluzione spaziale in ambito urbano, coerentemente con la struttura dell'ambiente costruito che influenza tanto la distribuzione spaziale delle sorgenti, nella fattispecie la struttura del reticolo stradale, quanto le modalità di dispersione delle loro emissioni. Il confronto con i dati osservati mostra tuttavia delle carenze nella corretta ricostruzione dei livelli di concentrazione, soprattutto nel caso delle polveri, non tanto nei valori medi annui quanto piuttosto negli andamenti giornalieri, in particolare nel periodo invernale, quando la componente meteorologica del sistema fatica a riprodurre la persistenza di condizioni di stabilità atmosferica che favoriscono l'accumulo degli inquinanti.

Parole chiave: qualità dell'aria, modelli, aree urbane, contributo sorgenti, PM_{2.5}, NO₂.

A HYBRID EULERIAN-LAGRANGIAN MODEL FOR AIR QUALITY AND SOURCE APPORTIONMENT IN URBAN AREAS: CASE STUDY FOR MILAN CITY CENTRE

Abstract – The work discusses the applicative potential of a hybrid modeling system, developed by combining an Eulerian model, applied to the regional scale, with a Lagrangian model, applied to the local scale, for the

assessment of the concentration levels of atmospheric pollutants in urban areas, as well as of the contribution of the different emission sources to these levels. In detail, the system consists of the Eulerian model CAMx and the Lagrangian model AUSTAL2000, together with the WRF and TALdia meteorological models, and of the SMOKE model for the processing and preparation of emission input data, starting from emissions inventories. The application presented refers to a case study for the center of Milan, focusing on fine particulate matter (PM_{2.5}) and nitrogen dioxide (NO₂), pollutants that determine the main critical issues for compliance with the air quality limits. The results show a good ability in reconstructing concentration fields with high spatial resolution in the urban environment, consistently with the structure of the built environment, which influences both the spatial distribution of the sources, in this case the structure of the road network, as well as the dispersion of their emissions. However, the comparison with the observed data shows limitations in the correct reconstruction of the concentration levels, especially in the case of PM. These limitations do not affect so much the annual average values but rather the daily trends, particularly in the winter period, when the meteorological component of the system hardly reproduces the persistence of atmospheric stability conditions that favor the accumulation of atmospheric pollutants.

Keywords: air quality, models, urban areas, source apportionment, PM_{2.5}, NO₂.

Ricevuto il 19-11-2020. Modifiche sostanziali richieste il 17-12-2020. Accettazione il 29-12-2020.

1. INTRODUZIONE

I modelli di dispersione atmosferica sono strumenti utili per valutare la qualità dell'aria e il contributo delle fonti di emissione ai livelli di concentrazione di inquinanti nelle aree urbane (Ciarelli et al., 2017; Squizzato et al., 2017; Pirovano et al., 2015). La direttiva 2008/50/CE sulla qualità dell'aria (Unione Europea, 2008) definisce una serie di situazioni, per quanto riguarda il rispetto dei limiti di qualità dell'aria, in cui i modelli possono essere applicati per la valutazione in sostituzione o in combinazione con misurazioni fisse. Infatti, le reti di monitoraggio della qualità dell'aria

* Per contatti: P.zza L. da Vinci 32, 20133 Milano. Tel. 02 23996430; fax 02 23996499.
E-mail: giovanni.lonati@polimi.it

forniscono dati accurati di concentrazione nei siti di misurazione che, tuttavia, per il loro numero limitato potrebbero non riuscire a valutare pienamente l'effettiva qualità dell'aria nell'intera area urbana, anche se localizzati in contesti presumibilmente rappresentativi dei diversi microambienti urbani (ad esempio: siti di fondo urbano, siti esposti al traffico urbano, aree residenziali) (Duyzer et al., 2015). In particolare, integrando i dati sulla qualità dell'aria nei siti di misurazione fissi, la modellistica può essere utilizzata in modo redditizio per ottenere informazioni ad elevata risoluzione spaziale, soprattutto nel caso di studi di tipo epidemiologico (Zou et al., 2019). Inoltre, i risultati delle simulazioni modellistiche possono anche essere utilizzati per effettuare stime del contributo delle sorgenti, il cosiddetto *source apportionment*, solitamente sviluppate con modelli al recettore basati su tecniche statistiche come il *Chemical Mass Balance* (CMB) e la *Positive Matrix Factorization* (PMF) (Hopke, 2016; Belis et al., 2014), specialmente nel caso del materiale particolato.

In generale, l'affidabilità degli approcci modellistici dipende fortemente dall'accuratezza degli inventari delle emissioni, a sua volta dipendente dai fattori di emissione, dai dati di attività e dalla risoluzione spaziale (López-Aparicio et al., 2017; van der Gon et al., 2015; Guevara et al., 2014). Inoltre, essi richiedono ampie basi di dati meteorologici, derivabili da modelli meteorologici sia diagnostici sia prognostici, necessari per una corretta ricostruzione del movimento delle masse d'aria da cui dipendono il trasporto e la diffusione degli inquinanti (Bessagnet et al., 2016; Pernigotti et al., 2012). Nello specifico, la modellistica della qualità dell'aria nelle aree urbane incontra una serie di ulteriori criticità determinate da diversi aspetti:

- gli inquinanti di interesse possono essere di natura secondaria, come O_3 e, parzialmente, NO_2 e particolato fine (PM), richiedendo pertanto l'utilizzo di modelli in grado di trattare le trasformazioni chimico fisiche che portano alla loro formazione a partire dai precursori;
- nel caso di molti inquinanti di interesse, in particolare per quelli di natura secondaria, i livelli di concentrazione non sono solo dovuti alle emissioni locali, ma sono anche determinati dalle emissioni nei dintorni o, in alcune circostanze, nell'intera regione dell'area urbana. In letteratura alcuni approcci descrivono le concentrazioni di inquinanti atmosferici nelle aree urbane

come il risultato di tre contributi sovrapposti: un background regionale, che rappresenta il livello di base nei dintorni dell'area urbana, un background urbano, che rappresenta l'incremento di concentrazione dovuto all'emissione del complesso dell'area urbana stessa ed il contributo su piccola scala spaziale delle fonti di emissione locali (Lenschow et al., 2001);

- la distribuzione spaziale delle due principali fonti di emissione nelle aree urbane, traffico stradale e riscaldamento degli ambienti, dipende dalla struttura urbana dell'ambiente costruito che, a sua volta, può influire negativamente sulla dispersione di tali emissioni locali con modificazioni locali delle condizioni del vento indotte dagli edifici e con strutture di canyon urbani che favoriscono l'accumulo di inquinanti.

I modelli euleriani di chimica e trasporto (*Chemical and Transport models* – CTM), applicati per la modellistica della qualità dell'aria su scala regionale, possono far fronte ai primi due aspetti, stimando i livelli di concentrazione di fondo regionale e urbano per gli inquinanti primari e secondari. Tuttavia, a causa delle dimensioni relativamente ampie delle celle della griglia di calcolo, al minimo di 1-2 km ma solitamente dell'ordine di 4-5 km, che si ripercuotono sia sulla distribuzione spaziale delle sorgenti, assunte uniformemente distribuite nelle celle, sia sui valori di concentrazione stimati come valori medi per ogni singola cella, questi modelli non sono in grado di riprodurre adeguatamente il contributo locale delle fonti urbane.

Al contrario, i modelli di dispersione lagrangiana (*Lagrangian Models* – LM) fanno debitamente fronte al terzo aspetto e possono essere utilizzati con profitto per la valutazione del contributo delle fonti locali, specialmente quando è richiesta una modellazione ad alta risoluzione spaziale su scale spaziali relativamente piccole. Infatti, i LM fanno affidamento su una spazializzazione più realistica delle emissioni urbane, distribuite in modo non uniforme risentendo della conformazione della rete stradale (per le emissioni del traffico) e della struttura dell'ambiente costruito (per le emissioni da riscaldamento degli ambienti), e possono tenere conto delle modifiche del campo di vento indotte dagli edifici. Tuttavia, i LM non riescono ad affrontare in maniera opportuna i primi due aspetti sopra citati: salvo rare eccezioni (Zanini et al., 2002), questi modelli non includono moduli completi di chimica di gas e aerosol per la valutazione degli inquinanti secondari e, in generale, non pos-

sono essere utilizzati per la modellazione su scala regionale ad alta risoluzione a causa del carico computazionale che ne deriverebbe.

Per affrontare il problema sono stati proposti e sviluppati approcci “ibridi” che integrano i risultati dei CTM con altri modelli basati su approcci geostatistici che combinano informazioni sull’uso del suolo (*Land Use Regression models* – LUR) con i risultati della modellizzazione euleriana per concentrazioni a lungo termine di NO₂, O₃ e materiale particolato (Cowie et al., 2019; He et al., 2018; Henning et al., 2016; Wang et al., 2016; Akita et al., 2014). In questo modo è possibile riprodurre meglio la variabilità delle concentrazioni all’interno della celle di calcolo, in particolare per quelle corrispondenti ad aree urbane. In questo lavoro, si presenta invece un modello ibrido di tipo deterministico, sviluppato combinando un modello di tipo euleriano, applicato alla scala regionale, con un modello lagrangiano, applicato alla scala locale, per la stima tanto dei livelli di concentrazione in area urbana quanto del contributo delle diverse sorgenti di emissioni a tali livelli. L’applicazione del modello si riferisce ad un caso di studio relativo al centro di Milano, con riferimento alle concentrazioni atmosferiche di materiale particolato fine (PM_{2.5}) e di ossidi di azoto, inquinanti che determinano le principali criticità per il rispetto dei limiti di qualità dell’aria.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Struttura del modello ibrido

Il modello ibrido sviluppato è costituito da tre componenti principali, il modello meteorologico WRF (*Weather Research and Forecasting meteorological model* – WRF v3.4.1; (Skamarock et al., 2008)), il modello euleriano CAMx (*Comprehensive Air Quality Model* – CAMx v6.30; (ENVIRON, 2016)), il modello lagrangiano AUSTAL2000 (AUSTAL2000 v2.6.9; (Janicke consulting 2014)), a cui si aggiungono il modello meteorologico TALdia, per la predisposizione dei dati in ingresso ad AUSTAL2000, ed il modello SMOKE (*Sparse Matrix Operator for Kernel Emissions model* – SMOKE v3.5; (UNC, 2013)) per l’elaborazione e la predisposizione dei dati emissivi a partire dagli inventari delle emissioni. (Figura 1).

Per il caso di studio la ricostruzione dei dati meteorologici con il modello WRF è stata effettuata per quattro domini annidati (Europa, Italia, pianura padana, area metropolitana di Milano), di riso-

luzione spaziale crescente (45 km, 15 km, 5 km, e 1.7 km). Le simulazioni con il modello CAMx condotte per i due domini più interni (pianura padana, area metropolitana di Milano) hanno adottato la medesima risoluzione spaziale del modello meteorologico. La simulazione con il modello AUSTAL2000 ha riguardato una cella (1.7x1.7 km²) del dominio dell’area metropolitana di Milano, localizzata nel centro della città, con risoluzione spaziale di 20 m. Tale cella, che comprende Piazza del Duomo e le sue immediate vicinanze, è caratterizzata da una articolata struttura urbanistica, con aree densamente edificate ed un fitto reticolo stradale. In pratica, il modello ibrido stima distintamente una serie di contributi additivi relativi alle sorgenti presenti in determinate regioni emissive del dominio di calcolo, nella fattispecie di questa applicazione la cella di Piazza del Duomo (LOCAL), il comune di Milano (MIL), la provincia di Milano (PRO), la Lombardia (LOM), la pianura padana (POV), e determina quindi i livelli complessivi di concentrazione, considerando anche i contributi delle sorgenti situate al di fuori della pianura padana (trasporto *long range*). Nelle valutazioni condotte attraverso il modello CAMx, l’additività è garantita dall’algoritmo di *source apportionment*, denominato PSAT (Yarwood et al., 2004) che permette di ripartire i contributi delle diverse fonti sia agli inquinanti primari che secondari, preservando la congruenza con la concentrazione totale e senza alterare il carico complessivo emissivo, come avviene invece con l’approccio cosiddetto “*brute force*”, che consiste nel rimuovere la sorgente d’interesse e valutarne il contributo per differenza (Mircea et al., 2020). Nel caso del modello lagrangiano vengono valutati solo contributi di origine primaria e quindi additivi in virtù del loro comportamento lineare (Thunis et al., 2019). Inoltre, per evitare doppi conteggi, ciascuna regione emissiva considera le sorgenti situate entro i suoi confini ad eccezione di quelle situate nelle regioni annidate al suo interno. In particolare, l’area LOCAL viene tracciata sia dal modello CAMx sia dal modello lagrangiano. In questo modo il modello CAMx è in grado di valutare il contributo di tutte le regioni emissive senza introdurre alterazioni nel carico complessivo. Successivamente, nella logica dell’approccio ibrido, il contributo “LOCAL” calcolato dal modello euleriano viene sostituito dal corrispondente contributo valutato dal modello lagrangiano. Potendo tenere traccia delle aree di origine dei contributi stimati e delle sorgenti che li generano, il modello

consente di sviluppare stime di *source apportionment* che, oltre ad individuare la fonte, come fanno i modelli al recettore, forniscono anche indicazioni di natura territoriale sulla localizzazione di tali fonti.

I dati di emissione in ingresso ai modelli sono stati derivati dai dati di inventario a tre diversi livelli di risoluzione spaziale: dati del programma europeo di monitoraggio e valutazione (EMEP, <https://www.ceip.at/webdab-emission-database>) disponibili su una griglia regolare di 50x50 km²; dati dell'inventario nazionale italiano ISPRA (<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/inventaria/disaggregazione-dellinventario-nazionale-2015/view>) che fornisce una disaggregazione a livello provinciale; dati degli inventari regionali basati sulla metodologia INEMAR (ARPA Lombardia, 2015) per le regioni Lombardia, Veneto e Piemonte, che forniscono dati dettagliati sulle emissioni a livello di singolo comune. Le simulazioni, sviluppate per l'anno di riferimento 2010, hanno riguardato le emissioni di ossidi di azoto e di materiale particolato PM_{2.5}. Ulteriori dettagli sull'approccio modellistico ibrido e sulle configurazioni dei modelli WRF, CAMx e AUSTAL2000, sui dati meteorologici ed emissivi, e sugli schemi chimici adottati, sono riportati in Pepe et al., 2016, insieme con la validazione del modello per l'anno solare 2010 attraverso il confronto tra i risultati del modello e le misurazioni presso le stazioni meteorologiche e di qualità dell'aria.

3. RISULTATI

3.1. Stima delle concentrazioni

Le modalità di esecuzione della simulazione con la componente euleriana del modello ibrido portano alla stima di contributi ai livelli di concentrazione generati dalle regioni emissive inizialmente definite. A titolo di esempio, nella Figura 2 (a pagina seguente) si riportano i valori di tali contributi alla concentrazione media annua di PM_{2.5} per le quattro regioni POV, LOM, PRO e MIL. Per la cella dell'area di studio, che coincide con la regione emissiva LOCAL, i quattro contributi così stimati ed il trasporto *long range* determinano il livello di fondo, complessivamente pari a 16,9 µg m⁻³ come media annuale, a cui si aggiunge il contributo delle sorgenti locali, stimato attraverso la componente lagrangiana del modello (Figura 3 a pagina seguente).

Come appare evidente dalla Figura 3, il modello AUSTAL2000 ricostruisce la distribuzione spaziale delle concentrazioni rispecchiando la struttura della rete stradale, con valori medi annui generalmente compresi tra 0,5 µg m⁻³ e 4 µg m⁻³. La concentrazione totale stimata nell'area di studio risulta pertanto dell'ordine di 17,5-21 µg m⁻³. Non disponendo di un modulo per le trasformazioni chimiche, il risultato del modello lagrangiano rappresenta il solo PM_{2.5} di tipo primario, ovvero direttamente imputabile alle emissioni della re-

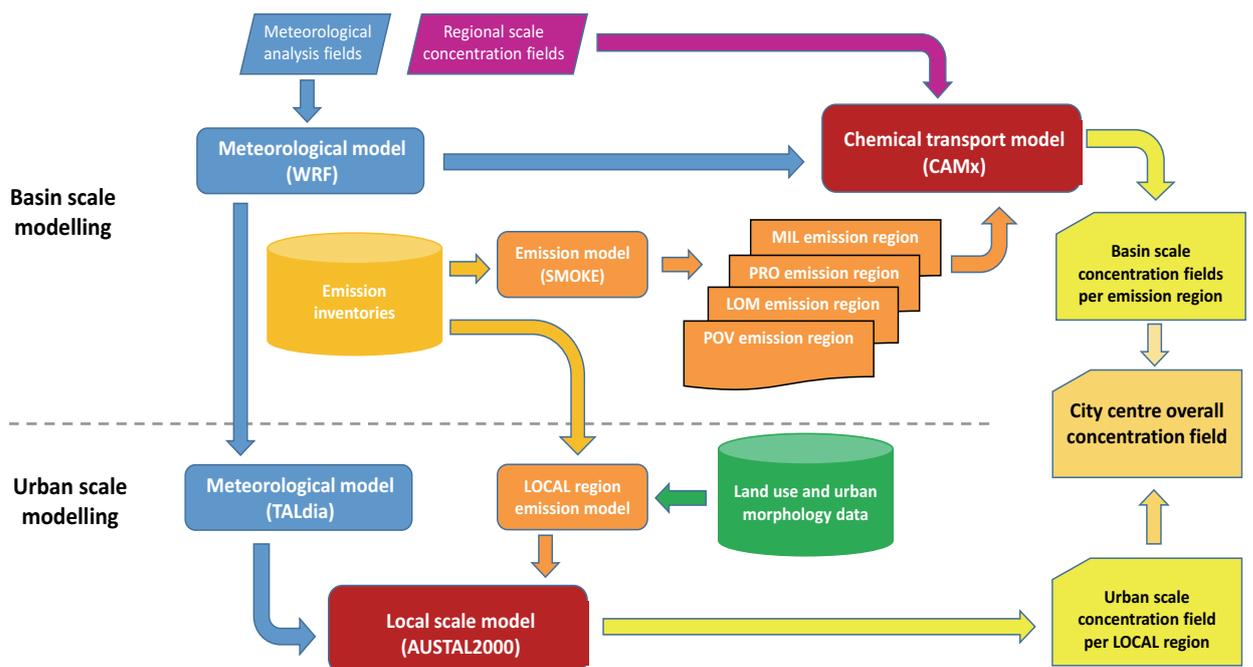


Figura 1 – Struttura del modello ibrido

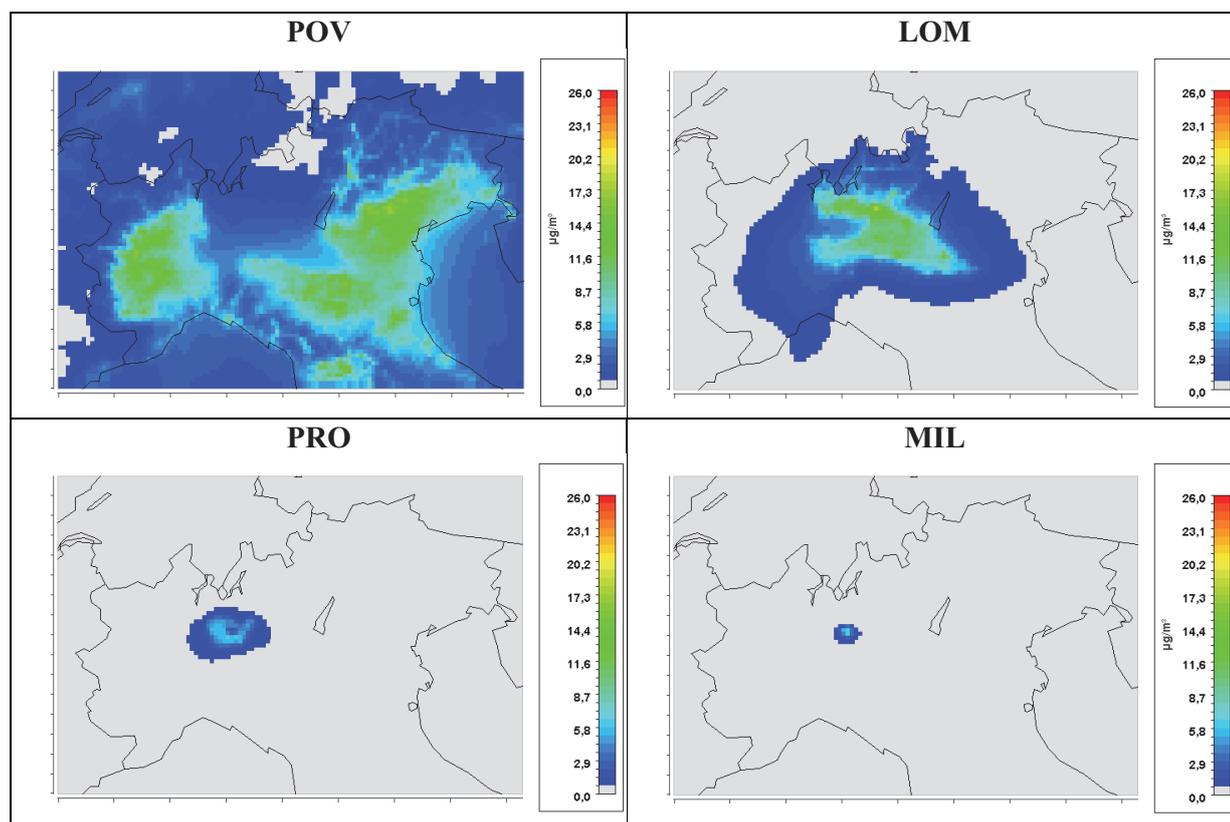


Figura 2 – Contributi alla concentrazione media annuale di PM_{2.5} (µg m⁻³) delle quattro regioni emissive: pianura padana (POV), Lombardia (LOM), provincia di Milano (PRO), comune di Milano (MIL)

gione LOCAL, e trascura la sua componente secondaria formata a partire da precursori gassosi emessi dalla regione stessa; quest'ultima componente, anche secondo indicazioni di letteratura (Amann et al., 2011), potrebbe comunque essere considerata trascurabile. In ogni caso, l'approccio ibrido proposto non trascura il contributo di questa componente secondaria: infatti, l'algoritmo PSAT del modello CAMx permette di tracciare separatamente il contributo al PM_{2.5} secondario dei soli precursori emessi nella regione LOCAL, fornendone una stima come termine medio, ben inferiore a 1 µg m⁻³, uniformemente distribuito, nell'area LOCAL stessa. È opportuno ricordare che la sola simulazione con il modello euleriano terrebbe conto di entrambe le componenti (primaria e secondaria) ma fornirebbe un valore di concentrazione uniforme all'interno di tutta la regione LOCAL, senza così riprodurre gli effetti localizzati, a ristretta scala spaziale, delle emissioni del traffico, in particolare lungo gli assi principali della viabilità, sulla componente primaria del PM_{2.5}. Per l'anno 2010 non sono disponibili misure di PM_{2.5} nell'area di studio con cui validare il risultato della simulazione modellistica. Dati di una stazione di fondo urbano si-

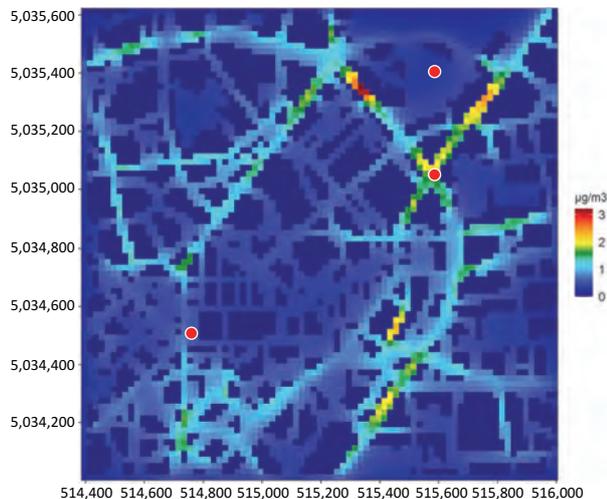


Figura 3 – Distribuzione spaziale nell'area di studio del contributo alla concentrazione media annuale di PM_{2.5} (µg m⁻³) della regione emissiva LOCAL

tuata in posizione più periferica rispetto al centro di Milano indicano una concentrazione media annuale di 25 µg m⁻³, lasciando intendere una potenziale tendenza del modello verso la sottostima dei reali livelli di concentrazione.

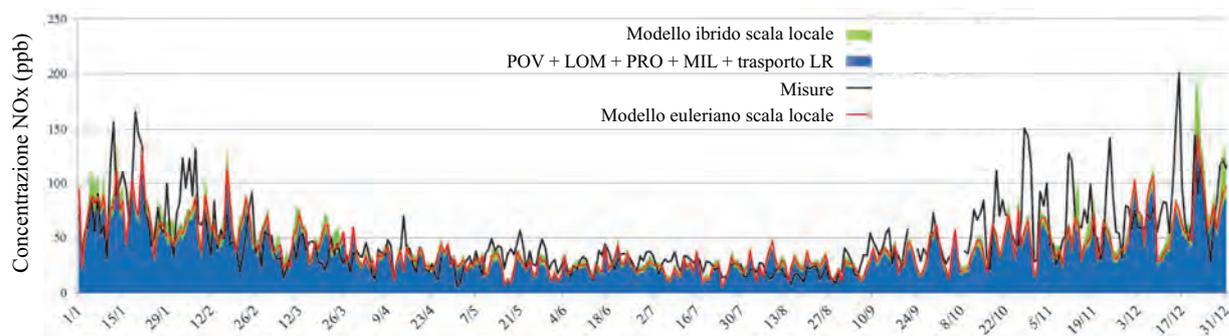


Figura 4 – Andamento temporale delle concentrazioni medie giornaliere di NOx osservate e stimate nella stazione di Milano-Verziere nel 2010.

Per gli NOx sono disponibili i dati misurati in due stazioni di monitoraggio (Milano-Senato e Milano Verziere) situate nell'area di studio del centro di Milano. In Figura 4 sono rappresentati gli andamenti temporali delle concentrazioni medie giornaliere osservate nella stazione di Milano-Verziere insieme con quelli stimati per il livello di fondo (determinato dalle regioni POV, LOM, PRO, MIL e dal trasporto *long range*) e, separatamente, per il contributo dovuto alle sorgenti della regione LOCAL, stimato dal modello euleriano e dal modello lagrangiano. Il primo elemento che emerge dalla Figura 4 è che, nella maggior parte dei casi, la concentrazione totale stimata è principalmente costituita dal contributo di fondo, ovvero è generata dalle fonti situate al di fuori dell'area LOCAL. Ciò conferma che, anche in un'area ad alta emissione come il centro di Milano, la ricostruzione dei livelli di qualità dell'aria necessita di un approccio modellistico in grado di tener conto dell'influenza delle sorgenti in una scala spaziale più ampia del semplice contesto urbano locale. In secondo luogo si nota che anche il modello ibrido non riesce a riprodurre gli episodi acuti di concentrazione tipici del periodo invernale e che, nonostante i risultati presentino un minore scarto medio rispetto alle misure, le sue prestazioni non forniscano miglioramenti notevoli rispetto al solo modello euleriano. Anzi, la correlazione con i valori osservati tende leggermente a diminuire a causa dei picchi di concentrazione prodotti da AUSTAL2000 durante condizioni stabili serali e notturne, evidenziati dall'analisi dell'andamento giornaliero delle concentrazioni orarie. La sovrastima sistematica in tali ore può essere determinata tanto da una non corretta modulazione temporale dell'emissione quanto da una diminuzione troppo forte della turbolenza verticale, soprattutto nel tardo pomeriggio, unita alla diffi-

coltà del modello meteorologico di tenere conto del contributo del riscaldamento antropogenico al bilancio energetico all'interno dell'area urbana. Una discussione più approfondita dei risultati del modello ibrido e della loro comparazione con osservazioni e stime del modello euleriano è riportata in Pepe et al., 2019.

3.2 Stima del contributo delle sorgenti

L'approccio modellistico ibrido consente di sviluppare la stima del contributo delle sorgenti ai livelli di materiale particolato in atmosfera sia tramite stime della composizione chimica nei punti di interesse sia tramite il tracciamento delle emissioni, distinte per settore di attività, a partire dalla localizzazione delle relative sorgenti. Se la prima modalità è analoga a quella dei modelli al recettore, che individuano le sorgenti e ne quantificano il contributo a partire da misure di composizione chimica, la seconda è una peculiarità dei modelli deterministici alla fonte che, in aggiunta, si estende anche agli inquinanti gassosi convenzionali, opportunità invece preclusa ai modelli al recettore. Per la prima modalità i risultati di stima della composizione chimica di PM_{2.5} e del contributo delle sorgenti sono riassunti nelle Tabelle 1 e 2, in cui sono posti in confronto con risultati di analisi sperimentali e di modelli al recettore. Il confronto ha un valore puramente indicativo, perché le misure si riferiscono ad una campagna sperimentale (Amato et al., 2016) condotta nel 2013 a Milano-Torre Sarcia, sito di fondo urbano a 5 km di distanza in linea d'aria da Piazza del Duomo, area alla quale invece si riferiscono i risultati del modello. La grande differenza (Tabella 1) nella concentrazione annua di PM_{2.5} (29,6 $\mu\text{g m}^{-3}$ contro 18,8 $\mu\text{g m}^{-3}$) non è giustificabile solo dal diverso regime di emissione annuale o dai limiti nella modellazione

Tabella 1 – Composizione chimica del PM_{2.5} osservata (campagna di misura AIRUSE, Amato et al., 2016) e modellata

Specie	Misure		Modello	
	Concentrazione ($\mu\text{g m}^{-3}$)	%	Concentrazione ($\mu\text{g m}^{-3}$)	%
Aerosol organico primario (POA)	4,0	16%	4,6	24%
Aerosol organico secondario (SOA)	8,0	32%	0,5	2%
Carbonio elementare (EC)	1,8	7%	3,4	18%
Solfato	1,8	7%	3,0	16%
Nitrato	5,7	23%	3,2	17%
Ammonio	2,1	8%	2,0	11%
Sale marino	0,6	2%	0,2	1%
Polvere minerale	1,2	5%	0,1	1%
Altre particelle (solo modello)	-		1,8	9%
Totale	25,2	100%	18,8	100%
Massa non determinata (solo misure)	4,4		-	
Totale	29,6			

Tabella 2 – Stima del contributo delle sorgenti al PM_{2.5} con modello al recettore (Amato et al., 2016) e modello deterministico alla fonte

Sorgente	Modello al recettore		Modello alla fonte	
	Concentrazione ($\mu\text{g m}^{-3}$)	%	Concentrazione ($\mu\text{g m}^{-3}$)	%
Emissioni scappamento veicoli (VEX)	1,8	6%	3,6	19%
Emissioni non scappamento veicoli (NEX)	2,5	8%		
Combustione biomassa (BB)	5,1	17%	4,3	23%
Salt (SEA)	0,4	1%	0,2	1%
Sorgenti industriali (IND)	1,3	5%	non tracciato	-
Suolo (MIN)	1,4	5%	non tracciato	-
Nitrato secondario (SNI)	8,9	30%	8,7	46%
Solfato secondario (SSO)	5,6	19%		
Non attribuito/non confrontabile	2,6	9%	2,0	11%
Totale	29,6	100%	18,8	100%

delle condizioni meteorologiche. La sottostima della massa di PM_{2.5}, evidenziata anche da altri studi condotti sull'area in esame (Meroni et al., 2017; Pirovano et al., 2015; Bergstrom et al., 2012), riguarda soprattutto la componente organica (POA + SOA, 5,1 $\mu\text{g m}^{-3}$ contro 12 $\mu\text{g m}^{-3}$) e sottolinea in modo particolare la carenza nella ricostruzione dell'aerosol organico secondario, quasi trascurabile per il modello (0,5 $\mu\text{g m}^{-3}$ contro 8 $\mu\text{g m}^{-3}$) che invece fornisce un rilevante contributo alle concentrazioni di PM a Milano e nella regione padana (Ghermandi et al., 2020; Veratti et al., 2020; Pietrogrande et al., 2016; Sandrini et al., 2014; Perro-

ne et al., 2012; Gilardoni et al., 2011; Lonati et al., 2007). Per contro, il modello tende a sovrastimare la componente organica primaria ed il carbonio elementare, presentando invece un buon accordo per la componente inorganica secondaria nel suo complesso (solfato, nitrato, ammonio) tanto in termini assoluti quanto relativi.

Il confronto in termini di sorgenti (Tabella 2) considera le 7 sorgenti individuate dal modello a recettore PMF, comparandone i contributi alla massa di PM_{2.5} con i corrispondenti valori ricostruiti sommando le singole componenti del PM_{2.5} generate dalle diverse sorgenti; i risultati del model-

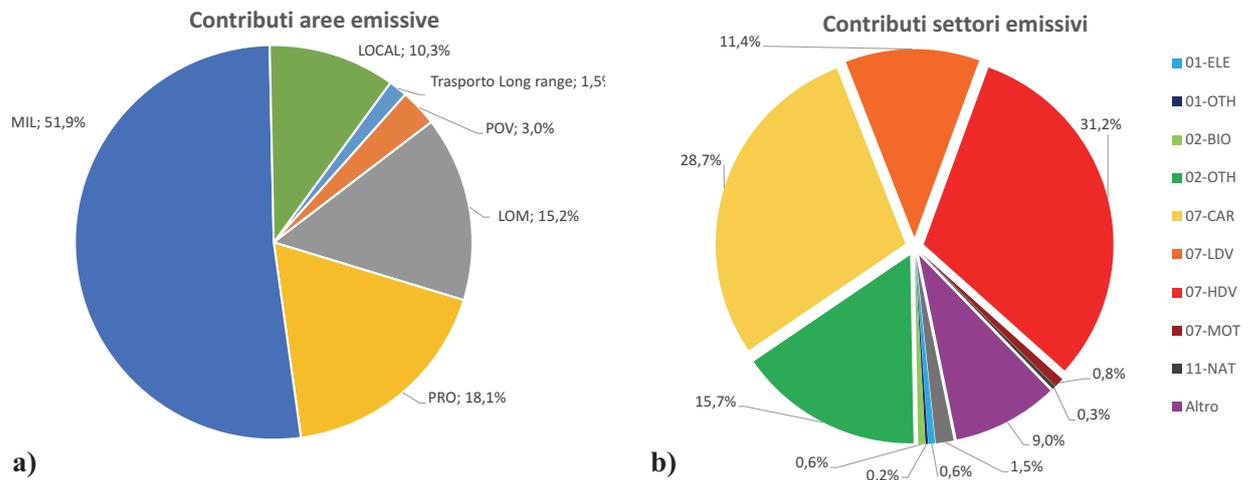


Figura 5 – Contributi percentuali stimati delle aree emissive (a) e delle sorgenti (macrosettori/settori SNAP) alla concentrazione media annua di NO_2 nel recettore in Piazza del Duomo

lo alla fonte sono infatti costituiti dai valori di concentrazione per ciascuna specie e ciascuna tipologia di sorgente di emissione considerata. Nonostante la differenza negli approcci modellistici, nell'anno di riferimento (col conseguente diverso effetto degli eventi meteorologici) e nella posizione del recettore (rispettivamente Torre Sarca e Piazza del Duomo), i risultati del confronto dei contributi delle sorgenti sono abbastanza incoraggianti, soprattutto per le principali fonti primarie in ambito urbano. Il traffico è responsabile di circa il 20% del $\text{PM}_{2.5}$, ovvero circa $4 \mu\text{g m}^{-3}$ ($4,3 \mu\text{g m}^{-3}$ contro $3,6 \mu\text{g m}^{-3}$); la combustione della biomassa di circa il 25%, con una concentrazione media di $4,6 \mu\text{g m}^{-3}$ ($5,1 \mu\text{g m}^{-3}$ contro $4,3 \mu\text{g m}^{-3}$). In entrambi i casi il modello deterministico fornisce tuttavia valori di concentrazione inferiori di circa il 20%. La seconda modalità di stima del contributo delle sorgenti, facendo specifico riferimento al macrosette/settore emissivo ed alla localizzazione delle sorgenti in termini di aree emissive fornisce una informazione non ottenibile con i modelli al recettore e che può pertanto essere utilizzata a complemento delle informazioni fornite da quest'ultimo approccio. Inoltre, come mostrato nella Figura 5 con riferimento all' NO_2 per un recettore situato in Piazza del Duomo, questa modalità consente di stimare il contributo delle sorgenti anche per inquinanti gassosi convenzionali.

Nello specifico, le sorgenti di fondo urbano (MIL+PRO) sono complessivamente responsabili di circa il 70% della concentrazione di NO_2 e prevalgono notevolmente sulle sorgenti di fondo regionali e dal trasporto *long range* (LOM+POV+trasporto *long range*, circa 20%) e

sulle sorgenti locali in prossimità del punto recettore (LOCAL, 10%). Per quanto piccolo in termini relativi, quest'ultimo contributo, visto il numero limitato di sorgenti in quest'area rispetto alle regioni di emissione circostanti, indica che le sorgenti locali hanno comunque un ruolo apprezzabile sulla concentrazione di NO_2 nel punto di recettore e nelle aree urbane in generale. L'insieme delle sorgenti che appartengono alle categorie trasporto su strada (72%), combustione residenziale e commerciale (17%) e impianti industriali (9%) determinano il 98% della concentrazione di NO_2 , mentre le fonti naturali e il trasporto *long range* sono praticamente trascurabili (Figura 5b). Le diverse tipologie di veicoli del trasporto stradale contribuiscono nella misura del 31% per i veicoli pesanti, del 29% per le autovetture, dell'11% per i veicoli leggeri, e solo dell'1% per ciclomotori e motocicli. Il contributo della combustione residenziale e commerciale deriva quasi totalmente dai combustibili fossili (16%). La Figura 6, ottenuta intersecando i risultati ottenuti per regioni emissive e categorie di sorgenti, mostra chiaramente che il traffico veicolare nel comune di Milano è la principale fonte di NO_2 nel punto recettore considerato, contribuendo per quasi il 40% della concentrazione totale di NO_2 , seguito dal traffico associato alle regioni PRO e LOM, rispettivamente con quote del 13% e del 10%.

In maniera del tutto analoga alla Figura 6, stime congiunte del contributo delle sorgenti e delle aree emissive per il $\text{PM}_{2.5}$ sono riassunte nella Figura 7, dove, per meglio evidenziare le capacità di migliore rappresentatività spaziale della componente la-

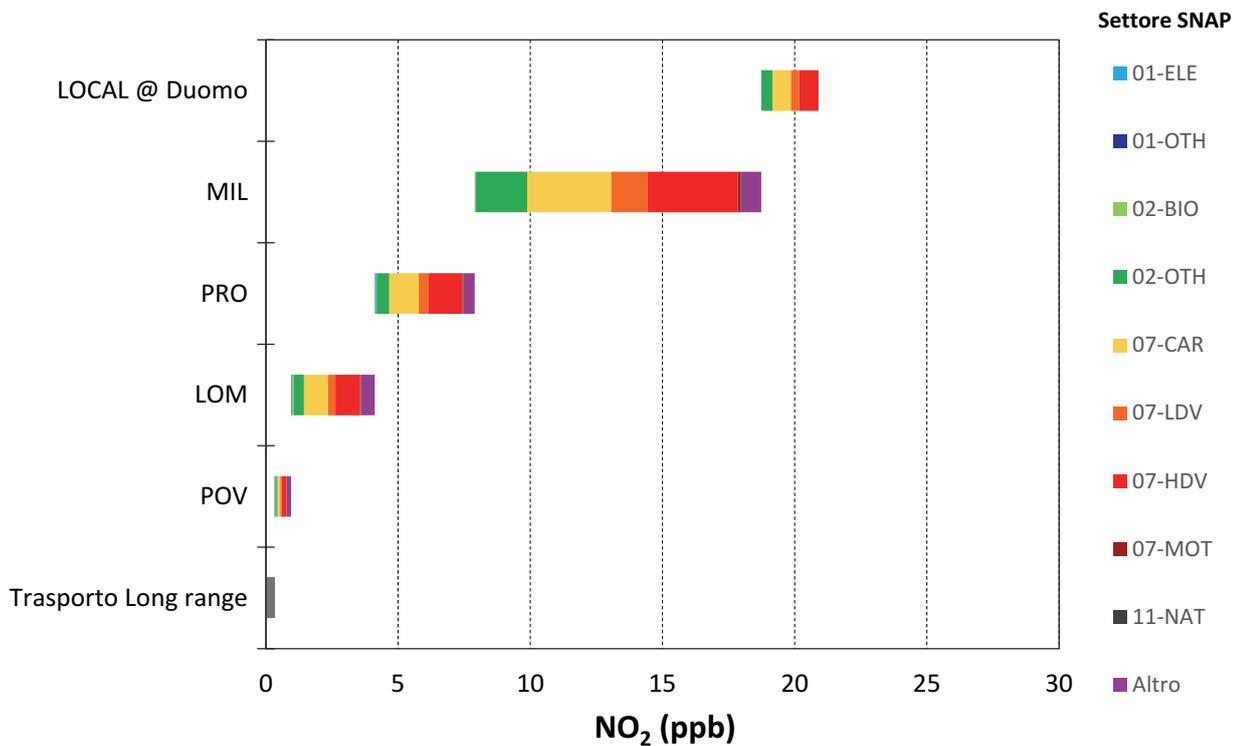


Figura 6 – Contributi stimati delle sorgenti (macrosettori/settori SNAP) e delle aree emissive alla concentrazione media annua di NO₂ nel recettore in Piazza del Duomo

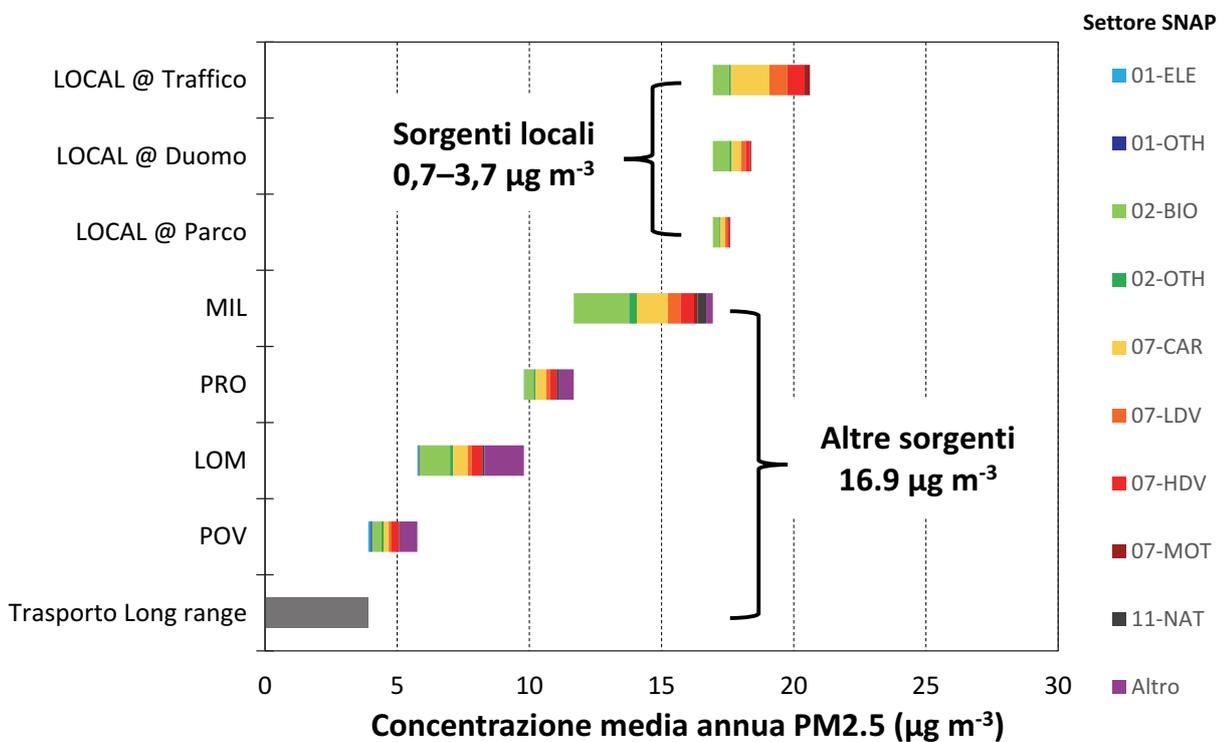


Figura 7 – Contributi stimati delle sorgenti (macrosettori/settori SNAP) e delle aree emissive alla concentrazione media annua di PM_{2.5} nei recettori dell'area di studio

grangiana del modello ibrido, oltre al recettore di Piazza del Duomo sono contemplati anche altri due recettori nell'area di studio, situati in corrispondenza di un parco cittadino (Parco) ed un incrocio stradale sulla circonvallazione interna (Traffico). La rappresentazione grafica evidenzia chiaramente la capacità del modello di differenziare le stime nei recettori dell'area di studio in relazione alla loro esposizione alle emissioni delle sorgenti dell'area locale, pressoché esclusivamente costituite da combustione non industriale (macrosettore SNAP 02) e traffico stradale (macrosettore 07). Infatti, al livello di fondo regionale/urbano di circa $17 \mu\text{g m}^{-3}$ si aggiunge un contributo delle sorgenti locali compreso tra $0,7 \mu\text{g m}^{-3}$, per il recettore meno esposto, e $3,7 \mu\text{g m}^{-3}$, stimato per il recettore più direttamente esposto alle emissioni del traffico. Appare altrettanto evidente il ruolo del traffico nel determinare i diversi livelli di concentrazione nei recettori considerati. È interessante notare come i singoli contributi delle diverse regioni emissive siano diversi rispetto al caso dell' NO_2 : infatti, le sorgenti di fondo regionale (LOM+POV+trasporto *long range*) contribuiscono per circa il 50% (20% nel caso dell' NO_2), quelle di fondo urbano (MIL+PRO) per circa il 40% (70% per l' NO_2), e quelle locali (LOCAL) in misura variabile compresa tra il 5%-18% a seconda del recettore. Differenze si apprezzano anche per quanto riguarda i contributi delle tipologie di sorgenti, che risultano molto più omogenei: su base media annua, il traffico è responsabile di circa il 30%-38%, la combustione non industriale per il 25%-28%, al 90% determinata dalla combustione domestica di biomassa, le emissioni industriali per circa il 15%; un contributo rilevante, dell'ordine del 20%, proviene anche dal trasporto *long range*. Una discussione più dettagliata sul contributo delle aree emissive e delle sorgenti alle concentrazioni di $\text{PM}_{2.5}$, anche su base stagionale, è disponibile in Lonati et al., 2020.

4. CONCLUSIONI

Il modello ibrido ottenuto dalla combinazione di un modello euleriano e di un modello lagrangiano ha dimostrato una buona capacità di ricostruire i campi di concentrazione ad elevata risoluzione spaziale in ambito urbano. Nello specifico, la componente euleriana è in grado di stimare le concentrazioni di fondo regionale e di fondo urbano sia per inquinanti primari sia per quelli secondari, potendo avvalersi di specifici mo-

duli di trasformazione chimico-fisica. La componente lagrangiana valuta invece la dispersione a scala locale degli inquinanti emessi dalle sorgenti dell'area di studio urbana, coerentemente con la struttura dell'ambiente costruito che influenza tanto la distribuzione spaziale delle sorgenti, nella fattispecie la struttura del reticolo stradale, quanto le modalità di dispersione delle loro emissioni. Tuttavia, il confronto con i dati osservati mostra delle carenze nella corretta ricostruzione dei livelli di concentrazione, non tanto nei valori medi annui quanto piuttosto negli andamenti giornalieri, in particolare nel periodo invernale. Il modello, infatti, soprattutto nel caso delle polveri, fatica a riprodurre eventi acuti di concentrazione determinati dalla persistenza di condizioni di stabilità atmosferica che favoriscono l'accumulo degli inquinanti. Le cause di questa sottostima, oltre che ad una intrinseca difficoltà dei modelli nel descrivere i complessi fenomeni di trasporto e trasformazione degli inquinanti, possono anche essere legate ad una imprecisa quantificazione dei regimi emissivi delle sorgenti nell'ambito degli inventari delle emissioni. Si rendono pertanto necessari approfondimenti e studi ulteriori per riconciliare con sempre maggiore accuratezza i risultati delle simulazioni modellistiche con le osservazioni sperimentali.

Il modello ibrido ha mostrato anche la capacità di sviluppare la stima del contributo delle sorgenti con riferimento sia alla tipologia emissiva sia alla loro ubicazione. In particolare, grazie al sistema modellistico ibrido è possibile quantificare il contributo delle regioni emissive che agiscono alle diverse scale spaziali (es. trasporto di lunga distanza, fondo regionale, fondo urbano, scala locale), mettendo inoltre in luce il diverso contributo delle sorgenti locali alla piccola scala urbana (es. aree residenziali rispetto a siti di traffico). Infine grazie al sistema modellistico ibrido è possibile fornire valutazioni su inquinanti d'interesse, ma che non possono essere facilmente esaminati dai modelli a recettore, quali composti gassosi come NO_2 e alcuni componenti secondari del particolato. Il grado di dettaglio di tali stime, del tutto precluso ai tradizionali modelli al recettore, rende particolarmente interessante questa applicazione, con l'obiettivo di sostenere ed estendere spazialmente le informazioni che i modelli al recettore, seppure basati su dati sperimentali dettagliati, non sono in grado di fornire in modo completo ed esaustivo.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Akita Y., Baldasano J.M., Beelen R., Cirach M., de Hoogh K., Hoek G., Nieuwenhuijsen M., Serre M.L., de Nazelle A., 2014. Large scale air pollution estimation method combining land use regression and chemical transport modeling in a geostatistical framework. *Environ. Sci. Technol.* 48, 4452-4459.
- Amann M., Bertok I., Borcken-Kleefeld J., Cofala J., Heyes C., Höglund-Isaksson L., Klimont Z., Nguyen B., Posch M., Rafaj P., Sandlera R., Schöpp W., Wagner F., Winiwarter W., 2011. Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: modeling and policy applications. *Environ. Modell. Softw.* 26, 1489-1501.
- Amato F., Alastuey A., Karanasiou A., Lucarelli F., Nava S., Calzolari G., Severi M., Becagli S., Gianelle V., Colombi C., Alves C., Custodio D., Nunes T., Cerqueira M., Pio C., Eleftheriadis K., Diapouli E., Reche C., Minguillon M.C., Manousakas M., Maggos T., Vratolis S., Harrison R.M., Querol X., 2016. AIRUSE-LIFE+: a harmonized PM speciation and source apportionment in five southern European cities. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 3289-3309.
- ARPA Lombardia, Settore Monitoraggi Ambientali, 2015. INEMAR, Inventario Emissioni in Atmosfera: Emissioni in Regione Lombardia nell'anno 2012 – revisione pubblica.
- Belis C.A., Larsen B.R., Amato F., El Haddad I., Favez O., Harrison R.M., Hopke P.K., Nava S., Paatero P., Prevot A., Quass U., Vecchi R., Viana M., 2014. European Guide on Air Pollution Source Apportionment with Receptor Models. JRC Reference Report EUR 26080. Luxembourg Publication Office of the European Union, ISBN 978-92-79-32514-4.
- Bergstrom R., van der Gon H.A.C.D., Prevôt A.S.H., Yttri K.E., Simpson D., 2012. Modelling of organic aerosols over Europe (2002-2007) using a volatility basis set (VBS) framework: application of different assumptions regarding the formation of secondary organic aerosol. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 8499-8527.
- Bessagnet B., Pirovano G., Mircea M., Cuvelier C., Aulinger A., Calori G., Ciarelli G., Manders A., Stern R., Tsyro S., García Vivanco M., Thunis P., Pay, M.-T., Colette A., Couvidat F., Meleux F., Rouil L., Ung A., Aksoyoglu S., Baldasano J.M., Bieser J., Briganti G., Cappelletti A., D'Isidoro M., Finardi S., Kranenburg R., Silibello C., Carnevale C., Aas W., Dupont, J.-C., Fagerli H., Gonzalez L., Menut L., Prévôt A.S.H., Roberts P., White L., 2016. Presentation of the EURODELTA III intercomparison exercise – evaluation of the chemistry transport models' performance on criteria pollutants and joint analysis with meteorology. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 12667-12701.
- Ciarelli G., Aksoyoglu S., El Haddad I., Bruns E.A., Crippa M., Poulain L., Äijäkä M., Carbone S., Freney E., O'Dowd C., Baltensperger U., Prévôt A.S.H., 2017. Modelling winter organic aerosol at the European scale with CAMx: evaluation and source apportionment with a VBS parameterization based on novel wood burning smog chamber experiments. *Atmos. Chem. Phys.* 17, 7653-7669.
- Cowie C.T., Garden F., Jegasothy E., Knibbs L.D., Hanigan I., Morley D., Hansell A., Hoek G., Marks G.B., 2019. Comparison of model estimates from an intra-city land use regression model with a national satellite-LUR and a regional Bayesian Maximum Entropy model, in estimating NO₂ for a birth cohort in Sydney, Australia. *Environ. Res.* 174, 24-34.
- Duyzer J., van der Hout D., Zandveld P., van Ratigen S., 2015. Representativeness of air quality monitoring networks. *Atmos. Environ.* 104, 88-101.
- ENVIRON, 2016. CAMx (Comprehensive Air Quality Model with extensions) User's Guide Version 6.3. ENVIRON International Corporation, Novato, CA.
- Ghermandi G., Fabbi S., Veratti G., Bigi A., Teggi S., 2020. Estimate of secondary NO₂ levels at two urban traffic sites using observations and modelling. *Sustainability* 2, 12, 7897.
- Gilardoni S., Vignati E., Cavalli F., Putaud J.P., Larsen B.R., Karl M., Stenström K., Genberg J., Henne S., Dentener F., 2011. Better constraints on sources of carbonaceous aerosols using a combined 14C e macro tracer analysis in a European rural background site. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5685-5700.
- Guevara M., Pay M.T., Martínez F., Soret A., van der Gon H.A.C.D., Baldasano J.M., 2014. Inter-comparison between HERMESv2.0 and TNO-MACC-II emission data using the CALIOPE air quality system (Spain). *Atmos. Environ.* 98, 134-145.
- He B., Heal M.R., Reis S., 2018. Land-Use Regression Modelling of Intra-Urban Air Pollution Variation in China: Current Status and Future Needs. *Atmosphere* 9, 134.
- Hennig F., Sugiri D., Tzivian L., Fuks, K. Moebus S., Jöckel, K.-H., Vienneau D., Kuhlbusch T., de Hoogh K., Memmesheimer M., Jakobs H., Quass U., Hoffmann B., 2016. Comparison of Land-Use Regression modeling with dispersion and chemistry transport modeling to assign air pollution concentrations within the Ruhr area. *Atmosphere* 7, 48.
- Hopke P.K., 2016. Review of receptor modeling methods for source apportionment. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66, 237-259.
- Janicke consulting 2014. AUSTAL2000 Program Documentation of Version 2.6 2014-02-24. Federal Environmental Agency (UBA), Dessau-Roßlau (Germany).
- Lenschow P., Abraham, H.-J., Kutzner K., Lutz M., Preuß, J.-D., Reichenbacher W., 2001. Some ideas about the sources of PM₁₀. *Atmos. Environ.* 35, S23-S33.
- Lonati G., Pepe N., Pirovano G., Balzarini A., Toppetti A., Riva G.M., 2020. Combined Eulerian-Lagrangian hybrid modelling system for PM_{2.5} and elemental carbon source apportionment at the urban scale in Milan. *Atmosphere*, 11, 1078.
- Lonati G., Ozgen S., Giugliano M., 2007. Primary and secondary carbonaceous species in PM_{2.5} samples in Milan (Italy). *Atmos. Environ.*, 41, 4599-4610.
- López-Aparicio S., Guevara M., Thunis P., Cuvelier K., Tarasón L., 2017. Assessment of discrepancies between bottom-up and regional emission inventories in Norwegian urban areas. *Atmos. Environ.* 154, 285-296.

- Meroni A., Pirovano G., Gilardoni S., Lonati G., Colombi C., Gianelle V., Paglione M., Poluzzi V., Riva G.M., Toppetti A., 2017. Investigating the role of the chemical and physical processes on organic aerosol modeling with CAMx in the Po valley during a winter episode. *Atmos. Environ.*, 171, 126-142.
- Mircea M., Calori G., Pirovano G., Belis C.A., 2020. European guide on air pollution source apportionment for particulate matter with source oriented models and their combined use with receptor models, EUR 30082 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-10698-2, doi:10.2760/470628, JRC119067.
- Pepe N., Pirovano G., Balzarini A., Toppetti A., Riva G.M., Amato F., Lonati G., 2019. Enhanced CAMx source apportionment analysis at an urban receptor in Milan based on source categories and emission regions. *Atmos. Environ. X* 2:100020.
- Pepe N., Pirovano G., Lonati G., Balzarini A., Toppetti A., Riva G.M., Bedogni M., 2016. Development and application of a high resolution hybrid modelling system for the evaluation of urban air quality. *Atmos. Environ.* 141, 297-311.
- Pernigotti D., Thunis P., Cuvelier C., Georgieva E., Gsella A., De Meij A., Pirovano G., Balzarini A., Riva G.M., Carnevale C., Pisoni E., Volta M., Bessagnet B., Kerschbaumer A., Viaene P., De Ridder K., Nyiri A., Wind P., 2013. POMI: a model inter-comparison exercise over the Po valley. *Air Qual. Atmos. Hlth.* 6, 701-715.
- Perrone M.G., Larsen B.R., Ferrero L., Sangiorgi G., De Gennaro G., Udisti R., Zangrando R., Gambaro A., Bolzacchini E., 2012. Sources of high PM2.5 concentrations in Milan, Northern Italy: molecular marker data and CMB modelling. *Science of the Total Environment*, 414, 345-355.
- Pietrogrande M.C., Bacco D., Ferrari S., Ricciardelli I., Scotto F., Trentini A., Visentin M., 2016. Characteristics and major sources of carbonaceous aerosols in PM2.5 in Emilia Romagna Region (Northern Italy) from four-year observations. *Science of the Total Environment*, 553, 172-183.
- Pirovano G., Colombi C., Balzarini A., Riva G.M., Gianelle V., Lonati G., 2015. PM2.5 source apportionment in Lombardy (Italy): comparison of receptor and chemistry transport modelling results. *Atmos. Environ.* 106, 56-70.
- Sandrini S., Fuzzi S., Piazzalunga A., Prati P., Bonasoni P., Cavalli F., Bove M.C., Calvello M., Cappelletti D., Colombi C., Contini D., de Gennaro G., Di Gilio A., Fermo P., Ferrero L., Gianelle V., Giugliano M., Ielpo P., Lonati G., Marinoni A., Massabò D., Molteni U., Moroni B., Pavese G., Perrino C., Perrone M.G., Perrone M.R., Putaud J., Sargolini T., Vecchi R., Gilardoni S., 2014. Spatial and seasonal variability of carbonaceous aerosol across Italy. *Atmos. Environ.*, 99, 587-298.
- Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X.-Y., Wang W., Powers J.G., 2008. A description of the advanced research WRF Version 3, NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, Boulder, Colorado.
- Squizzato S., Cazzaro M., Innocente E., Visin F., Hopke P., Rampazzo G., 2017. Urban air quality in a mid-size city – PM2.5 composition, sources and identification of impact areas: from local to long range contributions. *Atmos. Res.* 186, 51-62.
- Thunis P., Clappier A., Tarrason L., Cuvelier C., Monteiro A., Pisoni E., Wesseling J., Belis C.A., Pirovano G., Janssen S., Guerreiro C., Peduzzi E., 2019. Source apportionment to support air quality planning: Strengths and weaknesses of existing approaches, *Environment International*, 130, 104825.
- Unione Europea, 2008. Direttiva 2008/50/EC del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 maggio 2008 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 152, 11.6.2008, 1-44.
- University of North Carolina at Chapel Hill (UNC), 2013. SMOKE v3.5 User's manual. Available at: <http://www.smoke-model.org/index.cfm>
- van der Gon H.A.C.D., Bergström R., Fountoukis C., Johansson C., Pandis S.N., Simpson D., Visschedijk A.J.H., 2015. Particulate emissions from residential wood combustion in Europe – revised estimates and an evaluation. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 6503-6519.
- Veratti G., Fabbi S., Bigi A., Lupascu A., Tinarelli G., Teggi S., Brusasca G., Butler T.M., Ghermandi G., 2020. Towards the coupling of a chemical transport model with a micro-scale Lagrangian modelling system for evaluation of urban NOx levels in a European hotspot. *Atmos. Environ.*, 223, 117285.
- Yarwood G., Morris R.E., Wilson G.M., 2004. Particulate matter source apportionment technology (PSAT) in the CAMx photochemical grid model. In: *Proceedings of the 27th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and Application*. Springer Verlag.
- Wang M., Sampson P.D., Hu J., Kleeman M., Keller J.P., Olives C., Szpiro A.A., Vedal S., Kaufman J.D., 2016. Combining Land-Use regression and chemical transport modeling in a spatiotemporal geostatistical model for ozone and PM2.5. *Environ. Sci. Technol.* 50, 5111-5118.
- Zanini G., Bellasio R., Bianconi R., Delle Monache L., Lorenzini R., Mosca S., Monforti-Ferrario F., Peverieri S., Vitali L., 2002. PLPM (Photochemical Lagrangian Particle Model): Formulation and preliminary Validation. 8th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Modelling for Regulatory Purposes. Sofia (Bulgaria), 14-17 October 2002.
- Zou B., Wilson J.G., Zhan F.B., Zeng Y. Air pollution exposure assessment methods utilized in epidemiological studies. *J. Environ. Monitor.* 2009, 11, 475-490.

RINGRAZIAMENTI

Il contributo RSE a questo lavoro è stato finanziato dal Fondo di Ricerca per il Sistema Elettrico in ottemperanza al DM, 16 aprile 2018.

SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE, CAMBIAMENTI CLIMATICI E ATTIVITÀ SPORTIVE: UNA REVIEW SUL TEMA

Dario Battistel¹, Marco Benedetti^{2,6}, Paolo Cescon³, Giovanni Finotto⁴,
Andrea Gambaro¹, Angelo Pecci⁵, Orazio Rossi^{5,*}

¹Università Cà Foscari di Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica.

²ENDUlab, Parma.

³Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Polari (CNR-ISP) c/o Università Cà Foscari di Venezia.

⁴Università Cà Foscari di Venezia, Dipartimento di Scienze Molecolari e Nanosistemi.

⁵Consorzio Interuniversitario Nazionale per le Scienze Ambientali (CINSA), Parma.

⁶SPORTLAB S.S.D. A R.L., Nuoro.

Sommario – Lo sport svolge rilevante e storica funzione di inclusione sociale mediante l'avvicinamento tra i popoli e le loro diverse culture. I praticanti attività sportive sono stimati essere attualmente nel mondo 630 milioni e le diverse discipline sportive (*indoor* e *outdoor*) rappresentano un fenomeno sociale in continua crescita con rilevanti effetti positivi sul benessere e salute di chi le pratica e con importanti ricadute economiche. Si stima che in Europa l'indotto correlato con le attività sportive dia lavoro a più di 5 milioni di persone. La crescente crisi ambientale nel pianeta (distruzione della biodiversità, cambiamenti climatici, inquinamento, ecc.) riguarda anche gli eventi sportivi. Viene preso in esame il rapporto clima/sport nell'ottica degli effetti negativi dei cambiamenti climatici sulle attività sportive ma anche nella considerazione che lo sport può diventare un potente strumento per lo sviluppo di una maggiore coscienza ambientale. Il rapporto tra attività sportive e conservazione della biodiversità non è sempre facile in quanto, dal punto di vista dei naturalisti ed ecologi, la biodiversità dovrebbe essere tra le variabili ottimizzate nell'esercizio di non poche attività sportive *outdoor*. Lo sfruttamento eccessivo o il deterioramento della risorsa rappresentata dalla biodiversità di una data area, causato da attività sportive *outdoor* non correttamente organizzate, rappresenta un grande rischio per la sostenibilità ambientale dell'area stessa, con le conseguenti ben note implicazioni negative riguardanti i servizi ecosistemici resi (instabilità climatica, riciclo dei rifiuti insufficiente, inquinamento dell'aria e dell'acqua, ecc.). Molte istituzioni internazionali (UN, UNESCO, CIO, SANDSI, ecc.) hanno, già da tempo e sotto varie forme, richiamato l'attenzione degli organizzatori di eventi sportivi ad una maggiore consapevolezza degli impatti negativi che tali eventi hanno sulla integrità degli ambienti in cui si svolgono. È quindi di fondamentale importanza favorire il dibattito e l'interazione tra gli organizzatori di eventi sportivi e la comunità scientifica al fine di individuare, sperimentare e promuovere nuovi strumenti metodologici e conoscitivi che consentano una pianificazione più attenta e consapevole degli impatti sulla sostenibilità degli ecosistemi.

Oltre agli eventi è necessario altresì una profonda riprogettazione e gestione dell'impiantistica sportiva, a partire dagli iconici stadi di calcio, ora sempre più proiettati in una dimensione futuristica di “*digital & sustainable arena*” o, a livello di quartiere, le più famigliari e frequentate palestre scolastiche, fino agli impianti natatori tra le infrastrutture *indoor*, quelli a più alto impatto ambientale per gli alti consumi energetici. Gli sforzi tecnico-scientifici sono perciò tesi a favorire il miglioramento della loro efficienza e l'abbattimento della quantità di agenti chimici impiegati nel trattamento dell'acqua.

Parole chiave: evento sportivo sostenibile, clima, biodiversità, impiantistica sportiva, ricerca scientifica.

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, CLIMATE CHANGE AND SPORTING EVENTS: A REVIEW

Abstract – Sport plays a relevant and historical role in social inclusion through bringing together people from different cultures. It is estimated that up to 630 million people in the world take part in sports activities (indoor and outdoor). This is a social phenomenon in continuous growth with significant positive effects on the health and welfare of those who practice them, with important economic spin-offs. It is estimated that more than 5 million people in Europe are employed in sports related activities. However, the growing environmental crisis on the planet (destruction of biodiversity, climate change, pollution, etc.) also affects and is caused by sporting events. The balance between and climate/sport should not only be viewed through the lens of the negative effects of climate change on sporting activities, but sport can as a powerful tool for the development of greater environmental awareness should also be considered. The relationship between sport activities and biodiversity conservation is not always easy, because from the point of view of naturalists and ecologists, biodiversity should be one of the variables that is optimized during many outdoor sports activities. The overexploitation or deterioration of resources represented by the biodiversity of a given area, can be caused by incorrectly or disorganized outdoor sports activities, and represents a great risk for the environmental sustainability of the area itself. This then has consequently well-known negative implications regarding the services the ecosystem provides (such as climate instability, insufficient waste

* Per contatti: CINSA – Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale – Università di Parma Parco Area delle Scienze 33 – 43124 Parma – Office 0039 041 234 8611 – Mobile 0039 339 133 9498 – E-mail: orazio.rossi@unipr.it.

recycling, air and water pollution, etc.). Many international institutions (UN, UNESCO, IOC, SANDSI, etc.) have, for some time now and in various forms, drawn the attention of sports event organisers to a greater awareness of the negative impacts that such events have on the integrity of the environments in which they take place. It is therefore of fundamental importance to encourage debate and interaction between sports event organizers and the scientific community in order to identify, experiment and promote new methodological and cognitive tools that allow a more careful planning with an awareness of the impacts on the sustainability of ecosystems. In addition to events, there is also a need for a deep redesign and management of sports facilities, starting from the iconic soccer stadiums, now increasingly projected into the futuristic dimension of “digital & sustainable arenas”, or at the neighbourhood level, the more familiar and frequented school gyms. Swimming facilities are among all the different indoor infrastructures, those with the highest environmental impact due to their high energy consumption. Technical-scientific efforts are therefore aimed at improving their energy efficiency and reducing the number and quantity of chemical agents used in water treatment.

Keywords: *sustainable sporting events, climate, biodiversity, sports venues and facilities, scientific research.*

Ricevuto il 3-5-2020. Modifiche sostanziali richieste il 23-6-2020. Modifiche sostanziali richieste il 5-1-2021. Accettazione il 14-1-2021.

1. INTRODUZIONE

Lo sport ha raggiunto negli ultimi decenni una diffusione planetaria attuando una importante funzione di inclusione sociale mediante l'avvicinamento dei popoli e l'internazionalizzazione di valori fondamentali della società moderna costruita sulla conoscenza e sull'innovazione. Molte di queste attività sportive hanno determinato significative ricadute economiche ed occupazionali favorendo lo sviluppo di nuovi materiali, la realizzazione di grossi impianti, la gestione di eventi su scala planetaria permeando i valori della società moderna. Lo sport ha una profonda desiderabilità sociale che pervade le numerose attività socioeconomiche fino ad incidere sulla qualità della vita in quanto genera benessere e salute.

Lo sport dunque interagisce con il mondo economico, la cultura, l'ambiente e la gestione del territorio, richiedendo grandi infrastrutture dedicate, realizzando eventi planetari come i giochi olimpici, campionati mondiali di calcio, Giro d'Italia e *Tour de France*, esprimendo una significativa domanda di innovazione tecnologica con particolare riferimento alle caratteristiche meccaniche e chimico-fisiche di materiali speciali per soddisfare le esigenze di una crescente competitività anche nel mondo degli atleti diversamente abili. È noto es-

sere un mercato che vale globalmente 350-450 miliardi di dollari (Tautonico, 2018). Nel nostro Paese rappresenta circa 3 punti di PIL (Cannavò, 2016), a ciò si aggiunga il ruolo sociale, educativo e formativo. Si fa presente che tutto ciò si realizza nel contesto di una grave crisi ambientale che interessa il pianeta e pone quindi la questione del rapporto sport/ambiente nei termini di Sviluppo Sostenibile inteso concettualmente come “uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri” (Brundtland, 1987).

Di fatto, i disastri ecologici, le emergenze climatiche e la contaminazione delle componenti ambientali ci confermano che siamo in presenza di una crisi diffusa e che il futuro del pianeta è più che mai incerto. Viviamo quindi in un periodo storico, denominato “antropocene” dal premio Nobel Paul Crutzen, che è iniziato con lo sviluppo industriale a metà del '700 ed è caratterizzato dall'azione dell'uomo che determina numerose e profonde alterazioni ambientali e climatiche.

Già nel 2007 la Comunità Europea pubblicò un libro bianco che richiamava l'attenzione sulla necessità che “Le attività, gli impianti e le manifestazioni sportive hanno un impatto significativo sull'ambiente. È importante promuovere una gestione ecologicamente razionale, che risulti adeguata fra l'altro a gestire gli appalti verdi, le emissioni di gas a effetto serra, l'efficienza energetica, l'eliminazione dei rifiuti e il trattamento dell'acqua e dei suoli. Le Organizzazioni Sportive e i responsabili di eventi sportivi in Europa dovrebbero adottare obiettivi ambientali atti a rendere ecologicamente sostenibili le rispettive attività. Migliorando la propria credibilità sui problemi ambientali, i comitati organizzativi possono attendersi vantaggi concreti quando si candidano ad ospitare eventi sportivi, e vantaggi economici collegati ad un uso più razionale delle risorse naturali”. Con ciò si sottolinea la necessità di passare ad una dimensione sostenibile dello sport in considerazione del fatto che gli impatti sull'ambiente sono sicuramente significativi. Basti pensare, come è noto, che i Mondiali di Calcio 2010 in Sud Africa hanno generato l'emissione di 2,8 milioni di tonnellate di CO₂, valore questo confermato nei Mondiali del Brasile 2014. Lo stesso dicasi per altri grandi eventi di calcio. Si stima che una partita del campionato di calcio di serie A determina l'emissione di circa 800 tonnellate di CO₂ (Caneva, 2010; Cannavò, 2016; Tautonico, 2018).

In passato la sensibilità verso l'ambiente da parte di paesi organizzatori di importanti competizioni

sportive non è stata sicuramente adeguata come, riferendoci al nostro Paese, alle Olimpiadi Invernali di Torino 2006 dove le realizzazioni della pista da bob e, ancor di più, del trampolino hanno comportato degli impatti di rilievo (Cannavò, 2016).

Realtà quella nazionale dove esiste una significativa percentuale di impianti sportivi superati dal punto di vista costruttivo, tecnologico ed energetico, oggetto questo di un successivo approfondimento. Altra delicata questione riguarda rifiuti abbandonati dopo le manifestazioni sportive come segnalato da aziende municipalizzate di grandi città (Cavallo *et al.*, 2019). I trasporti e la mobilità effettuati in concomitanza a grandi eventi sportivi (partite di calcio di serie A, ecc.) sono responsabili della emissione di gas serra considerevoli.

In questa situazione il mondo sportivo non può ignorare gli impatti prodotti sull'ambiente ma deve operare per un futuro sostenibile anche facendo ricorso al grande potere di influenza sulla pubblica opinione per attuare una vera e propria rivoluzione culturale basandosi sulla solidità dei valori che sono propri dello sport e quindi per incidere sul comportamento della società stessa, evocando frequentemente un'alleanza virtuosa tra sport e ambiente, come in alcune maratone internazionali capaci di raccogliere e riciclare oltre 55 tonnellate di abbigliamento tecnico "usa e getta" pre-gara o evitare l'utilizzo di 30.000 contenitori di plastica grazie a degli imballi sferici commestibili a base di alghe (fonte: www.runnersworld.it/sport-running-ambiente-alleanza-virtuosa-9566).

La diminuzione di CO₂, la progettazione e realizzazione di impianti a basso impatto e alto risparmio energetico con ricorso a fonti rinnovabili, nonché l'organizzazione di grandi eventi sportivi sostenibili sono obiettivi fondamentali del mondo dello sport, in sintonia con quelli dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. Si tratta di un'azione che attuata a livello planetario può veramente determinare l'affermazione dello "sport sostenibile" quale significativo contributo alla promozione dell'ambiente.

Un serrato dibattito è attualmente in corso riguardante la sostenibilità dei Giochi Olimpici in riferimento all'utilizzo delle strutture nel periodo post-olimpico: si tratta di progettare spazi che possano essere modificati alla luce delle necessità future realizzando strutture temporanee per le richieste olimpiche ma che successivamente possano essere adeguate ad altre esigenze di tipo urbanistico e sociale del territorio.

In realtà alcuni segnali importanti sono arrivati grazie alle decisioni assunte dalle maggiori Organizzazioni sportive e non a livello internazionale.

Nel 2017 l'UNESCO, durante la conferenza internazionale Mineps VI, ha avviato il Piano di Kazan, un importante accordo internazionale a favore di politiche di sviluppo sostenibile con forti implicazioni dello sport.

D'altronde il Programma *Climate Action* ha organizzato in Europa in questo ultimo periodo alcune edizioni annuali di "*Sustainable Innovation in Sport*", forum per sviluppare strategie di contrasto al cambiamento climatico considerando che lo sport è un mercato di considerevole valore economico e che l'impatto delle manifestazioni sportive è reale e non può essere ignorato.

Il Comitato Internazionale Olimpico (CIO) in considerazione della quantità di CO₂ emessa nelle grandi manifestazioni sportive ha messo a punto e sviluppato una strategia di sostenibilità basata su infrastrutture, gestione delle risorse, mobilità e clima che costituiscono un capitolo fondamentale dell'Agenda Olimpica 2020, come si evince dal secondo report del Comitato Organizzatore relativo al piano di sostenibilità dell'evento olimpico Tokio 2020 (*Sustainability Pre-Games Report, Sustainability Highlyghs*) pubblicato nell'Aprile 2020 successivamente all'ufficialità della sua riprogrammazione al 2021 in conseguenza dell'attuale pandemia. Da alcuni anni le scelte sono orientate verso giochi a forte caratterizzazione ambientale nata dall'integrazione dei due concetti fondamentali di sviluppo e ambiente come riportato nel report "*IOC Sustainability Strategy*" (CIO, 2017).

Anche la FIFA interviene su queste tematiche in riferimento ai prossimi Mondiali di calcio in Russia imponendo agli stadi l'obbligo di una certificazione basata sulla adozione di codici di bioedilizia riconosciuti a livello internazionale.

La Cina, in occasione delle olimpiadi invernali del 2022 a Pechino, programma una città pilota "*low carbon emission*" così come indicato nella *Olympic and Paralympic Winter Games Beijing 2022 Carbon Management Plan* (fonte: www.beijing2022.cn/a/20190624/003353.htm), mentre di fatto le olimpiadi Parigi 2024 vedono al lavoro molti degli attori istituzionali strutturati fin dal 2015 durante i lavori della COP21, con il Comitato Organizzatore che, a riprova della determinazione a organizzare Giochi in linea con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) dell'Agenda 2030 e nell'intento di realizzare "*the first ever*

carbon neutral Games” (fonte: <https://www.paris2024.org>) ha siglato, ad inizio 2020, un accordo di cooperazione con l’*Agence Française de Développement* (AFD), per lo sviluppo di progetti che coniugano sport e sviluppo sostenibile (AFD, 2020).

Queste ed altre importanti decisioni ci portano a considerare che l’avvio dell’era dello sport sostenibile è cominciata, con priorità e obiettivi come:

- protezione e promozione della biodiversità;
- riduzione delle emissioni contaminanti e di CO₂;
- engagement degli atleti di maggiore celebrità come ambasciatori e divulgatori dei valori ambientali;
- efficienza energetica e ricorso alle fonti rinnovabili di energia;
- risparmio energetico nei trasporti;
- uso razionale di risorse naturali e limitazione di rifiuti;
- produzione e riciclo di materiali, uso di prodotti biodegradabili;
- codici di comportamento e clausole di sicurezza nelle grandi manifestazioni sportive;
- formazione ambientale;
- individuazione di specifici indicatori di miglioramento;
- progettazione di strutture impiantistiche e di manifestazioni sportive a basso impatto ambientale.

Questo articolo intende ispirare un obiettivo importante e ambizioso per complessità e competenze multidisciplinari richieste, necessarie per un approccio globale alla fruizione della natura che garantisca una efficace protezione e promozione della biodiversità planetaria e degli ecosistemi di maggior pregio sempre più interessati e fruiti da eventi sportivi outdoor.

2. IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULL’ORGANIZZAZIONE E GESTIONE DI EVENTI SPORTIVI OUTDOOR

L’ultimo report dell’IPCC (IPCC, 2018) stima che le attività antropiche abbiano causato un riscaldamento di circa 1.0 °C su scala globale rispetto al livello pre-industriale. Con un elevato livello di confidenza, stante l’attuale velocità del riscaldamento pari a 0.01-0.03 °C per anno, si stima che la temperatura media globale aumenterà di 1.5 °C tra il 2030 ed il 2052. L’aumento della temperatura non è un fenomeno omogeneamente distribuito sul nostro pianeta e gli effetti sono già in parte osservabili nelle aree più sensibili. Si consideri che, a se-

conda del *dataset* di temperature considerato, tra il 20% ed il 40% della popolazione mondiale vive in regioni che, nella recente decade 2006-2015, hanno già sperimentato gli effetti di uno scenario più caldo di 1.5 °C rispetto al livello pre-industriale. In queste aree, è stato registrato un tendenziale aumento dell’intensità e della frequenza di eventi climatici estremi. Come riportato in maggior dettaglio nel capitolo *Impacts of 1.5°C of Global Warming on Natural and Human Systems* (IPCC, 2018), la probabilità di eventi di siccità persistente, inondazioni, eventi piovosi eccezionalmente abbondanti ed ondate di calore è aumentata nelle regioni in cui sono state registrate condizioni climatiche prossime a quelle di uno scenario 1.5 °C. Per queste ragioni, riuscire a limitare il riscaldamento globale ad un valore soglia di 1.5°C, di fatto, è una delle sfide del nostro tempo che coinvolge i governi ed i cittadini di tutte le nazioni. Il mancato raggiungimento di questo obiettivo, in un mondo ad esempio 2° C più caldo rispetto al livello pre-industriale, renderebbe meno efficace e più onerosa ogni strategia di adattamento e mitigazione (IPCC, 2018).

Il verificarsi di eventi meteorologici estremi ed improvvisi ha già condizionato negativamente alcune attività economiche come il turismo. In alcune località costiere tropicali e subtropicali, per esempio, è stata osservata la degradazione, se non la perdita in alcuni casi, di tratti di spiagge o barriere coralline con conseguenti impatti economici negativi (IPCC, 2018). Più in generale, i cambiamenti climatici hanno impatti negativi su tutte le attività che vengono svolte all’aperto e/o che risultano dipendenti dalle condizioni climatiche. In questo contesto, le attività e le manifestazioni sportive *outdoor* non fanno eccezione.

Nell’ultimo decennio, la variabilità climatica ha compromesso l’organizzazione di alcune manifestazioni internazionali sportive di rilievo (Dingle e Mallen, 2020), con conseguenze economiche sugli indotti a queste associati e causato ingenti danni alle strutture messe in opera per il loro svolgimento. In molti casi, questi eventi climatici e meteorologici hanno determinato significativi ritardi, od addirittura la cancellazione, di importanti manifestazioni sportive (Tab. 1).

Nel 2010, ad esempio, il LOC (*Local Organizing Committee*) delle Olimpiadi Invernali di Vancouver è stato costretto a prelevare la neve dalle aree vicine per garantire lo svolgimento delle gare di sci *freestyle* e *snowboard*, mentre nel dicembre del 2017 la *St. Moritz Para Alpine Skiing World Cup*, in Svizzera, è stata addirittura annullata.

Tabella 1 – Principali eventi sportivi cancellati o ritardati a causa di condizioni climatiche avverse che stanno diventando sempre più frequenti a causa dei cambiamenti climatici

Evento Sportivo	Paese ospitante	Anno	Cancellazione/Ritardo	Impatto Climatico
Olimpiadi invernali	Vancouver (Canada)	2010	Ritardo	Carenza di neve
Australian Open	Melbourne (Australia)	2014	Ritardo	Condizioni meteo avverse (temperatura e umidità elevata)
Para Alpine Skiing World Cup	St. Moritz (Svizzera)	2017	Cancellazione	Condizioni meteo avverse
Cycle Oregon (ciclismo)	Oregon e California (USA)	2017	Cancellazione	Incendi
Football – Baseball	Texas (USA)	2017	Cancellazione /Ritardo	Uragano Harvey
Rock'n Roll Marathon (maratona)	Montreal (Canada)	2017	Cancellazione	Condizioni meteo avverse (temperatura e umidità elevata)

Anche se gli sport invernali possono apparire più vulnerabili al cambiamento climatico, tutte le attività sportive *outdoor* ne sono interessate. Nel 2017, la competizione ciclistica internazionale *Cycle Oregon* è stata annullata in seguito agli incendi boschivi che hanno devastato la California, l'Oregon e lo stato di Washington, così come alcune partite di *football* e *baseball* a causa dell'uragano Harvey che, nello stesso anno, ha provocato allagamenti diffusi nello stato del Texas. Anche negli sport di *endurance*, o comunque in tutti quegli sport che richiedono un considerevole sforzo fisico, la salute e la sicurezza degli atleti può essere messa a rischio se persiste un eccessivo tasso di umidità e temperatura. Umidità e temperature eccessive, ad esempio, hanno comportato notevoli ritardi nello svolgimento degli *Australian Open* di tennis nel 2014 ed alla cancellazione della *Rock'n'Roll Marathon*, che avrebbe dovuto svolgersi a Montreal nel settembre 2017.

Gli eventi meteorologici estremi che i cambiamenti climatici rendono più frequenti possono ripercuotersi negativamente, sia in modo diretto (e.g. danneggiando fisicamente le infrastrutture che ospitano l'evento) che indiretto (e.g. ricadute economiche negative o costi aggiuntivi introdotti da nuove normative). In questo contesto, secondo Berkhout (2012), gli enti organizzatori giocano un ruolo centrale in risposta alla sfida posta dai cambiamenti climatici.

Da un punto di vista gestionale, così come le attività produttive legate all'agricoltura o al turismo, lo sport può essere equiparato ad un'attività produttiva clima-dipendente, in cui la qualità del prodotto offerto (i.e. evento sportivo/prestazione agonistica), può essere compromesso, ma anche acquisire valore aggiunto, in funzione delle condizioni climatiche ed ambientali in cui questo si svolge.

A questo proposito, è interessante osservare l'importanza che gli organizzatori hanno dato all'aspetto climatico in relazione al successo/insuccesso dell'evento sportivo organizzato. A titolo di esempio, nella relazione conclusiva dei Giochi Olimpici Invernali tenutisi ad Innsbruck nel 1976, si può leggere: “*gli organizzatori si rendono conto che le meravigliose condizioni meteorologiche hanno dato un considerevole contributo al successo della manifestazione*” (OWGOC, 1976), a sottolineare che condizioni climatiche favorevoli hanno inciso positivamente sul successo della manifestazione sportiva nel suo complesso. Per contro, a conclusione dei Giochi Olimpici Invernali tenutisi a Vancouver nel 2010, gli organizzatori hanno dichiarato che “*il clima troppo caldo ha messo a dura prova la nostra abilità di preparare i campi da gioco per gli atleti nella sede di Whister presso Cypress Mountain*” (The LA84 Foundation, 2010). La vulnerabilità, la resilienza e le strategie di adattamento degli enti organizzatori di un evento sportivo inteso come attività produttiva clima-dipendente, inoltre, dipendono direttamente dalla disponibilità delle risorse accessibili in un sistema climatico stabile in cui, però, possono inserirsi condizioni climatiche estreme. Purtroppo, questa tipologia di studi in ambito gestionale non è stata ancora sufficientemente sviluppata nel contesto sportivo e le risorse in letteratura sono tuttora limitate (Dingle e Stewart, 2018; Orr e Inoue, 2019). I pochi studi disponibili si focalizzano solo su un numero ristretto di sport e di sedi che, nella maggior parte dei casi, sono collocate nell'emisfero boreale, fornendo una rappresentazione solo parziale e sbilanciata del problema. Gli enti organizzatori saranno chiamati a sviluppare nuove strategie di gestione ed a mettere in opera misure efficaci di adattamento. L'adattamento comprenderà anche la ca-

pacità dell'ente organizzatore di far fronte ai costi diretti ed indiretti associati ai danni fisici causati alle infrastrutture dovuti ad eventi climatici di varia natura, come ad esempio eventi estremi (cicloni, siccità, incendi), impatti gradualmente (innalzamento del livello del mare) e cambiamenti su larga scala (*i.e.* quando un impatto graduale eccede un valore critico di soglia). Secondo alcuni autori, questi aspetti andrebbero inclusi nel piano strategico del comitato organizzatore (Linnenluecke *et al.*, 2015). Uno studio recente (Dingle e Stewart, 2018), focalizzato sulla vulnerabilità degli stadi australiani in cui si svolgono eventi sportivi come ad esempio partite di *rugby* e di calcio, offre un interessante spunto di riflessione riguardante gli impatti dei cambiamenti climatici sull'industria dello sport. Lo studio, infatti, mette in evidenza come i cambiamenti climatici possano presentare diverse tipologie di problemi che gli enti organizzatori hanno già dovuto affrontare nel corso degli ultimi vent'anni. Benché si tratti di uno studio condotto in un contesto specifico (il continente australiano), i suoi risultati possono essere estesi anche a stadi o infrastrutture ospitanti eventi sportivi di altri continenti, potenzialmente interessati da analoghe tipologie di impatti climatici. Una problematica ricorrente, diffusamente sottolineata dagli organizzatori degli eventi *outdoor* nei principali stadi australiani, è quella dell'approvvigionamento di risorse idriche naturali. La riduzione delle precipitazioni piovose in concomitanza con un maggiore livello di evaporazione, infatti, ha reso sempre più complicato il mantenimento delle condizioni ottimali del manto erboso per lo svolgimento dell'attività sportiva, richiedendo un crescente approvvigionamento di risorse idriche esterne, con un conseguente aumento del costo dell'acqua e la messa in opera di nuovi impianti ed infrastrutture, impattando negativamente sulla sostenibilità dell'evento sportivo. Queste problematiche sono già evidenti nel contesto australiano che ha sperimentato un decennio particolarmente siccitoso tra il 1996 e il 2008 (*Millennium Drought*), ma potranno presentarsi sempre più frequentemente in tutte quelle aree dove i modelli climatici prevedono una diminuzione considerevole delle precipitazioni, tra cui l'Europa Meridionale ed il Sud Italia in particolare (IPCC, 2018).

Un secondo elemento che mette in relazione l'organizzazione degli eventi sportivi ed i cambiamenti climatici è chiaramente l'aumento delle temperature, a sua volta strettamente connesso con problematiche di approvvigionamento energetico.

In un'ottica di mitigazione del cambiamento climatico, l'ottimizzazione dei consumi e le strategie di efficientamento energetico sono questioni chiave per la riduzione di emissione di gas serra (*i.e.* CO₂, CH₄ e N₂O, tra gli altri) ed il contenimento dei loro effetti sul riscaldamento globale. D'altra parte, da un punto di vista economico, queste strategie gestionali risultano anche utili per controbilanciare i costi diretti aggiuntivi indotti dal cambiamento climatico stesso. Purtroppo, ad oggi, l'utilizzo di energie rinnovabili non ha raggiunto una significativa copertura ed andrebbe maggiormente incentivato. Si consideri, ad esempio, che nonostante i buoni propositi dichiarati dagli enti organizzatori, in Australia, solo uno stadio su 15 possiede un impianto fotovoltaico capace di coprire il 20% del fabbisogno energetico totale (Dingle e Stewart, 2018).

La riduzione delle emissioni di gas serra è direttamente collegata con il contenimento dell'aumento della temperatura media globale annuale, anche se, nella valutazione degli impatti sulle manifestazioni sportive, una maggiore attenzione dovrebbe essere posta alle condizioni di temperatura in relazione alla stagione ed alla sede di svolgimento dell'evento sportivo stesso. Il *baseball* e gli sport invernali ne sono un esempio. La maggior parte delle partite di *baseball* si svolge nella stagione estiva ed hanno un notevole impatto economico-culturale in nazioni oltreoceano come gli USA, il Canada, la Repubblica Dominicana, Cuba così come in Giappone e Taiwan (Jun Lee, 2007; Klein, 2013). Nel caso del *baseball*, è stato osservato che l'aumento della temperatura influisce negativamente sulle *performance* degli atleti (Orr, 2020). Drane e Sherwood (2004) hanno dimostrato, ad esempio, che l'aumento della temperatura, determina una diminuzione della velocità di lancio della palla e rallenta notevolmente il gioco. D'altro canto, le attività sportive che vengono svolte nella stagione invernale, come lo sci di fondo, si trovano ad affrontare diverse problematiche legate all'aumento della temperatura. Nel caso delle attività sportive invernali, in generale, è facile immaginare che un aumento della temperatura possa compromettere l'esistenza stessa del manto nevoso, favorendo per esempio, la fusione della neve e costringendo gli enti organizzatori a sopperire a tale mancanza attraverso l'impiego di impianti per la generazione di neve artificiale od il trasporto di neve naturale da altri siti in condizioni di emergenza, come successo a Vancouver nel 2010.

Un terzo elemento da considerare, e che preoccupa significativamente gli enti organizzatori, è quello legato alle politiche governative nel medio-lungo termine. Una strategia governativa a livello globale è al momento limitata alla stipula di accordi non strettamente vincolanti (e.g. The 2015 Paris Climate Conference (COP21)) che rischiano però di destabilizzare le strategie economiche degli enti organizzatori. Le politiche governative sulla gestione delle emissioni a medio-lungo termine sono ancora troppo generiche e l'introduzione di una non meglio definita *carbon tax* crea un clima di incertezza che frena possibili investimenti, come lamentato dalla maggior parte degli enti organizzatori (Dingle e Stewart, 2018).

Un ulteriore elemento che va preso in considerazione, anche da un punto di vista climatico oltre che ambientale, riguarda la gestione dei rifiuti nel contesto dell'evento sportivo. La gestione dei rifiuti si inserisce nel contesto del cambiamento climatico in quanto lo smaltimento di quelli solidi prodotti durante le manifestazioni sportive influisce sull'emissione di gas serra (i.e. metano) come riconosciuto da numerose agenzie ambientali internazionali (DCEE, 2007; DEE, 2012; IEA, 2008; US EPA, 2018; EPA VIC, 2018). La gestione dei rifiuti dovrebbe passare attraverso la messa in opera di sistemi di riciclo a circuito chiuso presso le maggiori infrastrutture che ospitano eventi sportivi di rilievo ed andrebbero incentivate dagli organi governativi.

2.1. Sport outdoor, sicurezza e benessere degli atleti

L'aumento della temperatura e delle condizioni di umidità non ha impatti solo sugli aspetti economici e logistici del mondo dello sport, ma anche sulla salute e sulla sicurezza degli atleti, sia professionisti che amatoriali. Lo svolgimento di una qualsiasi attività sportiva implica l'attivazione di sistemi di termoregolazione corporei. La produzione di calore durante l'attività fisica è 15-20 volte maggiore che a riposo, ed in assenza di una termoregolazione efficace, il calore prodotto può causare un aumento della temperatura corporea di 1°C ogni 5 minuti (Nadel *et al.*, 1977). Allo scopo di dissipare l'eccesso di calore ed evitare una condizione di ipertermia, il nostro corpo utilizza diversi meccanismi di raffreddamento quali: conduzione, convezione, evaporazione e radiazione. Tuttavia in ambienti con temperature maggiori di 20°C, l'unico meccanismo di raffreddamento efficace è l'eva-

porazione attraverso il sudore (circa il 98% del calore viene dissipato con questo meccanismo in condizioni di caldo-asciutto (Armstrong *et al.*, 1996)). Un elevato tasso di umidità ambientale può rallentare il processo di evaporazione, compromettendo l'unico meccanismo di dissipazione efficace in condizioni di temperature maggiori di 20°C. Alcuni autori hanno già osservato come praticare attività fisica in condizioni di elevate temperature e umidità possa causare stress termico negli atleti, con conseguenze più o meno gravi, dall'edema termico, ai crampi, alla sincope da calore, all'infarto (Coris *et al.*, 2004). Poiché l'esercizio fisico in ambienti caratterizzati da temperature e tassi di umidità elevati può avere conseguenze negative sulla salute, è lecito chiedersi quali possano essere gli impatti di un riscaldamento globale sulla salute di atleti impegnati a svolgere attività sportiva endurance. Sherwood e Huber (2010) hanno osservato che anche un apparentemente modesto incremento della temperatura (i.e. +2°C) sarebbe in grado di creare un considerevole stress termico, poiché la temperatura della pelle non dovrebbe eccedere i 35°C per un tempo prolungato. Le stime del *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC, 2010) supportano lo studio di Sherwood e Huber. Basti pensare che dei 9000 eventi di patologie indotte da stress termico sotto sforzo che colpiscono annualmente gli atleti studenteschi statunitensi, circa i due terzi accadono in agosto, in concomitanza con gli allenamenti pre-campionato. Il football è lo sport più colpito, in cui l'85% dei casi delle patologie indotte da stress termico si è manifestato durante l'esercizio fisico. Secondo W. Adams, professore di kinesiologia all'Università del Nord Carolina (in Nicole, 2019), la vulnerabilità del football è da attribuirsi alla tipologia di abbigliamento e protezioni che coprono circa il 75% del corpo, impedendo un'efficace termoregolazione mediante evaporazione. Queste stime sembrano pertanto smentire le argomentazioni atte a sminuire i potenziali rischi associati ai cambiamenti climatici. Negli Stati Uniti, la crescente consapevolezza che il cambiamento climatico potrà avere degli effetti sulla salute degli atleti ha indotto il *National Athletic Trainers Association Inter-Association Task Force (NATA-IATF)* a pubblicare, nel 2009, delle linee guida per prevenire patologie legate allo stress da calore sotto sforzo che sono state introdotte negli istituti scolastici superiori in via sperimentale (Kerr *et al.*, 2019). Nicole (2019) ha valutato gli effetti dell'applicazione di queste linee guida, osservando che la loro applicazione ha con-

tribuito a ridurre della metà (55%) il numero di casi di patologie correlate a stress termico sotto sforzo.

L'aumento della temperatura non avrà effetti solo sulle patologie legate allo stress termico, ma anche sulla sicurezza degli atleti. Secondo l'IPCC (2018), l'aumento della temperatura comporterà anche un aumento delle precipitazioni piovose. Si stima che in alcuni stati degli USA, un aumento delle temperature di +1.2-1.4°C comporterà un aumento delle precipitazioni piovose del 2-4% nella stagione estiva tra il 2065-2100. Come osservato da Null (2014), nel caso del baseball, un aumento dell'umidità del campo da gioco determina anche un aumento della probabilità di infortunio degli atleti. Nella stagione invernale, l'aumento della piovosità può favorire la formazione di ghiaccio, con analoghe conseguenze per gli sport invernali (Smith *et al.*, 1996).

In conclusione, gli impatti dei cambiamenti climatici sull'esercizio delle attività sportive, sia a livello professionale che amatoriale, dovranno essere valutati anche in relazione alla sicurezza, benessere e salute degli atleti.

2.2. Previsioni meteorologiche ed eventi sportivi: cambiano geografia e calendari

In un report del *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UN/ISDR) del 2004, il rischio climatico è stato definito come una combinazione tra la probabilità del verificarsi di un dato evento e la vulnerabilità del sistema (UN/ISDR, 2004). Determinare la probabilità con cui un evento estremo possa accadere in un determinato luogo e in un certo tempo è, e rimane, una delle principali sfide nel campo della climatologia. Tuttavia, per quanto non sia possibile prevedere con largo anticipo il verificarsi di un evento estremo e sfavorevole allo svolgimento di una manifestazione sportiva (Benedetti, 2019), nel corso degli ultimi anni, i climatologi hanno implementato alcuni modelli basati su metodi di *downscaling* regionale, capaci, cioè, di fornire una maggiore risoluzione spazio-temporale delle proiezioni climatiche, funzionali alla valutazione dei possibili impatti futuri (IPCC, 2018). Notevoli progressi sono stati fatti nel campo della modellistica rispetto a quanto riportato nel *Fourth Assessment Report* (AR4) del 2007 (IPCC, 2007), ed è ragionevole prevedere uno sviluppo di modelli climatici sempre più raffinati e robusti per il prossimo decennio. Questo consentirà di individuare località e date più adatte

in cui ospitare le manifestazioni sportive del XXI secolo, consentendo agli organizzatori di sviluppare contromisure efficaci per contenere il rischio climatico (Orr e Inoue, 2019). Inoltre, come osservato (Scott *et al.*, 2019), questi cambiamenti si ripercuoteranno sulla distribuzione geografica e calendario delle manifestazioni sportive del futuro. Nel caso dei Giochi Olimpici Invernali, per esempio, in uno scenario di mitigazione in cui le emissioni saranno considerevolmente ridotte (RCP 2.6), si stima che solo 13 delle 21 località attualmente individuate saranno ancora adeguate ad ospitare lo svolgimento dei Giochi Olimpici Invernali nel 2050, riducendosi a 12 nel 2080, mentre, per i Giochi Paralimpici, solo 10 di queste saranno ancora adatte per entrambi questi orizzonti temporali. In uno scenario ad elevate emissioni (RCP 8.5), invece, la riduzione del numero delle località capaci di ospitare questi eventi si ridurrà a 10 nel 2050 e ad 8 nel 2080 per i Giochi Olimpici Invernali, mentre quelli Paralimpici potranno essere svolti, nel 2080, solo in 4 località.

2.3. Lo sport outdoor: opportunità per contrastare i cambiamenti climatici?

Lo sport non è solo influenzato dal cambiamento climatico ma è anche un'opportunità per mettere in essere interventi fattivi di contrasto allo stesso. Alcune iniziative, come *Sport for Climate Action* (UNFCCC, 2020) si muovono esattamente in questa direzione. Esso si propone l'ambizioso obiettivo di creare una maggiore consapevolezza tra i cittadini e di intervenire, laddove possibile, al fine di mantenere le emissioni di gas serra in linea con uno scenario climatico ben al di sotto dei 2°C. Cittadini e atleti, sia professionisti che amatoriali, sono chiamati a favorire una sempre maggiore interazione tra attività sportive, mondo della ricerca e innovazione in campo climatico, come nel caso di Kilian Jornet i Burgada e la sua fondazione (fonte: www.kilianjornetfoundation.org) impegnati in significativi progetti ambientali tra cui il sostegno al World Glacier Monitoring Service (WGMS), che da oltre un secolo promuove osservazioni standardizzate dei ghiacciai.

Vari autori hanno largamente contribuito a sottolineare l'importanza della relazione tra attività sportiva ed ambiente, mettendo in evidenza come lo sport possa favorire una sensibilizzazione nei confronti della natura (Loland, 2001; Ilundain-Agurruza, 2007). Questi studi hanno dimostrato che lo sport ad ogni livello può contribuire a modellare

ed incoraggiare pratiche virtuose di cittadinanza ambientale, con particolare riferimento allo sci, il surf e l'alpinismo che favoriscono un riavvicinamento tra uomo e natura. Altri autori hanno largamente discusso gli impatti ambientali dello sport (impronta ecologica) dovuti alla manifestazione nel suo complesso che coinvolge il trasporto di atleti, fans e media, l'utilizzo di spazi per garantire vitto e alloggio, e la costruzione di nuovi stadi e strutture (Collins e Flynn, 2008). In questo contesto, potrebbe essere lecito chiedersi se è ancora accettabile, ad esempio, spendere risorse per raffreddare uno stadio al fine di creare le condizioni adatte per lo svolgimento dell'attività sportiva o se l'utilizzo della neve artificiale non vada in contrasto con i principi ecologici che vengono sempre più diffusi e condivisi dalla nostra società. Edgar (2020), in una sua riflessione si chiede se i cambiamenti climatici possano introdurre una nuova questione morale nella deontologia sportiva: sarà ancora accettabile, alla luce dei cambiamenti climatici, organizzare manifestazioni sportive su larga-scala in sedi storiche e iconiche che non sono o non saranno in grado di garantire naturalmente le condizioni ambientali favorevoli allo svolgimento dell'evento? Saranno sostenibili spostamenti internazionali di massa di sostenitori e spettatori? Saranno ancora moralmente accettabili alcuni sport motoristici che utilizzano combustibili fossili non rinnovabili? Sarà ragionevole chiedere agli appassionati di motori di seguire con la stessa passione una competizione tra automobili elettriche?

La questione posta da Andrew Edgar ha un profondo valore per la società del futuro. Quale etica per un evento sportivo in un contesto di crisi ambientale e cambiamenti climatici? In ultima analisi, sarà la risposta che daremo a questa domanda a determinare l'organizzazione delle manifestazioni sportive nel futuro ed il ruolo dello sport nella società a venire.

3. EVENTI SPORTIVI OUTDOOR E MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Le attività sportive *outdoor* rappresentano, certamente, una grande opportunità per il benessere psicofisico degli individui che le praticano. Esse sono ulteriormente favorite dalla possibilità di poterle effettuare in ambienti spesso quasi incontaminati e di grande pregio ecologico-naturalistico.

Secondo la organizzazione internazionale EPSI (*European Platform for Sport Innovation*) se i cit-

tadini dell'Unione Europea di età compresa tra i 20 e i 74 anni si convincessero ad andare in bici o a camminare anche solamente 15' al giorno in più, si potrebbero prevenire 100.000 morti premature all'anno.

Tuttavia, con frequenza crescente, si riscontrano situazioni per le quali eventi sportivi *outdoor* di rilevante importanza risultano essere fortemente condizionati da situazioni meteorologiche estreme, con particolare riferimento alla qualità dell'aria, costringendo così le federazioni sportive di molte discipline olimpiche a redigere specifici protocolli con i quali cercare di normare se, date certe condizioni di criticità ambientale, lo svolgimento di certe attività sportive *outdoor* può essere o non essere raccomandato. Nel caso del ciclismo, disciplina il cui svolgimento è intrinsecamente legato ad un'ampia variabilità del territorio (fino a 300 chilometri in orizzontale e quasi 3.000 metri in verticale) in cui si svolgono le competizioni, in linea o a tappe, il protocollo prevede 6 situazioni in cui si rende obbligatorio convocare l'apposito Comitato composto da Giudici, Corridori, Direttori Sportivi e Organizzatore. E tra le sei criticità che possono portare anche all'annullamento della corsa, una è l'inquinamento atmosferico (UCI, 2016).

I principali inquinanti che vengono monitorati per la valutazione della qualità dell'aria per quanto concerne gli eventi sportivi *outdoor* sono principalmente quelli previsti dalla normativa italiana vigente (D.Lgs 155/2010): biossido di zolfo (SO₂), ossidi di azoto (NO e NO₂), ozono (O₃), monossido di carbonio (CO), benzene (C₆H₆ o BTEX), materiale particolato PM₁₀ (particelle con diametro aerodinamico <10µm), materiale particolato PM_{2,5} (particelle con diametro aerodinamico <2.5 µm), benzo(a)pirene (B(a)P), arsenico (As), cadmio (Cd), nichel (Ni).

È il caso di ricordare, a beneficio delle categorie coinvolte nel Comitato di cui sopra che, per la buona riuscita degli eventi sportivi *outdoor* di un certo livello, gli inquinanti dell'aria possono venire preventivamente rilevati da sistemi di analisi in continuo mediante monitoraggio automatico oppure utilizzando tecniche di campionamento manuale e successiva determinazione in laboratorio. Il D.Lgs 155/2010, all'art. 2, nel definire le modalità per la valutazione della qualità dell'aria, riporta anche le tecniche analitiche da utilizzare per i diversi inquinanti atmosferici.

Le attività sportive *outdoor* possono rappresentare un'importante occasione e un aiuto nel monitorag-

Sensoristica per uso sportivo

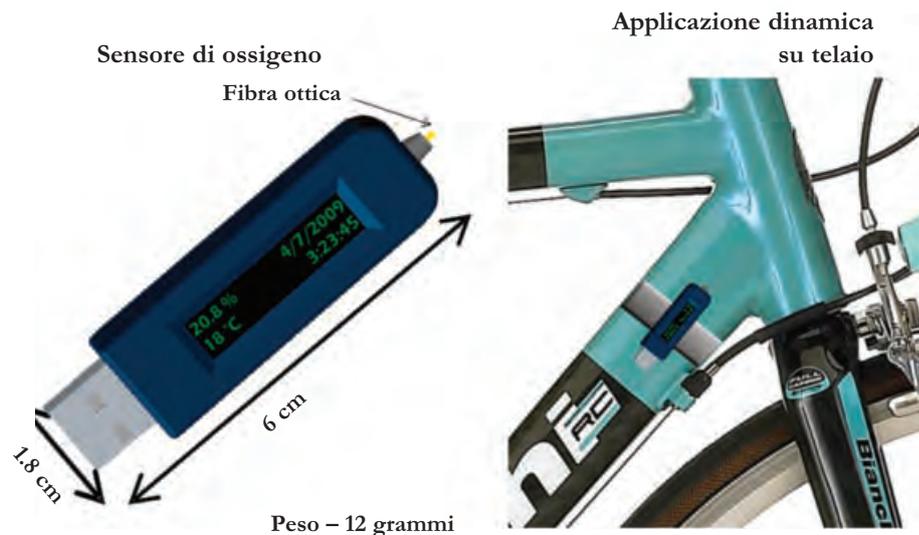


Figura 1 – Esempio dei sensori LED in fase di sperimentazione e sviluppo (CPAC – University of Washington)

gio dell'inquinamento atmosferico, in particolare della qualità dell'aria.

Recentemente, ispirate molto probabilmente da esigenze sportive finalizzate a garantire aree salubri di competizione ed allenamento (Berghmans *et al.*, 2009), sono stati prodotti sensori di rilevamento automatico di dimensioni e peso ridotti, integrati in sistemi informativi territoriali ad uso e consumo dei direttori sportivi.

Parametri come PM₁₀, SO₂, NO e NO₂, O₃ possono venire determinati e monitorati in modo automatico con sensori leggeri e poco ingombranti che ben si coniugano ad alcune discipline sportive *outdoor* come il ciclismo. La qualità delle loro misure deve essere costantemente valutata e controllata con metodologie standard e ufficialmente riconosciute, ma la loro facilità d'uso, il basso costo e la loro versatilità li rendono molto utili in numerose occasioni di eventi sportivi *outdoor*.

A tal riguardo, sistemi integrati automatici e a basso costo potrebbero essere utilizzati dagli atleti e da tutti i partecipanti a manifestazioni sportive *outdoor* per monitorare l'ambiente in cui stanno effettuando l'attività fisica, sia per avere un loro riscontro personale sulla salubrità dell'ambiente, sia per aiutare gli organizzatori e gli enti ad avere una più chiara consapevolezza della qualità dell'aria.

Tali sensori (CPAC, 2010) possono essere trasportati dagli atleti o dalla carovana, fornendo un utile contributo alla conoscenza della qualità ambientale, attraverso un concreto esempio di "citizen science". Essi (Fig. 1) sono costituiti da un LED (405 nm) controllato da uno spettrometro USB. Il sistema è stato testato in un range che va

dai 4°C ai 37°C, al fine di riprodurre le condizioni ambientali tipiche di una gara *outdoor*; è previsto sia un sistema di immagazzinamento dei dati raccolti (fino a 16 Mb) che una trasmissione di questi in modalità wireless con frequenza 2.4 GHz. A seconda del sensore installato si possono misurare vari elementi e composti quali ad esempio O₂, CO₂, ossidi di azoto e zolfo, idrocarburi, con una prestabilita cadenza temporale di monitoraggio (da 30" a 60'). Tali attività di ricerca scientifica, dedicata al mondo del ciclismo e soprattutto alle società organizzatrici di manifestazioni sportive, hanno già numerosi e significativi esempi di applicazione a livello internazionale: la metodologia proposta e i risultati hanno avuto ampia eco sia a livello scientifico che sportivo e sociale (ad es. in Belgio, nella regione delle Fiandre, è stata avviata la produzione di cartografia dedicata alle società sportive (Berghmans *et al.*, 2009) così da scegliere itinerari di allenamento con bassi livelli di inquinamento ed il coinvolgimento della popolazione per un utilizzo consapevole del trasporto privato).

Se è certamente importante, sia per gli atleti che per gli organizzatori, essere pienamente consapevoli che le attività sportive *outdoor* sono fortemente influenzate dall'inquinamento atmosferico, non meno interessante è conoscere come l'organizzazione e il controllo di grandi eventi sportivi possono, a loro volta, influenzare la qualità dell'aria delle città che li ospitano. De La Cruz *et al.* (2019) studiando l'inquinamento atmosferico presente a Rio de Janeiro prima, durante e dopo lo svolgimento dei Giochi Olimpici di Rio 2016,

osservarono che la concentrazione degli inquinanti atmosferici diminuivano durante il periodo olimpico. Essi interpretarono questi risultati come dovuti ad una accresciuta e migliore gestione del traffico e della circolazione urbana messa in atto dalle autorità locali in occasione di questi grandi eventi sportivi di risonanza internazionale. Risultati simili sono stati ottenuti da Wang *et al.* (2009) durante le olimpiadi di Pechino 2008. Gli autori riportarono concentrazioni di PM₁₀ a Pechino durante le olimpiadi da 1.9 a 3.5 volte maggiori rispetto a quelle rilevate durante le olimpiadi di Atene e Sydney ma inferiori del 9-27% rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente.

L'inquinamento atmosferico inoltre può aumentare o anche diminuire la qualità e il prestigio delle competizioni sportive. Diversi sono stati i casi in cui gli atleti di fama mondiale si sono espressi in termini negativi rispetto a competizioni in cui erano presenti scarse qualità ambientali. Ne sono esempi gli interventi di Novak Djokovic (attuale "numero 1" della classifica ATP) e Kim Clijsters (ex "numero 1" della classifica WTA) che durante gli *Australian Open 2020* hanno messo in evidenza la problematica dell'inquinamento atmosferico dovuto agli incendi e che hanno auspicato regole e maggiore attenzione all'inquinamento dell'aria nell'organizzare e programmare i tornei di tennis.

Recentemente sta assumendo una rilevanza crescente la cosiddetta "citizen science", con la quale si ottiene una forma di partecipazione dei cittadini al monitoraggio ambientale e anche alla ricerca scientifica (Riesch e Potter, 2014). In molte occasioni essa si è focalizzata sul monitoraggio dell'inquinamento atmosferico e, in particolare, sulla qualità dell'aria. A testimoniare l'importanza di coinvolgere il comune cittadino nelle attività sperimentali di ricerca a livello europeo sono nate associazioni e network tra cui *The European network of science centres and museums* (ECSITE) e la *European Citizen Science Association* (ECSA). Sono rispettivamente *network* ed associazione no-profit che hanno lo scopo di incentivare e favorire lo sviluppo di progetti di monitoraggio ambientale con il coinvolgimento in prima persona dei cittadini europei (Bonney *et al.*, 2014).

Molti progetti, sia nazionali che europei, prevedono l'utilizzo di sensori a basso costo che con l'ausilio di cittadini volontari, tra cui sportivi amatoriali durante mass event podistici, hanno permesso di monitorare e ottenere informazioni sulla distribuzione di inquinanti atmosferici in vari ambienti.

Si ricordano, a titolo di esempio, i progetti europei *Captor* e *iScape*, e quelli nazionali come *CITISENSE*, *CleanAir@School* e *Air Heritage*.

In effetti risulta possibile, e anche auspicabile, combinare, per così dire, i principi della "citizen science" con l'utilizzo di nuovi sensori a basso costo da parte dei partecipanti ad attività sportive outdoor, al fine di promuovere una sorta di sistema di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico che, nelle mani degli organi di gestione e degli organizzatori delle gare *outdoor*, può condurre ad una migliore comprensione della qualità dell'aria nella quale si svolgono le competizioni e, nello stesso tempo, aggiungere una *mission* ambientale alle manifestazioni sportive.

4. EVENTI SPORTIVI SOSTENIBILI: IL RUOLO CHIAVE DELLA BIODIVERSITÀ

4.1. Attività sportive outdoor e conservazione della biodiversità: rapporto complesso

Già a partire dai primi anni del 2000 diversi autori, ecologi e naturalisti hanno messo in evidenza diverse criticità tra l'esercizio di attività sportive *outdoor* e conservazione della biodiversità nelle aree in cui tali attività vengono abitualmente svolte.

La biodiversità è semplicemente il modo con il quale la biosfera è strutturata. Il termine biodiversità (Odum e Barrett, 2006; Galassi *et al.*, 2014), coniato in USA negli anni 80, esprime la diversità che in natura esiste ai tre livelli fondamentali di organizzazione della biosfera:

- 1) diversità genetica;
- 2) diversità di specie;
- 3) diversità di habitat e di ecosistemi.

La variabilità della organizzazione degli esseri viventi in questi tre livelli fondamentali è il materiale di base sul quale opera incessantemente la selezione naturale per garantire l'adattamento funzionale degli stessi esseri viventi, *uomo incluso*, al continuo mutare delle condizioni ambientali. In assenza o carenza di capacità adattativa a questo continuo mutamento ambientale, viene meno anche la sostenibilità ambientale, con tutte le sue essenziali implicazioni in termini di servizi ecosistemici resi correntemente ai residenti in una data area, quali la stabilizzazione del clima, il riciclo dei rifiuti, l'acqua pura, la produzione di cibo, ecc., In queste condizioni molto difficilmente i servizi ecosistemici potranno essere ancora garantiti per le generazioni future.

In non pochi casi, la conservazione della biodiversità diventa una “opportunità economica”, perché da essa possono originarsi attività economiche importanti indotte dall’esercizio di alcune specifiche attività sportive correlate con la gestione della biodiversità stessa.

Nel 2003 la prestigiosa rivista *Nature* riporta gli esiti di un ampio studio multidisciplinare (Oldfield *et al.*, 2003) dal quale risulta che gli ambienti naturali della campagna inglese di proprietà privata sono gestiti con molta maggiore attenzione alla conservazione della biodiversità che non gli ambienti naturali di proprietà pubblica. Lo studio precisa (forse in termini non accettabili per i lettori con maggiore sensibilità animalistica) che questi habitat naturali gestiti da privati sono anche quelli nei quali vengono esercitati gli sport della tradizione nobiliare inglese, fra i quali, la caccia alla volpe. Lo studio conclude con il suggerimento che è interesse dello stato aiutare con sgravi fiscali quei proprietari che proteggendo, su base volontaria, la biodiversità della propria proprietà, favoriscano indubbi vantaggi alla biodiversità diffusa in tutte proprietà circostanti. Sulla stessa linea intesa ad evidenziare il rapporto positivo tra la conservazione della biodiversità e un’attività sportiva quale la caccia è il contributo di Loveridge (2007). In questo studio sono messi in evidenza i vantaggi per la conservazione della biodiversità derivanti dall’esercizio di uno sport come la caccia sportiva quando questa attività fosse correttamente regolamentata e finalizzata alla conservazione delle specie che necessitano di un controllo numerico continuo al fine di conservare le struttura della comunità biotica alla quale esse appartengono.

Le attività economiche indotte da politiche finalizzate a “sfruttare” la conservazione della biodiversità sembrano svolgere, almeno apparentemente, un ruolo positivo nel sostenere le economie di non pochi paesi poveri, specialmente africani, privi di altre risorse attrattive. È però il caso di osservare che, per esempio, la caccia sportiva, esercitata nei grandi parchi e riserve africane di animali rappresentativi della biodiversità di queste ben note e grandi strutture conservazionistiche, quali leoni, leopardi, rinoceronti, elefanti (la cosiddetta *trophy hunting*), per quanto strettamente regolamentata ed anche, apparentemente, di una certa importanza per le economie di queste aree povere del pianeta (Humavindu *et al.*, 2003; Lindsey, 2007; Lindsey *et al.*, 2008; Saayman *et al.*, 2018), è stata ed è oggetto di molte controversie e di un intenso dibattito a livello globale (Packer *et al.*, 2011; Yasuka,

2012) che coinvolge anche l’Unione Mondiale per la Conservazione della Natura (IUCN, 2016, 2019a, 2019b). Nel noto Rapporto “*Trophy Hunting by the Numbers*” (2016), edito dalla *The Humane Society of the United States* vengono riportate alcune statistiche, certamente significative, per quanto riguarda l’impatto della caccia sportiva sulla biodiversità dei parchi e riserve africane. Il rapporto precisa che nella sola decade 2005-2015 sono stati, approssimativamente, uccisi con la tecnica *Trophy Hunting*: 5600 leoni, 4600 elefanti, 4500 leopardi, 330 rinoceronti bianchi africani, 17200 bufali africani, ecc. Si noti, in proposito, che il leone africano, il leopardo africano, l’elefante e il rinoceronte bianco africani sono dichiarati ufficialmente specie a rischio di estinzione (specie dichiarate vulnerabili o minacciate) in quanto incluse nella Lista Rossa dell’Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN).

I danni alla biodiversità delle comunità dei pesci di acque dolci o marine addebitabili alla pesca sportiva, specialmente se comparati al fenomeno ormai globale dell’“*overfishing*”, sembrano essere, in generale, ancora abbastanza modesti. Tuttavia la pesca sportiva, per quanto praticata solo durante i week-end, per esempio, da circa 40 milioni di appassionati americani, è, a volte, assai selettiva perché riguarda poche specie ittiche le quali sono anche, molto spesso, specie protette in quanto a rischio di estinzione. Recenti contributi (Lewin *et al.*, 2019) sostengono anche l’ipotesi di una ormai emergente conflittualità tra la pesca sportiva, esercitata da un numero di appassionati sempre più grande e regolamentata in modo spesso non omogeneo tra paesi confinanti, e gli interessi della grande industria ittica.

Oggetto di discussioni è anche il cosiddetto “*catch and release*”. È una forma di pesca sportiva, molto praticata in USA e nei paesi nord europei, per la quale non si uccide il pesce pescato ma lo si rilascia in acqua subito dopo la cattura. Essa non sembra essere una pratica priva di imprevisti e possibili danni alla biodiversità ittica (Bartholomew *et al.*, 2005; Cooke e Schram, 2007) in quanto spesso, sotto l’assunto di non arrecare danni alla biodiversità ittica, viene esercitata in aree marine protette e, inoltre, risulta che una percentuale significativa di pesci rilasciati muore entro poco tempo dal rilascio in acqua a causa dello stress e dai traumi fisici subiti durante la cattura.

Non solo gli sport invernali in quanto tali ma il complesso delle attività necessarie per l’esercizio di tali sport e l’indotto di tipo turistico conseguen-

te hanno da tempo attirato l'attenzione preoccupata di naturalisti ed ecologi.

L'autorevole *Journal of Applied Ecology* ospita un importante contributo (Wipf *et al.*, 2005) che mostra gli effetti negativi sulla biodiversità vegetazionale delle Alpi Svizzere imputabili al complesso dei lavori necessari per aprire o allungare piste da sci e per l'impianto di strutture per l'utilizzo della neve artificiale. In particolare il lavoro, mediante il confronto con aree alpine comparabili ma non toccate dagli impianti da sci, mette in evidenza un rilevante abbassamento della biodiversità vegetazionale nelle aree nelle quali l'utilizzo della neve artificiale è continuato per più anni. Anche la fauna alpina così come risulta in più pubblicazioni (Patthey *et al.*, 2008; Sato *et al.*, 2013) risulta decisamente penalizzata dalla apertura di piste da sci perché i lavori necessari a tale scopo molto spesso distruggono o riducono gli habitat naturali necessari per la sopravvivenza di molta fauna alpina.

D'altra parte è il caso di ricordare che molte popolazioni vallive alpine che ora ospitano impianti di risalita affollati di turisti durante i week-end dei mesi invernali, hanno sperimentato, in età prescistica, un isolamento pressoché completo dal mondo circostante per tutta la durata invernale con una economia sostanzialmente, al limite della sussistenza.

Il successo crescente di molti eventi sportivi *outdoor* quali, per esempio, le numerose corse ciclistiche amatoriali che vengono programmate nell'arco dell'anno, dipende anche dal fatto che esse vengono realizzate, principalmente, in ambienti di grande pregio ecologico-naturalistico, caratterizzati da una elevata biodiversità, e quindi con una rilevante capacità attrattiva. Indubbiamente le folle di appassionati e turisti che accorrono per seguire da vicino questi eventi sportivi possono arrecare danni alla integrità della biodiversità locale. Per quanto si tratti di eventi sportivi a volte di breve durata, i possibili danni riguardano ambienti il cui grande valore ecologico-naturalistico è correlato ad una intrinseca e rilevante fragilità ecologica. Si noti, inoltre, che la preparazione e la realizzazione di un evento sportivo *outdoor*, anche se di breve durata come in questi casi, rappresenta per le comunità locali e per le loro istituzioni (Comuni, Provincie, Regioni) una occasione importante per valorizzare i loro territori con indubbi vantaggi per le loro economie ancor oggi, non particolarmente prospere.

È necessario favorire negli organizzatori di eventi sportivi, la consapevolezza dell'importanza e del-

la necessità di tener conto, in via preliminare, delle caratteristiche ecologico-ambientali dei luoghi coinvolti negli eventi sportivi stessi, con particolare riferimento alla necessità della conservazione della biodiversità. Tale consapevolezza è peraltro favorita e rinforzata dai numerosi interventi normativi di molte istituzioni sportive nazionali e internazionali di seguito descritte.

4.2. Il quadro europeo e nazionale sugli eventi sportivi sostenibili con particolare riferimento alla conservazione della biodiversità

Uno dei primi e più importanti contributi della Commissione Europea sulle tematiche inerenti all'esercizio delle attività sportive è il *Libro Bianco dello Sport* (CE, 2007).

Nel Libro Bianco si riconosce esplicitamente che gli impianti e le manifestazioni sportive possono produrre un impatto significativo sull'ambiente. Nel documento viene inoltre evidenziata la necessità di realizzare attività ed eventi sportivi che siano ecologicamente sostenibili, nel senso che già in fase di programmazione strategica degli eventi sportivi stessi è necessario che sia garantita la necessità del rispetto dell'ambiente.

L'attuale Agenda Globale delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile (UN, 2015), con i relativi Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) da raggiungere entro il 2030, propone una ambiziosa ma possibile integrazione delle tre dimensioni necessarie per uno dello sviluppo sostenibile di una data area: crescita economica, inclusione sociale, tutela dell'ambiente.

In tale cornice si inserisce il *Piano di Kazan* (UNESCO, 2017), un accordo globale che cerca di combinare le politiche dello sport con gli obiettivi di uno sviluppo sostenibile. Nel Piano si afferma che per quanto l'Agenda 2030 abbia riconosciuto lo sport come fattore importante per lo sviluppo sostenibile, nella stessa Agenda non sono stati descritti esplicitamente gli obiettivi corrispondenti.

La Carta Internazionale per gli Eventi Sportivi Sostenibili detta anche "Carta di Courmayeur" (AICA, 2019), inserita nel quadro delle iniziative avviate dal MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) per la sostenibilità nello sport – a completamento delle attività previste nel Protocollo d'Intesa "Per la sensibilizzazione sulle tematiche ambientali legate allo sviluppo sostenibile" sottoscritto con il CONI (Comitato Olimpico Nazionale Italiano) –, nasce dalla necessità di adottare obiettivi atti a rendere ecologi-

camente sostenibili eventi temporanei che portano le persone a diretto contatto con elementi naturali, come le manifestazioni sportive, specialmente quelle *outdoor*. Essa ha come obiettivo la promozione e realizzazione di eventi sportivi sviluppati in ogni loro fase attraverso l'approccio tipico dell'analisi del ciclo di vita, approccio che permette di identificare misure preventive e correttive atte a evitare e mitigare l'impatto ambientale delle attività ed incrementare gli effetti positivi delle pratiche attuate.

Un importante punto affrontato nella Carta è quello legato alla necessità di sviluppare un piano strategico per la mitigazione dei rischi e la tutela della biodiversità legati alla scelta della *location* sia in occasione di eventi *indoor*, che di eventi *outdoor* siano essi in contesto urbano che in contesti naturalistici, dove è necessario privilegiare aree non vulnerabili e sensibili, o, se si tratta di aree protette, impegnarsi a prendere tutte le precauzioni necessarie alla tutela delle specie, flora, fauna e habitat esistenti.

Nella Carta di Courmayeur è previsto uno specifico approfondimento per la valutazione degli impatti che lo sport può avere sulla biodiversità in quanto la tutela della biodiversità è considerata la "pietra angolare" nelle teorie di sviluppo sostenibile dell'UE.

In effetti l'anno 2020 potrebbe essere stato decisivo per l'ambiente e la biodiversità soprattutto dopo aver constatato che la maggior parte degli obiettivi del Piano Strategico per la Biodiversità 2011-2020 difficilmente saranno raggiunti.

Per tale motivo la *nuova strategia UE sulla biodiversità per il 2030* (COM/2020/380/CE) costituisce uno dei pilastri del *Green Deal Europeo* (COM/2019/640/CE).

La stessa Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile fa esplicitamente riferimento alla conservazione della biodiversità in due dei suoi 17 obiettivi:

- *obiettivo 14*: Conservare e utilizzare in modo sostenibile gli oceani, i mari e le risorse marine per uno sviluppo sostenibile;
- *obiettivo 15*: Proteggere, ripristinare e favorire un uso sostenibile dell'ecosistema terrestre, gestire sostenibilmente le foreste, contrastare la desertificazione, arrestare e far retrocedere il degrado del terreno e fermare la perdita di diversità biologica.

A conferma di quanto sia necessario far chiarezza sull'interazione tra sport e biodiversità, l'Unione Mondiale per la Conservazione della Natura (IUCN) ha realizzato quattro guide incentrate su

come l'industria sportiva possa mitigare gli impatti sulla biodiversità cogliendone allo stesso tempo le opportunità di supportarne la conservazione. Esse si concentrano sui legami, spesso complessi, tra biodiversità e sport fornendo non solo una panoramica dei problemi e dei rischi ed un aiuto su come fare scelte informate per evitare impatti dannosi, ma evidenziando anche come gli eventi sportivi possono giovare alla biodiversità offrendo un'opportunità per sensibilizzare l'opinione pubblica sul valore della natura e influenzare gli atteggiamenti nei confronti della biodiversità e della sua conservazione. Nello specifico:

- la prima guida, *Sport and Biodiversity* (IUCN, 2018), è stata progettata per aiutare i *decision makers* a comprendere i potenziali impatti sulla biodiversità e proporre opzioni per mitigarli, nonché per massimizzare le opportunità di utilizzare lo sport come un modo per promuovere e migliorare la conservazione della biodiversità;
- la seconda guida, *Mitigating biodiversity impacts of new sports venues* (IUCN, 2019), chiarisce la possibile gamma di impatti che lo sviluppo di nuovi impianti sportivi (permanenti o temporanei) può avere sulla biodiversità, al fine di aiutare a pianificare misure per mitigare eventuali impatti negativi e sfruttare le opportunità a vantaggio della conservazione;
- la terza guida, *Mitigating biodiversity impacts of sports events* (IUCN, 2020), si applica a tutti i tipi e le dimensioni di eventi sportivi, ogni volta e ovunque si verifichino. In termini di potenziali impatti diretti sulla biodiversità, le linee guida sono per lo più rilevanti per gli eventi sportivi all'aperto (*outdoor*) e i mega-eventi in una ottica di LCA (*Life Cycle Assessment*);
- la quarta guida, *Sports and urban biodiversity: a framework for achieving mutual benefits for nature and sports in cities* (IUCN, 2020), prevede sette punti strategici tutti volti all'ecosostenibilità degli ambienti urbani in relazione con le infrastrutture sportive.

Nel panorama nazionale italiano, oltre alla Carta di Courmayeur, sono già presenti diversi documenti di indirizzo per gli organizzatori di eventi sportivi sostenibili, spesso realizzati in concomitanza con lo svolgimento di eventi e/o iniziative di carattere sportivo (Tab. 2) e di cui viene qui riportata una breve descrizione:

- *Manuale eventi sportivi sostenibili* (UISP, 2012), già adottato dalla Regione Emilia-Romagna nel 2019 sotto forma di linee guida: in esso si sottolinea la necessità per gli organizzatori di

Tabella 2 – Principali documenti di indirizzo nazionale per gli organizzatori di eventi sportivi sostenibili

Documento/Pubblicazione	Anno	Regione	Evento/Iniziativa
Manuale Eventi Sostenibili	2016	Lombardia	Progetto “Innovazione e <i>capacity building</i> 2015”
Carta di Cortina sulla sostenibilità degli Sport Invernali	2016	Veneto	Campionati Mondiali di sci alpino del 2021
Carta Internazionale per gli Eventi Sportivi Sostenibili o “Carta di Courmayeur”	2019	Valle d’Aosta	Evento trail “Tor des Géants”
Linee Guida per gli eventi sportivi sostenibili	2019	Emilia-Romagna	Concorso “Primo è l’ambiente, la tua idea di sostenibilità diventa realtà”

eventi sportivi che intendono perseguire i principi della sostenibilità di implementare una vera e propria *strategia ambientale di sostenibilità ad hoc* per l’evento sportivo stesso.

- *Manuale Eventi Sostenibili* (INU, 2016): evidenza come la gestione sostenibile possa essere applicata a qualsiasi tipo di evento e quindi anche a quelli sportivi, enfatizzando le ricadute positive.
- *Carta di Cortina sulla sostenibilità degli Sport Invernali* (MATTM, 2016): è correlata con le attività preparatorie in vista dei Campionati Mondiali di sci alpino del 2021. Centrali, tra le linee di attività individuate, risultano essere: adottare una *definizione chiara* di “sport invernali sostenibili”; avviare un *processo partecipato* per identificare le principali criticità degli impatti ambientali connesse agli sport invernali, le possibili soluzioni e gli ambiti di intervento; proporre un sistema di indicatori comune per la qualificazione e quantificazione dei *relativi impatti invernali*.

Con riferimento al panorama nazionale italiano e in linea con i documenti di indirizzo sopra ricordati, nel giugno 2018, presso il Centro Servizi del Parco nazionale d’Abruzzo, Lazio e Molise, si è svolta, in occasione dell’evento ciclistico “Gran Fondo nel Parco”, il convegno “*Sostenibilità ambientale di eventi sportivi nei territori di pregio naturalistico: dagli strumenti di conoscenza e pianificazione ecologica alle buone pratiche*”, promosso dall’Università degli Studi dell’Aquila, il CINSA (Consorzio Interuniversitario Nazionale per le Scienze Ambientali) e il SANDSI (*Sport and Sustainability International*). Obiettivo della giornata di studio è stato la possibile individuazione di procedure e metodologie per la mitigazione dell’impatto ambientale di una competizione *outdoor* lineare in uno dei Parchi più antichi d’Italia, con oltre 50.000 ettari di superficie e la presenza di 5 siti di Rete Natura 2000 ed un’area Ramsar.

Nella logica di cui sopra, l’Istituzione italiana più direttamente interessata a perseguire questi obiettivi, anche in ragione degli strumenti pratici a disposizione, sembra essere l’Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale (ISPRA) in quanto:

- 1) gestisce il Sistema “Carta della Natura” (ISPRA, 2009) con il quale si rende disponibile l’utilizzo della cartografia degli habitat naturali e i relativi parametri (intesi come indicatori ed indici) per valutarne il Valore Ecologico, la Sensibilità Ecologica, la Pressione Antropica e la Fragilità Ambientale Attuale (*i.e. ante operam*) di ormai quasi tutto il Paese. *La Carta della Natura è pertanto una base di dati essenziale per valutare l’effetto sulla biodiversità di qualunque attività o evento sportivo*;
- 2) ha attualmente in essere convenzioni con l’Istituto per il Credito Sportivo (ICS), la Federazione Motociclistica Italiana (FMI) ed il CINSA (2019). L’obiettivo comune di queste convenzioni è quello di promuovere occasioni e sperimentazioni per la messa a punto di nuove procedure che consentano una programmazione/esecuzione di grandi eventi sportivi più rispettosi delle esigenze di conservazione dell’ambiente e della biodiversità in particolare.

5. SPORT INDOOR: ALCUNE MISURE DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE NELL’IMPIANTISTICA SPORTIVA

Tra le questioni chiave affrontate nell’*European Union Work Plan for Sport 2017-2020* adottato dal Consiglio Europeo (2017/C 189/02) si fa riferimento anche a: sostenibilità ambientale nel contesto di grandi eventi sportivi; impianti sportivi rispettosi dell’ambiente ed efficienti sotto il profilo energetico.

La sostenibilità è quindi aspetto fondamentale ripreso e ampliato dal CIO (Comitato Internaziona-

le Olimpico) che, con il supporto dell'*United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) ha realizzato a partire dal 2018 – a supporto della propria Strategia di Sostenibilità adottata nel 2017 – una serie di documenti denominati “*Sustainability Essentials*” che rappresentano guide pratiche per tutto il movimento olimpico e sportivo in generale.

Le 5 guide finora pubblicate, partendo dalla comprensione generale del concetto di sostenibilità (*Introduction to Sustainability*), affrontano il tema del cambiamento climatico con particolare riguardo alle emissioni di carbonio (*Sports for Climate Action*), aiutando il settore sportivo ad adottare pratiche di approvvigionamento più sostenibili (*Sustainable sourcing in sport*), gestire consapevolmente i rifiuti prodotti con particolare riferimento alla plastica (*Plastic Game Plan for Sport*), creare un'economia più circolare in cui le risorse vengono continuamente riutilizzate e riciclate (*Sustainability Management in Sports*). Lo scopo ultimo è quello di supportare le organizzazioni sportive ad integrare la sostenibilità nelle loro attività ed eventi, affrontando congiuntamente le questioni sul cambiamento climatico e la perdita di biodiversità, la disuguaglianza economica e l'ingiustizia sociale (fonte: www.olympic.org/sustainability-essentials). In particolar modo, nella seconda guida pratica (*Sports for Climate Action*) vengono sintetizzate in 5 principi le azioni da perseguire all'interno del mondo sportivo al fine di ispirare la larghissima audience di atleti e spettatori verso modelli virtuosi tesi ad una “neutralità climatica” degli eventi ed infrastrutture sportive. Nel Principio 5 (*Advocate for climate action through communication*) l'obiettivo dichiarato è promuovere una consapevolezza universale sui cambiamenti climatici facendo specifico ricorso a buone pratiche di sostenibilità degli impianti sportivi di maggiore celebrità.

Esistono ormai numerosi esempi di impianti sportivi *indoor* progettati e gestiti secondo principi di sostenibilità.

Tra quelli diventati iconici, in cui si sono realizzate efficaci misure di razionalizzazione dei consumi (energetici, di acqua, ecc.) è possibile citare l'*Allianz Riviera Stadium* di Nizza (Francia) dove sono stati installati 4.000 pannelli solari (interamente prodotti in Europa) per un totale di 7.000 m² con una produzione di 1.500.000 kWh, pari al 40,6% dell'intero fabbisogno energetico della struttura. Su base annua lo stadio contribuisce con 25,110 MWh all'obiettivo nazionale di 1.500 MWh/anno di energia da fonti rinnovabili. Un sistema di raccolta e

immagazzinamento dell'acqua piovana ne consente poi il riutilizzo per l'irrigazione del campo da calcio e gli scarichi dei servizi igienici presenti nello stadio (fonte: www.allianz-riviera.fr).

Altro esempio di sostenibilità ambientale è l'*Aviva Stadium* di Dublino (Irlanda). Certificato ISO20121, esso annovera, tra i risultati ambientali conseguiti: meno del 2% del personale utilizza, il giorno dell'evento, un veicolo privato per raggiungere lo stadio; riciclo dei rifiuti prodotti all'interno dello stadio al 75% e destino di quanto non riciclabile al recupero energetico; riduzione dell'impronta di carbonio relativa all'approvvigionamento facendo ricorso a prodotti locali e nazionali (fonte: www.avivastadium.ie).

Tra le iniziative di più ampio respiro interessante è quella attuata nel 2018 dal Ministero dello Sport belga che – per il tramite della *Sport Flanders Agency* e con l'obiettivo di riqualificare, secondo i principi della sostenibilità ambientale, circa 200 palestre scolastiche – ha allocato un fondo da 20 milioni di euro selezionando, mediante l'uso di uno specifico strumento di valutazione dell'impianto *indoor* (denominato *Eco-sportif*) basato sull'utilizzo di ben 50 indicatori di sostenibilità, i migliori progetti in termini di efficienza energetica, idrica, *smart mobility*, sistemi di riscaldamento, uso di pesticidi, gestione rifiuti. Altro esempio di impiantistica e gestione societaria sportiva sostenibile quello della *Forest Green Rovers* in Inghilterra, dal 2015, tra le altre cose, prima squadra di calcio vegana al mondo (fonte: www.sustainabilityreport.com/tag/forest-green-rovers/).

6. MISURE DI TUTELA AMBIENTALE NEGLI IMPIANTI SPORTIVI NATATORI TRADIZIONALI E NON

Nell'ambito degli impianti sportivi *indoor*, le strutture dedicate agli sport natatori sono incluse tra quelle a più alto impatto ambientale. A livello nazionale la loro ampia diffusione territoriale è stata certamente favorita dai successi di molti campioni italiani di nuoto la cui popolarità ha raggiunto livelli internazionali. Le piscine sono presenti praticamente ovunque e oltre all'ambiente sportivo caratterizzano il settore turistico ricettivo e del benessere della persona.

In una recente indagine nazionale del Ministro dello Sport francese, si è valutato l'impatto ambientale dei 6.307 impianti natatori, utilizzati sia per attività sportiva che ricreativa, realtà che impiega circa 1.247.747 m³ di acqua. Normata da una legge

degli anni Ottanta, il ricambio d'acqua è richiesto due volte all'anno, mentre negli ultimi 40 anni la tecnologia garantirebbe il mantenimento dei parametri sanitari con un solo ricambio d'acqua. Il risparmio idrico ottenuto corrisponde al consumo di acqua di 3 giorni per la città di Parigi (*Eau de Paris*, 2018) con un rilevante risparmio economico considerando riscaldamento e purificazione.

In Italia la FIN (Federazione Italiana Nuoto) è tra le federazioni del CONI nazionale con maggior numero di iscritti, e il nuoto è lo sport più diffuso tra i bambini fino a 10 anni e l'insieme delle discipline acquatiche che si svolgono in piscina sono tra le attività sportive più praticate dagli italiani (ISTAT, 2017).

Il nuoto si pratica prevalentemente in strutture coperte anche se sono diversi i complessi sportivi che hanno impianti al chiuso e all'aperto con presenza di più vasche dedicate al nuoto e alle nuove discipline collegate.

E in effetti, come più sopra ricordato, la sostenibilità ambientale nell'impiantistica sportiva *indoor* è parte integrante dell'attuale *EU Work Plan for Sport* (2017-2020) e lo sarà ancor di più in quello per il quadriennio 2021-2024 di ormai prossima adozione.

Nella progettazione e realizzazione di nuovi impianti e nelle attività di ristrutturazione, ampliamento e riqualificazione le tematiche ambientali e del risparmio energetico sono alla base di specifici provvedimenti in materia ma in tutti i moltissimi rimanenti casi, che rappresentano la quasi totalità degli impianti presenti sul territorio, potrebbero essere studiate e proposte iniziative di particolare rilevanza.

Da considerare inoltre che la gran parte degli impianti sportivi natatori è di proprietà pubblica e sono affidati alla gestione di società ed associazioni sportive dilettantistiche (ASD).

In moltissimi le ASD si trovano nelle condizioni di dover garantire tutti i servizi all'utenza con impianti vetusti che, nonostante i programmi e gli interventi di manutenzione adottati, non consentono standard ambientali e di risparmio energetico degni di significato.

Al fine di dare un significato innovativo alle tematiche ambientali concernenti gli impianti sportivi natatori, una particolare attenzione va rivolta alle biopiscine (Scacciavento, 2019) in quanto impianti con un gradiente tecnologico che si integra ad aspetti naturalistici con modalità diverse a seconda delle specifiche progettuali e degli obiettivi prefissati.

Gli aspetti di tutela dell'ambiente consentono, grazie ad una filtrazione fisica efficace abbinata alla fitodepurazione, l'eliminazione di agenti patogeni evitando la clorazione dell'acqua. Questo processo consente quindi di eliminare i sottoprodotti della disinfezione (Dpb) costituiti da sostanze chimiche come le clorammine e gli alometani, causa diretta di irritazioni a livello della congiuntiva e delle vie respiratorie superiori e inferiori (Chowdhury *et al.*, 2014).

Sotto il profilo tecnologico possiamo trovare numerose iniziative di interesse che riflettono i seguenti punti di attenzione:

- contenimento energetico;
- uso di fonti energetiche alternative;
- isolamento degli edifici;
- riduzione del volume di acqua da trattare e riscaldare;
- abbattimento delle quantità di agenti chimici impiegati nel trattamento dell'acqua.

Vi sono alcuni punti che riguardano tematiche di contenimento energetico e di impiego di fonti rinnovabili che sono già patrimonio condiviso ma che devono trovare gli opportuni sostegni per la realizzazione.

In primis l'isolamento dell'edificio da realizzarsi considerando ogni possibile punto di dispersione energetica. Le migliori *performance* si ottengono con edifici di nuova progettazione e costruzione dove l'edificio viene isolato dalle fondazioni, alle pareti, alla copertura, alla finestratura senza soluzione di continuità in modo tale da garantire l'assenza di ponti termici.

Gli impianti natatori sono particolarmente energivori e questo principalmente, come precedentemente evidenziato, per la necessità di riscaldare e trattare grandi volumi d'acqua sia per le vasche sia sanitaria in considerazione del consumo pro capite e degli affollamenti particolarmente elevati di queste strutture.

La centrale termica rappresenta quindi un punto strategico di attenzione con soluzioni tecnologiche che già attualmente permettono una sensibile riduzione dei consumi. La sostituzione delle centrali datate e da un punto di vista energetico ed ambientale non più sostenibili sono una priorità.

Nelle nuove centrali viene anche previsto un piccolo gruppo di cogenerazione atto ad integrare l'apporto energetico dell'impianto fotovoltaico.

L'impianto fotovoltaico, in considerazione anche dei costi attuali, è senza dubbio un altro investimento ambientale degno di nota negli impianti natatori che si riflette nei consumi elettrici giornalieri.

ri e che assume un significato anche per gli impianti esistenti.

Un altro punto consolidato riguarda la sostituzione di tutte le lampade con lampade a risparmio energetico.

Punti meno noti di attenzione ma di importanza fondamentale riguardano la gestione delle pompe del circuito secondario di riscaldamento dell'acqua delle vasche che, con tecnologie innovative e poco costose, permettono un risparmio energetico significativo sfruttando la proprietà dell'acqua di conservare il proprio contenuto termico.

Non solo. Un'accurata azione combinata sull'acqua di vasca può dare risultati sorprendenti sia in termini di miglioramento della qualità dell'acqua e quindi delle condizioni di salute degli utenti, sia di risparmio di acqua, di prodotti chimici impiegati, di calore e di energia elettrica con riflessi significativi in campo ambientale.

Un processo accuratamente studiato di efficienza della filtrazione dell'acqua di vasca con inserimento di trattamenti di subfiltrazione permette:

- un abbattimento significativo del cloro combinato ed in particolare delle clorammine e dei trialometani particolarmente dannosi sotto il profilo della salute degli utenti. Per un miglioramento del processo e per un'azione più incisiva si adottano insieme le lampade UV ad alta frequenza che sono in grado di abbattere gli agenti microbici presenti nell'acqua di ricircolo e di evitare il rilascio di carica microbica da parte dei filtri a sabbia;
- la riduzione delle quantità di agenti chimici impiegati per il processo di trattamento dell'acqua di vasca, di conseguenza un minore impatto ambientale per impiego di prodotti, trasporti ed imballaggi (Voisin *et al.*, 2014);
- una minore quantità di acqua da scaricare ogni giorno e da reintegrare con acqua "fresca" con un risparmio di acqua, energia elettrica e calore. L'acqua di ricambio pur necessaria ai sensi delle disposizioni normative vigenti sarà la minima necessaria. Il calore dell'acqua di scarico della vasca può essere recuperato tramite opportuni scambiatori a piastre o a fascio tubiero a seconda delle caratteristiche di ogni impianto.

L'acqua destinata agli scarichi, opportunamente declorata, potrebbe essere impiegata come acqua da destinare agli sciacquoni e considerato il numero di servizi igienici ed utenti di una piscina sportiva andrebbe a rappresentare un altro punto interessante di risparmio di acqua.

Un altro aspetto di particolare importanza è rappresentato dalla gestione delle pompe di ricircolo dell'acqua di vasca che assorbono il 30% circa del consumo elettrico dell'intero impianto.

Lavorando opportunamente sulla tipologia e sulle prestazioni delle pompe e regolando il loro funzionamento mediante algoritmi appositamente studiati è possibile ottenere un significativo risparmio di energia elettrica.

Dati sperimentali acquisiti nella gestione di alcuni impianti natatori, che impiegano regolatori della frequenza d'uso delle pompe dell'impianto di filtrazione, permettono di confermare ampiamente quanto sopra riportato.

A titolo di esempio, e per il solo aspetto del risparmio energetico relativo alle pompe di ricircolo dell'acqua di vasca, si tenga conto che per un impianto natatorio costituito di una vasca olimpionica esterna da 50 metri, di una vasca esterna da 25 metri, di una vasca interna da 25 metri e di 3 vasche dedicate a *fitness*, *baby* e *acquagym* è possibile ottenere un risparmio annuale che può arrivare a circa 145.000 kWh/anno e che, in termini semplici, corrisponde al consumo energetico medio di 54 famiglie tipo residenziale con 3/4 persone per le quali con potenza pari a 3kW si ipotizza un consumo medio pari a 2700 kWh/annui (ARERA, 2020).

Naturalmente queste stime (Tab. 3) si riferiscono ad un periodo di normale funzionamento dell'impianto natatorio a pieno regime e non limitato da provvedimenti di riduzione o sospensione dell'attività dovuti alle misure derivanti dall'emergenza Covid-19.

Il risparmio energetico si associa quindi a un bilancio ambientale favorevole e anche a un risparmio economico significativo tale da garantire un rientro delle spese investite in queste tecnologie in tempi particolarmente brevi valutabili, ad esempio, per questa tipologia d'impianto, in circa due anni. Infatti considerando un importo medio di mercato di circa 50.000,00 € per l'installazione di una tecnologia di questa tipologia per l'impianto natatorio in oggetto e valutando un costo energetico di circa 0,19 €/kWh il risparmio economico è di 27.550,00 €/anno.

Infine grande attenzione deve essere dedicata ad una problematica poco indagata quale quella riguardante l'acqua sanitaria con particolare riferimento al consumo d'acqua, di energia e all'impatto che ne deriva.

Docce e lavandini a tempo con pulsantiera o fotocellula, soffioni delle docce e rubinetti dei lavan-

Tabella 3 – Consumi delle pompe di filtrazione ed ipotesi di risparmio energetico in differenti impianti natatori tratte da indagini sperimentali sul campo

Vasca	N. pompe	N. pompe in funz. aut.	Potenza kWh*	Ore/giorno in funzione	Giorni/anno in funzione	Consumo teorico Annuo [kWh/anno]
50 m est	3	3	5,5	24	90	35.640
25 m est	3	2	3,2	24	90	17.280
25 m int	3	2	3,2	24	330	63.360
Baby int	2	2	2,2	24	330	34.848
Fitness int	2	2	2,2	24	330	34.848
Gym int	3	3	2,4	24	330	57.024
					Totale consumi	243.000
					Ipotesi 60% riduzione	145.800

* La potenza delle pompe è funzione principalmente della tipologia delle vasche, dei volumi d'acqua da trattare e dei tempi di ricircolo che sono indicati nella norma UNI 10637 Piscine. Requisiti degli impianti di circolazione, filtrazione, disinfezione e trattamento chimico dell'acqua di piscina.

dini a risparmio idrico sono due punti oggi molto presenti ma qualcosa di veramente interessante potrebbe essere rappresentato dalla fornitura direttamente da parte dell'impianto di shampoo e doccia schiuma appositamente studiati per una rapidissima ed elevata azione di biodegradabilità.

Questi ultimi punti sono quelli che impattano direttamente sugli utenti e sulla loro cultura ambientale e sui comportamenti da adottare ed hanno la necessità della giusta percezione, di una corretta comprensione e di una condivisione di tematiche, metodi ed obiettivi.

In effetti la cultura ambientale si riflette anche nei singoli e semplici gesti quotidiani che ognuno di noi è in grado di adottare.

7. CONCLUSIONI

La comunità scientifica non può sottrarsi all'impegno a favore dello sport sostenibile perché esso è un potente strumento di trasmissione di conoscenze e di divulgazione in grado di influenzare positivamente l'opinione pubblica per la conservazione e per la promozione dell'ambiente e quindi della qualità della vita.

In questo contesto la ricerca scientifica può contribuire efficacemente all'affermazione dello sport sostenibile anche mediante studi sperimentali, e favorire l'integrazione di politiche ambientali, economiche e sociali a favore dello sviluppo contribuendo in tal modo alla sfida di innovazione per l'ambiente. L'argomento dovrà far parte a pieno titolo dei programmi europei, che rappresentano attualmente la cornice nella quale entrano tutte le attività scientifiche in grado di promuovere le cono-

scenze utili allo sviluppo ed alla competitività del nostro continente.

Questo articolo comprende due interessanti contributi scientifici: uno riguardante gli effetti dello sport sulla biodiversità e l'altro gli effetti del clima sullo sport. Essi dimostrano come siano necessarie nuove conoscenze per comprendere la dinamica dei processi che definiscono il rapporto sport/ambiente, come quelle derivanti dai risultati ottenuti dal Programma Nazionale di Ricerca in Antartide attraverso le attività condotte nelle due basi italiane presenti nel "continente bianco". Tutto ciò fa comprendere come la ricerca scientifica sia un potente strumento a supporto dello sport sostenibile e contribuisca alle migliori scelte per il futuro del pianeta.

D'altronde le tematiche clima e biodiversità sono già oggetto di estese e approfondite ricerche a livello internazionale che hanno prodotto importanti risultati utili a comprendere i meccanismi che regolano il rapporto causa/effetto attraverso la messa a punto e lo sviluppo di rigorose metodologie sperimentali e di modelli matematici.

È vero che gli effetti del danno ambientale si prolungano nel tempo e sono irreversibili, ma con l'allestimento di strutture provvisorie e rimovibili, almeno in alcuni sport invernali, il danno può essere contenuto entro valori accettabili.

La vera innovazione nello sport sta nella realizzazione dello sport sostenibile e la ricerca scientifica è lo strumento che ne determina il successo.

Proprio lo sport, grazie alla grande platea di appassionati e sostenitori, può diventare un potente strumento di diffusione di obiettivi fondamentali per il futuro del pianeta, quali lo sviluppo sosteni-

bile e il ricorso alle energie rinnovabili innalzando quindi il livello di sensibilità ambientale nella pubblica opinione.

Una pubblica opinione che, alla luce dei più recenti accadimenti che stanno interessando la salute e l'economia su scala globale, a causa dell'epidemia SARS-CoV-2 e l'emergenza che da essa ne deriva, chiede al mondo sportivo la capacità di affrontare una sfida impreveduta ed in tempi brevi grazie a nuovi protocolli da sperimentare soprattutto nelle competizioni di alto livello. Nonostante i notevoli sforzi messi in campo dai governi di tutto il mondo, così come l'intensa attività di ricerca scientifica al fine di comprendere, contenere, gestire e superare l'epidemia in atto, è innegabile che questo evento sarà destinato ad avere degli impatti considerevoli anche sul mondo dello sport, sia esso di base che élite.

La natura stessa dell'epidemia imporrà l'utilizzo di misure stringenti e limitanti per tutte le manifestazioni sportive, siano esse *outdoor* o *indoor*, nel corso dei prossimi anni. Con queste premesse, una visione "Sostenibile" dello sport consentirà nel breve termine una più efficace gestione dell'emergenza derivante dell'epidemia di coronavirus, consentendo una successiva mitigazione delle problematiche del cambiamento climatico e dei loro effetti sulle attività e manifestazioni sportive discusse nel presente articolo.

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AFD (Agence Française de Développement). (2020) *AFD and Paris 2024, a new form of cooperation for sustainable development through sport across the world*. Disponibile su: <https://www.afd.fr/en/actualites/communique-de-presse/afd-and-paris-2024-new-form-cooperation-sustainable-development-through-sport-across-world>.
- AICA. (2019) *Carta internazionale per gli eventi sportivi sostenibili (Carta di Courmayeur)*. Associazione Internazionale per la Comunicazione Ambientale (AICA), Alba.
- ARERA. (2020) *Determinazione del 29 settembre 2020*. Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, Roma.
- Armstrong L.E., Epstein Y., Greenleaf J.E., Haymes E.M., Hubbard R.W., Roberts W.O., Thompson P.D. (1996) *American College of Sports Medicine position stand. Heat and cold illness during distance running*. Med Sci Sports Exerc 28(12): i-x.
- Bartholomew A., Bohnsack J.A. (2005). *A review of catch-and-release angling mortality with implications for no-take reserves*. Reviews in Fish Biology and Fisheries 15(1): 129-154.
- Benedetti M. (2019) *Le nuove frontiere delle previsioni meteo nello Sport*. ENDUmag 30/05/2019 disponibile su: <https://channel.endu.net/da-endu-meteo-expert-le-nuove-frontiere-delle-previsioni-meteo/>.
- Berghmans P., Bleux N., Int Panis L., Mishra V.K., Torfs R., Van Poppel M. (2009) *Exposure assessment of a cyclist to PM₁₀ and ultrafine particles*. Sci. Total Environ. 407: 1286-1298.
- Berkhout F. (2012) *Adaptation to climate change by organizations*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change 3(1): 91-106.
- Bonney R., Shirk J.L., Phillips T.B., Wiggins A., Ballard H.L., Miller-Rushing A.J., Parrish J.K. (2014) *Next Steps for Citizen Science*. Science 343: 1436-1437.
- Brownlie S. (2019) *Mitigating biodiversity impacts of new sports venues*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Brownlie S., Bull J.W., Stubbs D. (2020) *Mitigating biodiversity impacts of sports events*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Brundtland G. (1987) *Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Caneva S. (2010) *In Sud Africa si produrranno 2,75 milioni di tonnellate di CO₂*. Focus online del 15/06/2010. Disponibile su: <https://www.focus.it/tecnologia/innovazione/in-sud-africa-si-produrranno-275-milioni-di-tonnellate-di-co2>
- Cannavò S. (2016) *Sport e Sviluppo Sostenibile*. Unione Italiana Sport per tutti – UISP, Roma.
- Cavallo R., Rosio E., Bosio L., Pavan A., Ardito L., Fenocchio G. (2019) *La gestione sostenibile di grandi eventi sportivi*. Ingegneria dell'Ambiente 6(1): 60-70.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention). (2010) *Heat illness among high school athletes—United States, 2005–2009*. MMWR Morb Mortal Wkly Rep 59 (32): 1009-1013.
- CPAC (Center for Process Analytical Chemistry). (2010) *Development of Small, Fast and Robust Sensing Technologies* IFPAC Poster Cortona Meeting – Brian Marquardt University of Washington.
- Chowdhury S., Alhooshani K., Karanfil T. (2014) *Disinfection byproducts in swimming pool: occurrences, implications and future needs*. Water Res 53: 68-109.
- CINSA (Consorzio Interuniversitario Nazionale per le Scienze Ambientali). (2019) Protocollo ricerca triennale "Sport & Sostenibilità", Venezia.
- CIO. (2017) *IOC Sustainability Strategy*. CIO, Losanna, Switzerland.
- Collins A.J., Flynn A. (2008). *Measuring the environmental sustainability of a major sporting event: a case study of the FA Cup Final*. Tourism Economics 14(4): 751-768.
- Commissione Europea. (2007) *Libro bianco sullo sport* (COM/2007/391/CE). Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee, Lussemburgo.
- Commissione Europea. (2019) *Il Green Deal europeo*. (COM/2019/640/CE). Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo, Bruxelles.
- Commissione Europea. (2020) *Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030. Ripartire la natura nella nostra vita*. (COM/2020/380/CE) Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo, Bruxelles.
- Consiglio Europeo. (2017) *European Union Work Plan for Sport 2017-2020*. (2017/C 189/02) Risoluzione del Consi-

- glio e dei rappresentanti dei governi degli Stati membri, Bruxelles.
- Cooke S.J., Schramm H.L. (2007) *Catch-and-release science and its application to conservation management of recreational fisheries*. Fisheries Management and Ecology 14(2): 73-79.
- Coris E.E., Ramirez A.M., Van Durme D.J. (2004) *Heat Illness in Athletes The Dangerous Combination of Heat, Humidity and Exercise*. Sports Med 34(1): 9-16.
- DCCEE. (2007) *National greenhouse accounts: National inventory report 2007*. Australian Government, Department of Climate Change and Energy Efficiency, Canberra.
- DEE. (2012) *Waste emissions projections*. Australian Government, Department of the Environment and Energy, Canberra.
- De La Cruz A.R.H., Dionisio Calderon E.R., França B.B., Réquia W.J., Gioda A. (2019) *Evaluation of the impact of the Rio 2016 Olympic Games on air quality in the city of Rio de Janeiro, Brazil*. Atmospheric Environment 203: 206-215.
- Drane P., Sherwood J. (2004) *Characterizing the effect of temperature on baseball COR performance*. The Engineering of Sport 5(2): 59-65.
- Dingle G., Mallen C. (2020) *Sport and Environmental Sustainability: Research and Strategic Management*. London: Routledge Ed.
- Dingle G.W., Stewart B. (2018) *Playing the climate game: climate change impacts, resilience and adaptation in the climate-dependent sport sector*. Managing Sport and Leisure, 23: 4-6, 293-314.
- Eau de Paris (2018). *Rapport annuel 2017*. Paris, France.
- Edgar A. (2020) *Sport and Climate Change*. Sport, Ethics and Philosophy 14(1): 1-3.
- EPA VIC. (2018) *Landfill gas: Factsheet*. Publication 1479. EPA Victoria, Carlton.
- Galassi S., Ferrari I., Viaroli P. (2014) *Introduzione alla Ecologia Applicata*. Torino: Città Studi Edizioni.
- Humavindu M.N., Barnes J.I. (2003) *Trophy hunting in the Namibian economy: an assessment*. South African Journal of Wildlife Research 33(2): 65-70.
- IEA. (2008) *Turning a liability into an asset: landfill methane utilisation potential in India*. OECD/IEA, Paris.
- Ilundàin-Agurruza J. (2007). *Kant goes skydiving: understanding the extreme by way of the sublime*. In: M. McNamee (ed). Philosophy, risk and adventure sports. London: Routledge 149-167.
- INU. (2016) *Manuale eventi sostenibili*. Istituto Nazionale di Urbanistica (INU), Roma.
- IPCC. (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland.
- 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*. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.). *In Press*.
- ISPRA. (2009) *Il progetto Carta della Natura. Linee guida per la cartografia e la valutazione degli habitat alla scala 1:50.000*. Manuali e linee guida 48/2009. ISPRA, Roma.
- ISTAT. (2017) *La pratica sportiva in Italia. Anno 2015*. ISTAT, Roma, Italia. Disponibile su: <https://www.istat.it/it/archivio/204663>
- IUCN. (2016) *Informing decisions on trophy hunting*. IUCN, Gland, Switzerland. Disponibile su: <https://www.iucn.org/commissions/commission-environmental-economic-and-social-policy/our-work/sustainable-use-and-livelihoods/resources-and-publications/iucn-briefing-paper-informing-decisions-trophy-hunting>
- IUCN. (2018) *Sport and Biodiversity*. IUCN, Gland, Switzerland.
- IUCN. (2019) *Mitigating biodiversity impacts of new sports venues*. IUCN, Gland, Switzerland.
- IUCN. (2019) *Compatibility of trophy hunting as a form of sustainable use with IUCN's objectives*. Disponibile su: <https://www.iucn.org/news/world-commission-environmental-law/201909/compatibility-trophy-hunting-a-form-sustainable-use-iucns-objectives>.
- IUCN. (2019) *IUCN sets the record straight on a 2017 trophy hunting opinion*. Disponibile su: <https://www.iucn.org/news/secretariat/201910/iucn-sets-record-straight-a-2017-trophy-hunting-opinion>
- IUCN. (2020) *Mitigating biodiversity impacts of sports events*. IUCN, Gland, Switzerland.
- IUCN. (2020) *Sports and urban biodiversity: a framework for achieving mutual benefits for nature and sports in cities*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Jun, J. W., & Lee, H. M. (2007). *Enhancing global scale visibility and familiarity: The impact of World Baseball Classic on participating countries*. Place Branding and Public Democracy 3(1): 42-52.
- Kerr Z.Y., Register-Mihalik J.K., Pryor R.R., Pierpoint L.A., Scarneo S.E., Adams W.M., Kucera K.L., Casa D.J., Marshall S.W. (2019). *The association between mandated preseason heat acclimatization guidelines and exertional heat illness during preseason high school American football practices*. Environ Health Perspect 127(4): 47003.
- Klein A.M. (2013). *Growing the game: The globalization of major League baseball*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Lewin W.C., Weltersbach M.S., Ferter K., Hyder K., Mugerza E., Prellezo R., Radford Z., Zarauz L., Strehlow H.V. (2019). *Potential environmental impacts of recreational fishing on marine fish stocks and ecosystems*. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture 27(3): 287-330.
- Lindsey P.A., Roulet P.A., Romañach S.S. (2007) *Economic and conservation significance of the trophy hunting industry in sub-Saharan Africa*. Biological Conservation 134: 455-469.
- Lindsey P.A. (2008) *Trophy hunting in sub-Saharan Africa; Economic scale and conservation significance*. Best Practices in Sustainable Hunting 1: 41-47.
- Linnenluecke M.K., Griffiths A., Mumby P. (2015). *Executives' engagement with climate science and perceived need for business adaptation to climate change*. Climatic Change 131(2): 321-333.

- Loland S. (2001) *Record sports: An ecological critique and a reconstruction*. Journal of the Philosophy of Sport 28(2): 127-139.
- Loveridge A.J., Reynolds J.C., Milner-Gulland E.J. (2007) *Does sport hunting benefit conservation?* In: Macdonald D.W., Service K. (eds). Key topics in conservation biology. Oxford: Blackwell, 222-238.
- MATTM. (2016) *Carta di Cortina sulla sostenibilità degli Sport Invernali*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Cortina d'Ampezzo.
- Nadel E.R., Wenger C.B., Roberts M.F., Stolwijk J.A.J., Cafarelli E. (1977) *Physiological defenses against hyperthermia of exercise*. Ann N Y Acad Sci 301: 98-109.
- Nicole W. (2019) *Mitigating climate impacts on athletes: sports guidelines may prevent exertional heat illness*. Environmental Health Perspectives 127(10): 104001.
- Null J. (2014). *Beyond rain delays: Weather's role in America's favorite pastime*. Weatherwise 67(1): 23-29.
- Odum E.P. e Barrett G.W. (2006) *Fondamenti di Ecologia – III edizione italiana condotta sulla V di lingua inglese coordinata da Loreto Rossi*. Padova: PICCIN Nuova Libreria.
- Oldfield T.E.E., Smith R.J., Harrop S.R., Leader-Williams N. (2003) *Fields sports and conservation in the United Kingdom*. Nature 423: 531-533.
- Olympic Winter Games Organizing Committee (1976). *Official report of the Olympic Winter Games Innsbruck 1976*. Innsbruck.
- Orr M., Inoue Y. (2019). *Review Sport versus climate: Introducing the climate vulnerability of sport organizations framework*. Sport Management Review 22: 452-463.
- Orr M. (2020) *On the potential impacts of climate change on baseball and cross-country skiing*. Managing Sport and Leisure 25(4): 307-320.
- Packer C., Brink H., Kissui B.M., Maliti H., Kushnir H., Caro T. (2011) *Effects of trophy hunting on lion and leopard populations in Tanzania*. Conservation Biology 25(1): 142-153.
- Patthey P., Wirthner S., Signorell N., Arlettaz R. (2008) *Impact of outdoor winter sports on the abundance of a key indicator species of alpine ecosystems*. Journal of Applied Ecology 45(6): 1704-1711.
- Riesch H., Potter C. (2014) *Citizen science as seen by scientists: methodological, epistemological and ethical dimensions*. Public Underst Sci 23(1): 107-20.
- Sato C.F., Wood J.T., Lindenmayer D.B. (2013) *The effects of winter recreation on alpine and subalpine fauna: a systematic review and meta-analysis*. PLoS ONE 8(5).
- Saayman M., van der Merwe P., Saayman A. (2018) *The economic impact of trophy hunting in the south African wildlife industry*. Global ecology and conservation 16.
- Scacciavento D. (2019) *Biopiscine: un tuffo senza cloro*. Terra Nuova 350: 53-59.
- Scott D., Steiger R., Ruty M., Fang Y. (2019) *The changing geography of the Winter Olympic and Paralympic Games in a warmer world*. Current Issues in Tourism 22: 1301-1311.
- Sherwood S.C., Huber M. (2010) *An adaptability limit to climate change due to heat stress*. PNAS 107(21): 9552-9555.
- Smith, M., Matheson, G.O., Meeuwisse, W.H. (1996). *Injuries in cross-country skiing*. Sports Medicine, 21(3): 239-250.
- Tautonico T. (2018) *Il ruolo dello sport nella promozione di obiettivi di sviluppo sostenibile*. ASviS online del 17/05/2018. Disponibile su: <https://asvis.it/approfondimenti/22-2896/il-ruolo-dello-sport-nella-promozione-degli-obiettivi-di-sviluppo-sostenibile#>.
- The Humane Society International. (2016) *Trophy Hunting by the numbers. The United States' role in global Trophy Hunting*. The Humane Society of the United States, Washington DC.
- The LA84 Foundation. (2010). *Vancouver 2010 bid report*. Published with the permission of the International Olympic Committee Vancouver.
- UCI. (2016) *Cycling regulations. Part 2 Road Races. Extreme Weather Protocol. Version 01.03.2016*.
- UISP. (2012) *Manuale eventi sportivi sostenibili*. Unione Italiana Sport Per tutti (UISP) sez. Emilia-Romagna, Bologna.
- UN. (2015) *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. Resolution of the United Nations General Assembly. United Nations (UN), New York.
- UNESCO. (2017) *Report of the Sixth international conference of ministers and senior officials responsible for physical education and sport (MINEPS VI). Annex 1 Kazan Action Plan*. UNESCO, Paris. Disponibile su: <https://en.unesco.org/mineps6/kazan-action-plan>.
- UNFCCC. (2020) *Sports for Climate Action Framework*. Disponibile su <https://unfccc.int/climate-action/sectoral-engagement/sports-for-climate-action/participants-in-the-sports-for-climate-action-framework>.
- UN/ISDR, 2004. *Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives*. UN, Geneva, Switzerland.
- US EPA. (2018) *Methane*. United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Voisin C., Sardella A., Bernard A. (2014) *Risks of new-onset allergic sensitization and airway inflammation after early age swimming in chlorinated pools*. Int J Hyg Environ Health 217: 38-45.
- Wang W., Primbs T., Tao S., Simonich S.L.M. (2009) *Atmospheric particulate matter pollution during the 2008 Beijing Olympics*. Environ. Sci. Technol. 43 (14): 5314-5320.
- Wipf S., Rixen C., Fischer M., Schmid B., Stoeckli V. (2005) *Effects of ski piste preparation on alpine vegetation*. Journal of Applied Ecology 42(2): 306-316.
- Yasuda A. (2012) *Is sport hunting a breakthrough wildlife conservation strategy for Africa?* Field Actions Science Report 6: 120-137.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia lo Studio Pascoli Ingegneria ed Architettura di Treviso (Ing. Marco Pascoli) per il supporto fornito nell'ambito degli aspetti relativi al risparmio energetico negli impianti natatori.

DEFINIZIONE DI PROPOSTE OPERATIVE PER BONIFICHE DA AMIANTO NON DISCIPLINATE SPECIFICAMENTE DALLA NORMATIVA VIGENTE

Sergio Clarelli^{1,*}

¹ ASSOAMIAMANTO

Sommario – La vigente normativa italiana detta norme tecniche unicamente per la bonifica di alcune tipologie di materiali contenenti amianto nonché per bonifiche in alcuni contesti specifici di contaminazione, per cui altri approcci di bonifica sono lasciati all’iniziativa e alla sensibilità dei singoli. La bonifica deve essere comunque effettuata sotto la vigilanza dell’Organo competente per territorio, per la necessità di dover elaborare il piano di lavoro previsto dal Testo Unico Sicurezza, che deve essere presentato necessariamente prima dei lavori di rimozione o di demolizione dell’amianto. Infatti, manufatti compatti, molto utilizzati in passato, come, ad esempio, i pavimenti vinilici in amianto e le canne fumarie in cemento amianto, non sono disciplinate specificamente, come pure non sono regolamentate bonifiche speciali quali ad esempio quelle riguardanti i terreni ordinari contaminati da amianto oppure il ballast ferroviario contenente amianto e così via. Nel presente lavoro si forniscono proposte operative in proposito, auspicando che quanto prima la normativa italiana in materia venga non solo aggiornata ma anche integrata con norme specifiche che abbraccino una più ampia casistica di bonifiche.

Parole chiave: amianto, amianto matrice friabile, amianto matrice compatta, bonifica, piano di lavoro.

DEFINITION OF OPERATIONAL PROPOSALS FOR ASBESTOS REMEDIATION NOT SPECIFICALLY REGULATED BY CURRENT LEGISLATION

Abstract – The current Italian legislation dictates technical standards only for the remediation of certain types of materials containing asbestos as well as for remediation in some specific contamination contexts, so other remediation approaches are left to the initiative and sensitivity of individuals. Remediation, in any case, must be carried out under the supervision of the competent local authority, due to the need to draw up the Work Plan, as envisaged by the Consolidated Safety Act, before the asbestos removal or demolition works. In fact, non-friable artifacts, widely used in the past, such as, for example, vinyl floors in asbestos and flues in asbestos cement, are not specifically regulated, as well as remedial works such as those concerning ordinary soils contaminated with asbestos or rail ballast containing asbestos and so on. This paper provides operational proposals, hoping that the Italian legislation on this topic will not only be updated as soon as possible, but also integrated with specific regulations to embrace a broader range of remediation cases.

* Per contatti: Via Giacomo Manzù, 4, 20138, Milano.
Tel. 0341.551787; fax 0341.551787.
E-mail: presidente@assoamianto.it

Keywords: asbestos, friable asbestos, non-friable asbestos, remediation, work plan.

Ricevuto il 16-10-2020; Correzioni richieste il 4-1-2021; Accettazione finale il 19-1-2021.

1. INTRODUZIONE

1.1. Gli interventi di bonifica dei materiali contenenti amianto

Il Decreto del Ministero della Sanità 6 settembre 1994 recante “*Normative e metodologie tecniche di applicazione dell’art. 6, comma 3, dell’art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell’impiego dell’amianto*”, rappresenta senza ombra di dubbio il dispositivo legislativo fondamentale per la definizione delle tipologie di materiali contenenti amianto, per la fissazione degli obblighi e delle procedure per la gestione di questi manufatti e principalmente per la loro bonifica, oltre a una serie di indicazioni per analisi e campionamenti dei materiali, censimenti e così via.

È noto che nei materiali contenenti amianto (MCA), le fibre possono essere:

- libere o debolmente legate e quindi i materiali possono essere facilmente sbriciolati o ridotti in polvere con la semplice azione manuale; si parla in questi casi di amianto in matrice friabile, come ad esempio nei ricoprimenti a spruzzo contenenti amianto, materiali isolanti quali intonaci, coibentazioni e così via;
- fortemente legate in una matrice stabile e solida (come il cemento-amianto o il vinyl-amianto) e quindi i materiali possono essere sbriciolati o ridotti in polvere solo con l’impiego di attrezzi meccanici (dischi abrasivi, frese, trapani, ecc.); si parla in questo caso di amianto in matrice compatta.

Questa classificazione incide in modo sostanziale sugli approcci di bonifica, nel senso che essa è molto diversa se trattasi di materiali friabili o compatti. Infatti, l’amianto friabile è caratterizzato da maggiore polverosità, è più pericoloso ed è stato prevalentemente utilizzato nelle costruzioni civili e industriali per la protezione contro il fuoco, la coibentazione termica, l’isolamento acustico, come anticondensa (strutture portanti in ferro, palestre, sale conferenze, cinema, piscine, lavanderie, ecc.), mentre

l'amianto compatto presenta una minore polverosità ed è stato utilizzato prevalentemente nei materiali da costruzione a base di amianto come il cemento amianto, sotto forma di lastre ondulate di copertura, lastre piane per la protezione di pareti, canne fumarie, tubazioni e cassonetti di approvvigionamento e di smaltimento idrico, tubi per scarico fumi, ecc. e nei pavimenti in vinyl-amianto e così via. Il Decreto del Ministero della Sanità 6 settembre 1994 stabilisce in particolare che la bonifica dall'amianto può eseguirsi con uno dei seguenti tre interventi:

- *Rimozione*: che elimina ogni potenziale fonte di esposizione ed ogni necessità di attuare specifiche cautele per le attività che si svolgono nell'edificio.
- *Incapsulamento*: che consiste nel trattamento dell'amianto con prodotti penetranti o ricoprenti che (a seconda del tipo di prodotto usato) tendono ad inglobare le fibre di amianto, a ripristinare l'aderenza al supporto, a costituire una pellicola di protezione sulla superficie esposta.
- *Confinamento*: che comporta l'installazione di una barriera a tenuta che separi l'amianto dalle aree occupate dell'edificio.

Nella Tabella 1 sono riportate le caratteristiche specifiche di ciascuno di questi tre interventi.

Inoltre, ai sensi dell'art. 256 del Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i. (Testo Unico Sicurezza), i lavori di demolizione o di rimozione dell'amianto possono essere effettuati solo da imprese rispondenti ai requisiti di cui all'art. 212 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i. (Codice Ambiente).

È bene poi precisare che, con la Deliberazione del 30 marzo 2004, n. 1 l'allora Comitato dell'Albo nazionale delle imprese esercenti servizi di smalti-

mento dei rifiuti (attualmente Albo nazionale gestori ambientali) ha fissato i criteri e requisiti per l'iscrizione all'Albo nella categoria 10 "*Bonifica dei beni contenenti amianto*".

In particolare, è stato stabilito che, ai fini dell'iscrizione all'Albo delle imprese di bonifica da amianto, le attività di cui alla suddetta categoria 10 sono suddivise, in funzione del diverso grado di pericolosità per l'ambiente e per le persone, nonché delle varie tipologie di materiali contenenti amianto e alla conseguente diversa complessità dei relativi interventi di bonifica, in:

- Attività di bonifica dei beni contenenti amianto effettuata sui seguenti materiali: materiali edili contenenti amianto legato in matrici cementizie o resinoidi.
- Attività di bonifica dei beni contenenti amianto effettuata sui seguenti materiali: materiali d'attrito, materiali isolanti (pannelli, coppelle, carte e cartoni, tessili, materiali spruzzati, stucchi, smalti, bitumi, colle, guarnizioni, altri materiali isolanti), contenitori a pressione, apparecchiature fuori uso, altri materiali incoerenti contenenti amianto.

Inoltre, sia per la sottocategoria 10 A sia per quella 10 B sono state individuate cinque classi, "a", "b", "c", "d", "e", corrispondenti a importi via via decrescenti dei lavori "cantierabili".

Per entrambe le sottocategorie sono richiesti specifici requisiti, in termini di dotazioni di attrezzature, risorse finanziarie e qualificazione dei responsabili tecnici (di cui devono dotarsi), maggiori per la sottocategoria 10 B, dal momento che riguarda manufatti ai quali è associato un maggior grado di pericolosità. Pertanto, l'iscrizione nella categoria 10 B è valida anche ai fini dello svolgimento delle attività di cui alla categoria 10 A.

Tabella 1 – Interventi di bonifica dei materiali contenenti amianto (MCA) previsti dal D.M. 06/09/1994

Intervento di bonifica	Caratteristiche
<i>Rimozione</i>	Comporta un rischio estremamente elevato per i lavoratori addetti e produce notevoli quantitativi di rifiuti pericolosi che devono essere correttamente smaltiti. In genere richiede l'applicazione di un nuovo materiale, in sostituzione dell'amianto rimosso. In particolare, nel caso dei lavori di rimozione dell'amianto friabile, l'area di lavoro deve essere interamente confinata, realizzando un efficace isolamento della medesima area (confinamento statico) e inoltre è necessario prevedere un sistema di estrazione dell'aria che metta in depressione il cantiere di bonifica rispetto all'esterno (confinamento dinamico).
<i>Incapsulamento</i>	Non richiede la successiva applicazione di un prodotto sostitutivo e non produce rifiuti. Il rischio per i lavoratori addetti è generalmente minore rispetto alla rimozione. È il trattamento prescelto per i manufatti poco o per nulla friabili come quelli in cemento amianto in discreto o buono stato. Permanendo l'amianto nell'edificio occorre mantenere un programma di controllo e manutenzione. Rispetto agli altri due interventi presenta un costo più contenuto.
<i>Confinamento</i>	Se non viene associato ad un trattamento incapsulante, il rilascio di fibre continua all'interno del confinamento. Rispetto all'incapsulamento, presenta il vantaggio di realizzare una barriera resistente agli urti. Occorre sempre un programma di controllo e manutenzione, in quanto l'amianto rimane nell'edificio; inoltre la barriera installata per il confinamento deve essere mantenuta in buone condizioni.

1.2. Le bonifiche da amianto disciplinate specificamente dalla normativa vigente

Come visto, per le modalità di bonifica da amianto di manufatti ordinari è necessario riferirsi *in primis* al suddetto Decreto del Ministero della Sanità 6 settembre 1994, ancorché occorra di volta in volta adattare tali tecniche al caso specifico. Il limite primario di questo Decreto consiste nel fatto che detta norme tecniche unicamente per la bonifica solo di alcune tipologie di materiali contenenti amianto. Infatti, esso riporta le procedure per la bonifica dei materiali friabili contenenti amianto, che comporta l'allestimento sia di un confinamento statico, necessario per confinare interamente l'area di lavoro, sia di un confinamento dinamico, con la previsione di un sistema di estrazione dell'aria con l'intento di mettere in depressione il cantiere di bonifica rispetto all'esterno. Nel suddetto Decreto, a proposito dei materiali friabili, sono illustrate anche le tecniche riguardanti il glove-bag (cella di polietilene, simile a incubatrice per neonati, adatta, ad esempio, per la scoibentazione di tratti limitati di tubazioni) e la bonifica delle grandi strutture coibentate (come ad esempio grosse tubazioni o caldaie o elementi coibentati di macchina) per le quali sono da preferirsi, se tecnicamente possibili, idonee procedure di rimozione dell'intera struttura, o di parti consistenti di essa, con la coibentazione ancora in opera e la successiva scoibentazione in apposita zona confinata. Per quanto riguarda poi i manufatti compatti, considera soltanto le procedure di bonifica valide per le lastre di copertura in cemento amianto.

In Tabella 2, sono riepilogati gli approcci di bonifica su materiali, compatti e friabili, in riferimento alla loro posizione, interni o esterni agli edifici.

Inoltre, altri specifici approcci di bonifica e/o di manutenzione sono disciplinati:

- dal Decreto Ministero Sanità 26 ottobre 1995 recante “*Normative e metodologie per la valutazione del rischio, il controllo, la manutenzione e la bonifica dei materiali contenenti amianto presenti nei mezzi rotabili*”, in parte mutate dal D.M. 06/09/1994;
- dal Decreto Ministero Sanità 14 maggio 1996, relativo alle “*Normative e metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto, previsti dall'art. 5, comma 1, lett. f, della L257/92, recante: Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto*” il quale, all'Allegato 1, tratta la bonifica dei siti industriali dismessi, all'Allegato 2, la manutenzione di unità prefabbricate contenenti amianto e, all'Allegato 3, la manutenzione di tubazioni e cassoni in cemento-amianto destinati al trasporto e/o al deposito di acqua potabile e non;
- dal Decreto Ministero Sanità 20 agosto 1999, recante “*Ampliamento delle normative e delle metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto, previsti dall'art. 5, comma 1, lettera f, della legge 27 marzo 1992, n. 257, recante norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto*”, rettificato dal Decreto Ministero Sanità 25 luglio 2001, che, all'Allegato 1, tratta della rimozione di materiali contenenti amianto presenti a bordo di navi o unità equiparate e, all'Allegato 2, dei rivestimenti per la bonifica di manufatti in cemento-amianto.

1.3. Le bonifiche da amianto non disciplinate specificamente dalla normativa vigente

Da quanto su esposto emerge chiaramente che la normativa vigente non disciplina specificamente la bonifica di altri manufatti compatti, molto utilizzati in passato, come, ad esempio, i pavimenti vinilici in amianto, le canne fumarie in cemento

Tabella 2 – Approcci di bonifica per i materiali contenenti amianto (MCA), di fatto previsti dal D.M. 06/09/1994

Rimozione		Note
Materiali compatti	MCA esterni (senza confinamento) MCA interni (eventuale confinamento statico)	Elimina ogni potenziale fonte di esposizione e ogni necessità di attuare specifiche cautele
Materiali friabili	MCA esterni (confinamento statico e dinamico) MCA interni (confinamento statico e dinamico)	
Incapsulamento		
MCA esterni o interni		Trattamento dell'amianto con prodotti penetranti o ricoprenti
Confinamento		
MCA esterni o interni		Installazione di una barriera a tenuta che separi l'amianto dalle aree occupate dell'edificio

amianto e nemmeno considera particolari bonifiche, molto frequenti, riguardanti ad esempio i terreni ordinari contaminati da amianto e il ballast ferroviario contenente amianto e così via.

Pertanto, questi approcci di bonifica sono lasciati all'iniziativa e alla sensibilità dei singoli, ancorché sotto la vigilanza, diretta o indiretta, dell'Azienda sanitaria competente per territorio, per la necessità di dover elaborare il piano di lavoro di cui all'articolo 256 del Testo Unico Sicurezza, che deve essere predisposto dal datore di lavoro e presentato necessariamente almeno trenta giorni prima dell'inizio dei lavori di rimozione o di demolizione dell'amianto. Solo nei casi di urgenza, l'obbligo del preavviso dei suddetti trenta giorni non si applica. Questo piano di lavoro deve prevedere le misure necessarie per garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori sul luogo di lavoro e la protezione dell'ambiente esterno.

2. PROPOSTE OPERATIVE PER BONIFICHE DA AMIANTO NON DISCIPLINATE SPECIFICAMENTE DALLA NORMATIVA VIGENTE

Per quanto riguarda i manufatti compatti, è vero che alcune procedure previste dal Decreto 6 settembre 1994, possono essere mutate da quelle valide per le coperture in cemento amianto, però è necessario considerare non solo che a volte i materiali sono molto diversi, dal punto di vista fisico e chimico, ma anche e principalmente che alcuni interventi, a differenza delle coperture, sono eseguiti all'interno degli edifici per cui la presumibile concentrazione di fibre aero disperse può comportare problematiche anche rilevanti per la protezione ambientale e delle persone, in caso di operazioni di bonifica non correttamente eseguite.

Inoltre, il Codice dell'Ambiente indica soltanto il valore limite delle concentrazioni di soglia di contaminazione di amianto nel suolo, nel sottosuolo e nelle acque, ma nessuna norma specifica per la bonifica dei terreni ordinari contaminati da amianto. Solo nel Decreto 14 maggio 1996 troviamo qualche indicazione riguardante la bonifica dei terreni contaminati da amianto, però nell'ambito dei siti industriali dismessi, per i quali certamente la contaminazione non poteva o può essere considerata ordinaria, perché spesso assai rilevante.

Alla luce delle carenze, su evidenziate, può capire che alcuni interventi di bonifica siano sottovalutati o sopravvalutati proprio per l'assenza di norme specifiche a livello nazionale, per cui, per le

bonifiche non normate, sorge la necessità di prevedere un protocollo procedurale specifico ai fini della protezione ambientale e delle persone che sia il più possibile condiviso così da effettuare le suddette operazioni in modo pressoché simile in ciascuna parte del Paese.

Con questo lavoro, si cerca di dare un contributo operativo a questa tematica.

Saranno pertanto richiamate norme e procedure di carattere generale e riportate proposte procedurali operative, adattate ai casi di specie, come elaborate dallo scrivente.

2.1. Qualificazione dei soggetti preposti alla bonifica e allo smaltimento dell'amianto

I lavori, qui di seguito descritti, prevedono tutti, indistintamente, l'impiego di imprese di bonifica da amianto, qualificate, iscritte all'Albo nazionale gestori ambientali nell'appropriata sottocategoria (A e/o B) della su indicata categoria 10, nonché l'utilizzo di personale operativo e gestionale, rispettivamente, in possesso delle abilitazioni di operatore e di coordinatore addetto alle attività di rimozione, smaltimento e bonifica dell'amianto, ai sensi dell'art. 10 della Legge n. 257/1992 e dell'art. 10 del D.P.R. 8 agosto 1994. Tale personale deve essere necessariamente dotato degli adeguati dispositivi di protezione individuale (DPI), in tutte le fasi delle operazioni, quali: indumenti, tute integrali, anche monouso, con cappuccio; guanti di protezione; copricapoli a perdere; DPI delle vie respiratorie che, generalmente, consistono in facciali filtranti con filtro P3 (FFP3), come maschere complete, di vario tipo (facciale pieno) per la bonifica dei materiali friabili, mentre, nei lavori esterni di bonifica dei materiali compatti, potrebbero eventualmente essere consentiti semifacciali filtranti con filtro P3.

Inoltre, i materiali rimossi devono essere allontanati dal cantiere il prima possibile, tramite un trasportatore autorizzato, iscritto all'Albo nazionale gestori ambientali nella categoria 5, «Raccolta e trasporto di rifiuti pericolosi» e dovranno essere conferiti a idoneo impianto di stoccaggio o di discarica autorizzati, unitamente al materiale d'uso (tute, filtri, materiale aspirato), anch'esso insaccato e sigillato a parte, con l'avvertenza di individuare i corretti codici CER (Catalogo Europeo Rifiuti), o EER (Elenco Europeo Rifiuti) che sono composti da codici numerici di sei cifre nei quali ciascuna coppia di numeri identifica la classe (settore di attività da cui deriva il rifiuto), sottoclasse (processo produttivo di provenienza) e categoria (descrizione del rifiuto).

2.2. Proposte operative per la bonifica dei pavimenti in vinyl-amianto

Il vinyl-amianto è un prodotto derivante dalla miscela di resine di PVC, copolimeri, leganti inorganici, pigmenti e amianto. L'impasto veniva scaldato e, quando la miscela raggiungeva la temperatura e la plasticità desiderate, veniva sottoposto a laminazione fino allo spessore richiesto e successivamente tagliato in piastrelle. I pavimenti in vinyl-amianto sono realizzati appunto con piastrelle di dimensioni generalmente di 30 x 30 o 40 x 40 cm.

Di solito, queste mattonelle presentano adeguate durezza e resistenza alla scalfittura nonché una frattura fragile nel senso che se vengono piegate si spezzano di netto. Il colore della superficie può essere sia uniforme sia variamente screziato.

I pavimenti in vinyl-amianto generalmente presentano un contenuto di amianto in peso pari al 10-25% e sono stati diffusamente utilizzati nel passato prevalentemente in immobili pubblici o comunque aperti al pubblico (scuole, ospedali, case di cura, mense e così via).

2.2.1. Tecniche di bonifica

Il modo più sicuro per trattare un pavimento di questo tipo è quello di assicurarsi che il materiale rimanga il più possibile in una condizione di non friabilità, perché, come noto, i materiali non friabili contenenti amianto presentano una matrice solida che lega le fibre e non consente facilmente il rilascio di queste fibre a meno che essi non siano maltrattati, danneggiati o male utilizzati.

I pavimenti in vinyl-amianto, impiegati in edilizia, sono costituiti da materiale non friabile che, quando è nuovo o in buono stato di conservazione, non tende a liberare fibre spontaneamente. Il vinyl-amianto, utilizzato prevalentemente all'interno degli edifici, anche dopo lungo tempo, non va incontro ad alterazioni significative tali da determinare un rilascio di fibre, se non viene manomesso.

Considerando la casistica ricorrente, di fatto, i metodi di bonifica applicabili a questi pavimenti possono essere inquadrati in quattro casi:

- A. *Bonifica mediante rimozione del pavimento che durante la bonifica si mantiene in una condizione di non friabilità.*
- B. *Bonifica mediante rimozione del pavimento che durante la bonifica non si mantiene in una condizione di non friabilità.*

C. *Bonifica mediante incapsulamento del pavimento consistente nel creare una pellicola superficiale protettiva.*

D. *Bonifica mediante confinamento del pavimento consistente nel realizzare al di sopra un nuovo pavimento lasciando in loco il pavimento in amianto.*

Non sempre la rimozione rappresenta il miglior metodo di bonifica per ridurre l'esposizione all'amianto. Di certo, la rimozione diventa obbligatoria prima di interventi di demolizione o di ristrutturazione.

Si riportano qui di seguito requisiti e procedure, ritenuti idonei per questo tipo di bonifica.

Adeguata sottocategoria d'iscrizione della categoria 10 da parte dei soggetti preposti alla bonifica

Per i lavori di bonifica in esame, si ritiene appropriata la sottocategoria A per il Caso A e la B per il Caso B, visto che, per questo secondo caso, nonostante si tratti di materiali da costruzione a base di amianto, la lavorazione proposta è impostata come per la bonifica dell'amianto friabile. È però evidentemente preferibile ed opportuno, per quanto sopra descritto, che per questo tipo di bonifica venisse individuata fin dall'inizio, sempre e comunque, un'impresa iscritta nella sottocategoria B.

A. *Bonifica mediante rimozione del pavimento che durante la bonifica si mantiene in una condizione di non friabilità*

È il caso di pavimenti in piastrelle di vinyl-amianto che si distaccano più o meno agevolmente durante la rimozione per cui sono quasi del tutto annullate fratture e danni vari alle piastrelle.

Qualora, a seguito di errate valutazioni iniziali, si verifica che le piastrelle durante la rimozione si rompono agevolmente, si devono interrompere le attività di rimozione ed occorre allestire il cantiere come descritto al Caso B.

Allestimento del cantiere e operazioni di bonifica

Innanzitutto, occorre procedere all'allestimento del cantiere articolato come nei punti seguenti:

- Assenza di utenti anche nei locali limitrofi.
- Divieto della presenza di estranei nell'area interessata.
- Vani segregati, finestre e porte chiuse.
- Apposizione di idonea cartellonistica di avvertimento.
- La zona di lavoro deve essere sgomberata da tutti gli arredi e le attrezzature che possono essere spostati (se gli arredi e/o le attrezzature sono co-

- perti da detriti o polvere, devono essere puliti a umido prima dello spostamento).
- Procedere al confinamento degli ambienti di lavoro con idonei divisori.
 - Gli arredi e le attrezzature che non possono essere spostati devono essere ricoperti con fogli di polietilene e sigillati.
 - Disattivare l'alimentazione elettrica.
 - Le armature per l'illuminazione presenti devono essere tolte, pulite e sigillate in fogli di plastica e depositate in zona di sicurezza incontaminata.
 - Asportare tutti gli eventuali equipaggiamenti di ventilazione e riscaldamento e altri elementi smontabili, pulendoli e togliendoli dalla zona di lavoro.
 - Sigillare tutti gli oggetti inamovibili.
 - Rimuovere tutti i filtri dei sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento. I filtri sostituiti vanno posti in sacchi sigillati di plastica per essere smaltiti come rifiuti contenenti amianto. I filtri permanenti vanno puliti a umido e reinstallati.
 - Sigillare con fogli di polietilene, uno per uno, tutte le aperture di ventilazione, le attrezzature fisse, gli infissi e così via, fino a che il lavoro, pulizia compresa, non sarà completato.
 - Tutte le pareti della zona di lavoro e il soffitto saranno ricoperti con fogli di polietilene di spessore adeguato e sigillati sul posto con nastro a prova di umidità.
 - Tutte le barriere di fogli di plastica e l'isolamento della zona vanno mantenuti durante tutta la preparazione del lavoro.
 - Ispezionare periodicamente le barriere per assicurarsi che siano funzionanti.
 - Tutti i cavedi e le altre possibili comunicazioni per il passaggio di cavi, tubazioni, ecc. devono essere individuati e sigillati;
 - I bordi delle barriere temporanee, i fori e le fessure vanno tamponati con silicone o schiume espansive.
 - Gli infissi vanno sigillati applicando prima nastro adesivo sui bordi e coprendoli successivamente con un telo di polietilene di superficie più estesa delle aperture.
 - Deve essere predisposta un'uscita di sicurezza per consentire una rapida via di fuga, realizzata con accorgimenti tali da non compromettere l'isolamento dell'area di lavoro (ad es. telo di polietilene da tagliare in caso di emergenza).
 - Deve essere installato un impianto temporaneo di alimentazione elettrica, di tipo stagno e collegato alla messa a terra. I cavi devono essere disposti in modo da non creare intralcio al lavoro e non essere danneggiati accidentalmente.
 - Garantire un'illuminazione adeguata.
 - Aspirare la superficie del pavimento mediante idoneo aspiratore mobile, dotato di filtro contro i particolati HEPA (High Efficiency Particulate Air), ad alta efficienza: 99.97, DOP test.
 - Il cambio dei filtri deve avvenire in modo protetto ad opera di personale munito di mezzi di protezione individuale per l'amianto.
 - È preferibile bagnare la superficie del pavimento almeno due ore prima della rimozione, ciò contribuirà ad allentare le piastrelle.
 - Se vi è cemento sotto il pavimento vinilico, si può decidere di allagare il pavimento con acqua la notte prima della rimozione per contribuire ad allentare le piastrelle e a renderne molto più agevole la rimozione; bagnare impedisce il rilascio di fibre e la migrazione delle fibre di amianto.
 - Dopo l'immersione, scegliere una porta o una zona di ingresso per iniziare la rimozione.
 - Il pavimento deve essere mantenuto umido durante la rimozione; questo può essere fatto utilizzando un tubo per l'acqua, uno spruzzino da giardino, bottiglie spray o qualsiasi altro metodo che preserva l'umidità del materiale.
 - Usare spatole per sollevare delicatamente le piastrelle; possono essere utilizzate soltanto tecniche manuali.
 - Il pavimento vinilico deve essere rimosso, trattato e smaltito in pezzi prevalentemente tutti da considerare non friabili.
 - La rimozione deve essere eseguita in modo da non frantumare, sgretolare o ridurre il materiale in polvere; la levigatura, il taglio, la rettifica, la scheggiatura e l'uso di utensili elettrici non devono essere consentiti.
 - Le piastrelle devono essere mantenute il più possibile intere e occorre prestare molta attenzione per ridurre al minimo o per evitare del tutto la rottura. Per esempio, il risultato ideale di una rimozione di piastrelle del pavimento dovrebbe comportare solo pezzi grandi e piastrelle pronte per lo smaltimento.
 - Nel caso in cui, nonostante le accortezze le piastrelle dovessero rompersi in più pezzi è necessario adottare un'altra tecnica di rimozione. Ciò può comportare il passaggio ad un procedimento valido per materiali friabili per cui passare al Caso B.
 - Per la rimozione di singole piastrelle o per riparazione di piccole aree si potrebbero utilizzare una pistola termica (non asciugacapelli), ghiaccio secco, o solvente.

- Se si utilizzano solventi, occorre assicurarsi che l'area sia ben ventilata.
- Posizionare la spatola/raschietto tra le piastrelle e sollevare le piastrelle delicatamente evitando di romperle.
- Per le piastrelle saldamente fissate, picchiare sul raschietto con il martello.
- Spruzzi d'acqua, sotto le piastrelle appena alzate per abbattere polvere e qualsiasi residuo di amianto presente.
- Rimuovere delicatamente il mastice aderente alle piastrelle.
- Il mastice può essere ammorbidito con solvente oppure mediante riscaldamento con una lampada a raggi infrarossi o può essere infragilito con ghiaccio secco.
- Prestare attenzione affinché non vi sia sabbia sul pavimento.
- Le piastrelle rimosse, incapsulate su entrambe le facce, ogni 30-40 piastrelle levate, devono essere confezionate con contenitori a tenuta, adeguatamente etichettati, come ad esempio sacchetti di plastica, fusti metallici o in fibra, o teli di polietilene.
- I rifiuti di materiali contenenti amianto devono essere mantenuti umidi fino allo smaltimento in discarica autorizzata.
- Le attrezzature potranno essere recuperate, previa decontaminazione.
- Al termine, occorre pulire e incapsulare il sottofondo messo a nudo, previa aspirazione dello stesso con aspiratore a filtri assoluti HEPA.
- Tutti i filtri usati devono essere insaccati e trattati come rifiuti contaminati da amianto.
- Le tute devono essere eliminate dopo ogni intervento.
- Tutto il materiale a perdere utilizzato (indumenti, teli, stracci per pulizia ecc.) deve essere smaltito come rifiuto contaminato, in sacchi impermeabili chiusi ed etichettati.
- Ispezionare visivamente la zona per accertarsi che essa è stata pulita correttamente.
- A fine lavori è opportuno effettuare un monitoraggio ambientale in MOCF (microscopia ottica a contrasto di fase) o SEM (microscopia elettronica a scansione); se il risultato è, rispettivamente, inferiore a 20 fibre/litro o a 2 fibre/litro, è possibile rimuovere il tutto oppure eseguire nebulizzazione dell'aria e/o utilizzare estrattore per diluizione aria e rieseguire il monitoraggio ambientale.

Inoltre, le mattonelle rimosse in cantiere devono essere temporaneamente depositate in zona appositamente destinata, cercando di stare attenti ad evi-

tare qualsiasi frantumazione (se all'esterno, lontano da zone di passaggio da automezzi). I frammenti minuti, collocati a parte, devono essere raccolti al momento della loro formazione e racchiusi in sacchi di materiale impermeabile non deteriorabile e immediatamente sigillati.

Infine, giornalmente, come di consueto, deve essere effettuata una pulizia ad umido e/o con aspiratori a filtri assoluti della zona di lavoro e delle aree del cantiere che possano essere state contaminate da fibre di amianto.

B. Bonifica mediante rimozione del pavimento che durante la bonifica non si mantiene in una condizione di non friabilità

È il caso di pavimenti in piastrelle di vinyl-amianto che NON si distaccano agevolmente durante la rimozione per cui potrebbero essere necessarie operazioni di carteggiamento, smerigliatura, taglio e frantumazione le quali possono essere eseguite unicamente in ambiente confinato oltre che staticamente anche dinamicamente realizzando una depressione all'interno dell'area di lavoro che deve essere mantenuta durante tutte le fasi della rimozione.

Allestimento del cantiere e operazioni di bonifica

In aggiunta a tutto quanto su riportato per il Caso A, occorre considerare anche quanto qui di seguito riportato:

- Per realizzare un efficace isolamento dell'area di lavoro è necessario, oltre all'installazione delle barriere (confinamento statico), l'impiego di un sistema di estrazione dell'aria che metta in depressione il cantiere di bonifica rispetto all'esterno (confinamento dinamico). Il sistema di estrazione deve garantire un gradiente di pressione tale che, attraverso i percorsi di accesso al cantiere e le inevitabili imperfezioni delle barriere di confinamento, si verifichi un flusso d'aria dall'esterno verso l'interno del cantiere in modo da evitare qualsiasi fuoriuscita di fibre. Nello stesso tempo questo sistema garantisce il rinnovamento dell'aria e riduce la concentrazione delle fibre di amianto aereo disperse all'interno dell'area di lavoro.
- L'aria aspirata deve essere espulsa all'esterno dell'area di lavoro.
- L'uscita del sistema di aspirazione deve attraversare le barriere di confinamento.
- L'aria inquinata aspirata dagli estrattori deve essere efficacemente filtrata.
- Gli estrattori devono essere muniti di un filtro HEPA (alta efficienza: 99.97, DOP test).

- Gli estrattori devono essere messi in funzione prima che qualsiasi materiale contenente amianto venga manomesso e devono funzionare ininterrottamente (24 ore su 24) per mantenere il confinamento dinamico fino a che la decontaminazione dell'area di lavoro non sia completata.
- In caso di interruzione di corrente o di qualsiasi altra causa accidentale che provochi l'arresto degli estrattori, l'attività di rimozione deve essere interrotta.
- Tutti i materiali di amianto già rimossi devono essere insaccati finché sono umidi.
- L'estrattore deve essere provvisto di un manometro che consenta di determinare quando i filtri devono essere sostituiti.
- Il cambio dei filtri deve avvenire all'interno dell'area di lavoro, ad opera di personale munito di mezzi di protezione individuale per l'amianto.
- Tutti i filtri usati devono essere insaccati e trattati come rifiuto contaminati da amianto.

Dovrà essere allestita un'area di decontaminazione per il personale (UDP) composta da quattro zone anche relativamente alle procedure di accesso all'area di lavoro (Figura 1).

Nel caso in questione, occorrono anche le seguenti operazioni a cura dei Funzionari dell'Azienda sanitaria competente per territorio:

- *Collaudo preventivo del cantiere.*
- *Certificazione della restituibilità degli ambienti bonificati.*

Il *collaudo preventivo del cantiere*, da effettuarsi dopo l'allestimento del cantiere e l'installazione dell'unità di decontaminazione, consiste nella *prova della tenuta con fumogeni* (ad estrattori spenti l'area di lavoro viene saturata con un fumogeno e si osservano, dall'esterno del cantiere, le eventuali fuoriuscite di fumo. Tutte le falle individuate vanno sigillate dall'interno) e nel *collaudo della depressione* (si accendono gli estrattori uno alla

volta e si osservano gli effetti della depressione, come gli spanciamenti dei teli di polietilene. La depressione può essere misurata mediante un manometro differenziale, munito di due sonde che vengono collocate una all'interno e l'altra all'esterno dell'area di lavoro).

Per quanto riguarda poi il confezionamento dei materiali rimossi, nella fattispecie del presente caso B, dovendo necessariamente considerarli in matrice friabile, le tecniche di confezionamento dovranno prevedere l'inserimento in due sacchi, inseriti in due momenti successivi, come stabilito dal decreto ministeriale 06/09/1994 e come qui di seguito illustrato. Inoltre, siccome l'allontanamento di questi rifiuti dal cantiere di bonifica rappresenta certamente una delle fasi più rischiose, per la possibilità di disperdere fibre all'esterno dell'area di lavoro, occorre adottare tutte le cautele necessarie per evitare una contaminazione di amianto appunto all'esterno dell'area di lavoro. A tal proposito, qualora possibile, è preferibile che venga installata un'unità di decontaminazione destinata esclusivamente al passaggio dei materiali (UDM). In tal caso, il materiale deve essere insaccato nell'area di lavoro e i sacchi, dopo la chiusura e una prima pulizia della superficie, devono essere portati nell'UDM.

Questa deve essere costituita da almeno tre locali: il primo è utilizzato per il lavaggio dei sacchi; il successivo è destinato al secondo insaccamento; nell'ultimo i sacchi vengono depositati per essere successivamente allontanati dall'area di lavoro, come rappresentato con lo schema in Figura 2.

Pertanto, occorre distinguere i due casi.

1) Uscita dei sacchi attraverso l'UDM

È necessario che all'interno dell'unità operino due distinte squadre di lavoratori. La prima squadra è preposta al lavaggio, al secondo insaccamento e al deposito dei sacchi; la seconda squadra invece en-

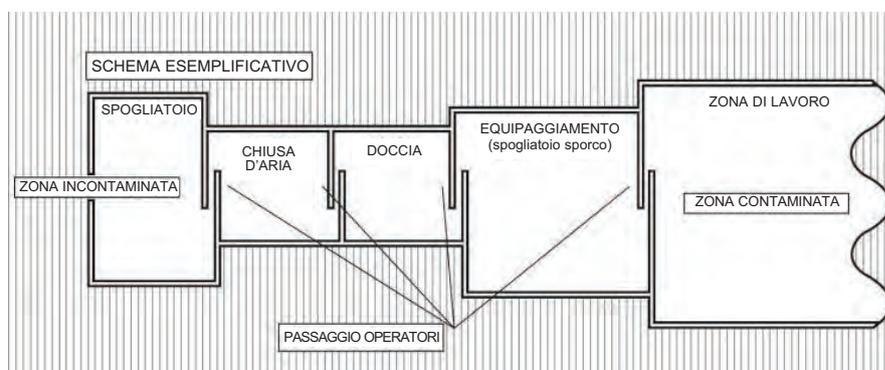


Figura 1 – Unità di decontaminazione del personale (UDP) a quattro zone (Fonte; S. Clarelli, *La gestione tecnica del rischio amianto, Tecniche Nuove*, 2020)



Figura 2 – Unità di decontaminazione dei materiali (UDM) a tre locali. (Fonte: S. Clarelli, *La gestione tecnica del rischio amianto, Tecniche Nuove, 2020*)

tra dall'esterno nell'area di deposito e porta fuori i rifiuti. È evidente che la presenza di due squadre si rende necessaria al fine di impedire un'inevitabile dispersione di fibre, in conseguenza dell'uscita dei lavoratori all'esterno, con indumenti contaminati. Questo percorso non dovrà mai essere destinato o utilizzato dagli operatori per entrare o uscire dall'area di lavoro. Per questo, è opportuno che l'uscita dei sacchi avvenga in un'unica fase, al termine delle operazioni di rimozione e che, fino al quel momento, il percorso rimanga sigillato.

2) Uscita dei sacchi attraverso l'UDP

Il lavaggio dei sacchi, già puliti con stracci, deve avvenire nel locale doccia, il secondo insaccamento nella chiusa d'aria, mentre il locale incontaminato sarà destinato al deposito. In tali casi dovranno essere previste tre squadre di operatori: la prima introduce i sacchi dall'area di lavoro nell'unità, la seconda esegue le operazioni di lavaggio e insaccamento all'interno dell'unità, la terza provvede all'allontanamento dei sacchi. In entrambi i casi tutti gli operatori, tranne quelli addetti all'ultima fase di allontanamento, devono essere muniti di mezzi di protezione e seguire le procedure di decontaminazione per uscire dall'area di lavoro. I sacchi vanno movimentati evitando il trascinarsi; è raccomandato l'uso di un carrello chiuso. Il percorso dal cantiere all'area di stoccaggio in attesa del trasporto in discarica deve essere preventivamente studiato, cercando di evitare, per quanto possibile, l'attraversamento di aree occupate dell'edificio.

I rifiuti devono essere depositati in un'area all'interno dell'edificio, chiusa e inaccessibile agli estranei, finché non saranno prelevati da parte di una ditta autorizzata al trasporto. Possono essere utilizzati in alternativa anche container scarrabili, purché chiusi anche nella parte superiore e posti in un'area controllata. La durata del deposito in quest'area dovrebbe, di regola, essere limitata ai tempi tecnici strettamente necessari per organizzare il trasporto o a realizzare quantità di rifiuti sufficiente a costituire il carico da trasferire.

Le operazioni di certificazione della restituibilità degli ambienti bonificati, da effettuarsi al termine dei lavori di bonifica da amianto friabile, dovranno essere eseguite da funzionari dell'Azienda sanitaria competente per territorio, al fine di assicurare che le aree interessate possano essere rioccupate con sicurezza, con spese poste a carico del committente i lavori di bonifica. Ai fini della certificazione di restituibilità degli ambienti bonificati, dovranno essere effettuate la verifica dell'assenza di residui di amianto all'interno dell'area bonificata e la verifica dell'accettabilità della concentrazione di fibre di amianto nell'atmosfera compresa nella medesima area (la concentrazione media di fibre di amianto aerodisperse nei locali bonificati, determinata mediante l'utilizzo della SEM, non deve essere superiore alle 2 fibre/litro).

C. Bonifica mediante incapsulamento del pavimento consistente nel creare una pellicola superficiale protettiva

Un'alternativa alla rimozione del pavimento è rappresentata dall'incapsulamento. Come noto, il manufatto contenente amianto incapsulato deve essere strettamente monitorato per assicurare che nessun rilascio di fibre significativa stia avvenendo. Eventuali danni o deterioramento della superficie incapsulata devono essere riparati immediatamente.

Innanzitutto è necessario rimuovere residui di cere e lavare abbondantemente con acqua.

Dopo eventuali piccoli interventi di riparazione e restauro (piastrelle mancanti) è possibile applicare prodotti adeguatamente certificati costituendo un cappotto con forte azione legante distribuendoli sulla superficie con l'ausilio di spazzole spingi acqua (tipo tergovetri) e per la diffusione uniforme finale dei rulli.

D. Bonifica mediante confinamento del pavimento consistente nel realizzare al di sopra un nuovo pavimento lasciando in loco il pavimento in amianto

È possibile lasciare in sito il pavimento in vinyl-amianto ricostituendo, in modo più economica-

mente conveniente, un nuovo pavimento al di sopra che costituisce di fatto una barriera a tenuta stagna al di sopra del materiale in amianto.

In tal caso le operazioni sono le seguenti:

- Aspirare la superficie del pavimento mediante idoneo aspiratore mobile, dotato di filtro contro i particolati HEPA, ad alta efficienza (99.97 DOP test).
- Incapsulare il pavimento in vinyl-amianto con adeguato prodotto incapsulante spruzzato con pompa airless.
- Il cambio dei filtri deve avvenire in modo protetto ad opera di personale munito di mezzi di protezione individuale per l'amianto.
- Realizzare il nuovo pavimento.
- Segnalare la presenza di amianto al disotto del nuovo pavimento e registrarla in apposito registro di modo che se ne abbia memoria storica per qualsiasi intervento a farsi, inclusi futuri interventi di demolizione e/o ristrutturazione.

2.3. *Proposte operative per la bonifica delle canne fumarie in cemento amianto*

Le canne fumarie in cemento amianto, murate o esterne, possono comportare problematiche anche rilevanti per la protezione ambientale e delle persone in caso di effettuazione di operazioni di pulizia e di manutenzione oltre che per quelle di bonifica.

Tra le applicazioni più diffuse del cemento amianto, oltre alle lastre delle coperture, troviamo anche le canne fumarie, le quali sono state utilizzate largamente per la loro buona resistenza termica.

2.3.1. *Tecniche di bonifica*

Le canne fumarie in cemento amianto, impiegate in edilizia, sono costituite da materiale non friabile che, quando è nuovo o in buono stato di conservazione, non tende a liberare fibre spontaneamente. Infatti, il cemento amianto, quando si trova all'interno degli edifici, anche dopo lungo tempo, non va incontro ad alterazioni significative tali da determinare un rilascio di fibre, se non viene manomesso. Invece, lo stesso materiale esposto ad agenti atmosferici subisce un progressivo degrado per azione delle piogge acide, dello stress termico, dell'erosione eolica e di microrganismi e vegetali.

Di conseguenza, dopo anni dall'installazione si possono determinare alterazioni corrosive superficiali con affioramento delle fibre e fenomeni di liberazione.

Considerando la casistica ricorrente, di fatto, i metodi di bonifica applicabili sono:

- A. *Bonifica delle canne fumarie esterne mediante incapsulamento delle pareti esterne.*
- B. *Bonifica delle canne fumarie interne mediante incapsulamento delle pareti interne.*
- C. *Bonifica delle canne fumarie mediante confinamento interno con intubamento.*
- D. *Bonifica delle canne fumarie esterne mediante rimozione.*

Infine, è opportuno precisare che la rimozione delle canne fumarie murate (interne) deve comunque prevedere le stesse procedure indicate per la rimozione delle canne in cemento amianto esterne.

Si riportano qui di seguito requisiti e procedure, ritenuti idonei per questo tipo di bonifica.

Adeguata sottocategoria d'iscrizione della categoria 10 da parte dei soggetti preposti alla bonifica

Per i lavori di bonifica in esame, si ritiene appropriata la sottocategoria A o in alternativa la B.

Inoltre, a proposito dello smaltimento dei rifiuti, è necessario precisare che non tutti gli impianti di stoccaggio e/o le discariche autorizzate a ricevere materiali da costruzione a base di amianto (come il cemento amianto), con codice CER o EER 170605, possono ricevere in aggiunta delle comuni lastre in cemento amianto anche tubazioni o, comunque, manufatti cavi.

Opere provvisorie per la protezione dal rischio di caduta

Inoltre, è doveroso precisare che la bonifica delle canne fumarie in cemento amianto comporta un rischio specifico di caduta dall'alto per cui, fermo restando quanto previsto dalle norme antinfortunistiche del Testo Unico Sicurezza, dovranno essere realizzate, in particolare, idonee opere provvisorie per la protezione dal rischio di caduta, ovvero adottati opportuni accorgimenti.

A. *Bonifica delle canne fumarie esterne mediante incapsulamento delle pareti esterne*

Conviene scegliere l'intervento di incapsulamento nel caso in cui le pareti esterne delle canne fumarie presentino ancora un normale/discreto stato di conservazione.

Generalmente, l'incapsulamento richiede un trattamento preliminare della superficie del manufatto, al fine di pulirla e di garantire l'adesione del rivestimento incapsulante. Il trattamento deve essere eseguito con attrezzature idonee che evitino la liberazione di fibre di amianto nell'ambiente e consentano il recupero e il trattamento delle acque di lavaggio.

Per la bonifica mediante incapsulante, le pareti esterne delle canne fumarie in cemento amianto devono essere trattate con un rivestimento incapsulante di tipo A, a vista all'esterno, ai sensi dell'Allegato 2 al D.M. 20 agosto 1999 e s.m.i. Per quanto riguarda i requisiti prestazionali minimi, tale rivestimento incapsulante deve avere uno spessore medio a secco non inferiore a 300 μm e, in nessun punto, deve essere inferiore a 250 μm . Inoltre, gli ultimi due strati di questo rivestimento incapsulante dovranno essere realizzati con prodotti ricoprenti e di colore diverso e contrastante.

Preparazione della superficie delle pareti esterne della canna fumaria in cemento amianto

Se la superficie deve essere trattata, prima dell'intervento, al fine di garantire l'efficacia del rivestimento incapsulante, il trattamento preliminare deve essere effettuato con attrezzature idonee che impediscano la liberazione di fibre di amianto nell'ambiente. Le eventuali acque reflue di lavaggio, opportunamente trattate, assieme agli eventuali rifiuti contenenti amianto e ai fanghi di risulta, saranno smaltite come disposto dalla normativa vigente. In ogni caso, il datore di lavoro che effettua le operazioni di bonifica sulla base delle condizioni del supporto e delle indicazioni fornite dal produttore sui limiti dell'impiego del prodotto incapsulante, dovrà individuare la preparazione del supporto adatta al ciclo incapsulante che intende realizzare. Per evitare la dispersione delle fibre di amianto, eventualmente emerse in superficie a seguito della preparazione del supporto, le successive fasi del ciclo incapsulante dovranno avvenire al più presto possibile, dopo la preparazione.

Notifica all'Organo di vigilanza

Il committente è tenuto a dare comunicazione dei lavori all'Organo di vigilanza competente per territorio e alla Direzione provinciale del lavoro, territorialmente competenti, in quanto ricorrono le condizioni previste dall'art. 99, comma 1, lettera a), Testo Unico Sicurezza.

Igiene e sicurezza degli addetti

Per quanto riguarda l'igiene e sicurezza degli addetti, i lavori dovranno svolgersi secondo quanto disposto dal Testo Unico Sicurezza. Per interventi di incapsulamento che prevedano un trattamento preliminare o la sostituzione di parte della canna fumaria, il titolare dell'impresa dovrà presentare,

all'Organo di vigilanza, competente territorialmente, anche il piano di lavoro previsto dall'art. 256 del Testo Unico Sicurezza. Nelle operazioni che possono dar luogo a dispersione di fibre di amianto, i lavoratori devono essere muniti di idonei mezzi di protezione individuali delle vie respiratorie e di indumenti protettivi.

Attestazione dell'esecuzione dei lavori

L'impresa di bonifica, dopo aver messo in opera il rivestimento incapsulante, dovrà rilasciare, a firma del proprio responsabile dei lavori, un'attestazione che gli stessi sono stati eseguiti in conformità alle disposizioni di legge, secondo le indicazioni trasmesse dal fornitore e con le caratteristiche prescritte dal decreto del Ministro della Sanità 20 agosto 1999 e s.m.i. L'esecutore della bonifica è tenuto ad attestare gli spessori del rivestimento incapsulante secco e a indicare i metodi, nazionali o internazionali, per la loro misura. Nell'attestato dovranno essere indicati i diversi colori delle ultime due mani del rivestimento incapsulante e la durata minima del trattamento e questo al fine di consentire al committente di programmare il piano di controllo e di manutenzione ex Decreto ministeriale 6 settembre 1994. L'attestazione deve essere conservata dal committente e deve essere presentata, a richiesta, all'organo di vigilanza competente per territorio.

B. Bonifica delle canne fumarie interne mediante incapsulamento delle pareti interne

Per la bonifica o il "risanamento" delle canne fumarie interne in cemento amianto mediante incapsulamento delle pareti interne occorre prevedere:

- Utilizzo di prodotti e di tecnologie adeguate, idonee e certificate.
- Resistenza del rivestimento interno alle normali condizioni di esercizio previste, ai componenti chimici presenti nei prodotti della combustione, alle sollecitazioni termiche e meccaniche nonché alle operazioni di pulizia o di manutenzione.
- Rivestimento incapsulante assimilato per analogia al tipo B, a vista all'interno, o al tipo C, non a vista, ai sensi dell'allegato 2 al D.M. 20 agosto 1999 e s.m.i., munito di regolare attestato di conformità e di attestazione dell'esecuzione dei lavori ai sensi dello stesso decreto.

Per il resto, relativamente al rivestimento incapsulante, vale tutto quanto riportato in riferimento alle procedure di bonifica delle canne fumarie esterne in cemento amianto mediante incapsulamento.

C. Bonifica delle canne fumarie mediante confinamento interno con intubamento

Ai sensi del decreto del Ministero della Sanità 6 settembre 1994, come noto, l'intervento di confinamento di manufatti contenenti amianto consiste nell'installazione di una barriera a tenuta che separi l'amianto dal resto; inoltre, se non è associato a un trattamento incapsulante, il rilascio di fibre continua all'interno del confinamento. Rispetto all'incapsulamento, presenta il vantaggio di realizzare una barriera resistente agli urti.

L'intervento di confinamento interno può essere realizzato mediante "intubamento", conformemente alla norma UNI 10865:2018, inserendo una nuova tubazione all'interno, di sezione ridotta rispetto a quella oggetto di bonifica, con tutte le prescrizioni previste.

Inoltre, occorre precisare che:

- nel caso sia necessaria una pulizia delle superfici delle pareti interne occorre prioritariamente attuare tutto quanto sopra riportato per gli interventi di manutenzione su canne fumarie in cemento amianto;
- ai sensi dell'Allegato 2 al D.M. 20 agosto 1999 e s.m.i., a supporto degli interventi di confinamento, è necessario prioritariamente applicare alle pareti interne della canna fumaria preesistente un rivestimento incapsulante conforme al tipo C, munito di regolare attestato di conformità e di attestazione dell'esecuzione dei lavori ai sensi dello stesso decreto;
- in caso di necessità, si dovrà far ricorso esclusivamente a utensili manuali o ad attrezzi meccanici provvisti di sistemi di aspirazione idonei per la lavorazione del cemento-amianto, dotati di filtrazione assoluta in uscita;
- se l'inserimento della nuova/e tubazione/i comporta eventualmente operazioni di foratura delle pareti della canna fumaria in cemento amianto, per evitare aerodispersione di fibre di amianto è necessario dotarsi di sistemi di aspirazione muniti di filtri assoluti in uscita;
- è necessario sigillare adeguatamente lo spazio tra le pareti interne della preesistente canna fumaria in cemento amianto e la/e parete/i esterna/e della/e tubazione/i inserite.

D. Bonifica delle canne fumarie esterne mediante rimozione

Le operazioni devono essere condotte salvaguardando l'integrità del materiale in tutte le fasi dell'intervento. Le pareti esterne e anche quelle interne della canna fumaria in cemento amianto devo-

no essere adeguatamente trattate con incapsulante di tipo D, prima di qualsiasi manipolazione o movimentazione. L'incapsulante di tipo D, denominato anche ausiliario, deve essere munito di regolare attestato di conformità *ex* D.M. 20 agosto 1999 e s.m.i. e deve essere applicato per evitare la dispersione di fibre nell'ambiente a supporto degli interventi di rimozione. Dovrà essere di colore contrastante con quello del supporto. Il fornitore dovrà indicare lo spessore del film secco, la quantità da applicare per metro quadrato e il tempo di essiccazione. L'incapsulamento dovrà essere effettuato mediante nebulizzazione o a pioggia, con pompe a bassa pressione. In nessun caso si dovrà fare uso di getti d'acqua ad alta pressione.

Le canne fumarie in cemento amianto deve essere rimossa senza romperla evitando l'uso di strumenti demolitori. Deve essere smontata rimuovendo ganci, viti o chiodi di fissaggio, avendo cura di non danneggiare la canna stessa. Non devono essere utilizzati trapani, seghetti, flessibili o mole abrasive ad alta velocità. In caso di necessità, si dovrà far ricorso esclusivamente a utensili manuali o ad attrezzi meccanici provvisti di sistemi di aspirazione idonei per la lavorazione del cemento amianto, dotati di filtrazione assoluta in uscita. I materiali asportati non devono in nessun caso essere frantumati dopo la rimozione. Non devono assolutamente essere lasciati cadere a terra. Un idoneo mezzo di sollevamento deve essere previsto per il calo a terra dei tubi. I tubi smontati devono essere accatastati e pallettizzati in modo da consentire un'agevole movimentazione con i mezzi di sollevamento disponibili in cantiere. L'accatastamento temporaneo deve avvenire separatamente dagli altri detriti, preferibilmente nel *container* destinato al trasporto, oppure in una zona appositamente destinata, in luogo non interessato dal traffico di mezzi che possano provocarne la frantumazione. I materiali in cemento amianto rimossi devono essere chiusi in imballaggi non deteriorabili o rivestiti con teli di polietilene sigillati. Eventuali pezzi acuminati o taglienti devono essere sistemati in modo da evitare lo sfondamento degli imballaggi. Gli eventuali rifiuti in frammenti minuti devono essere raccolti al momento della loro formazione e racchiusi in sacchi di materiale impermeabile non deteriorabile e immediatamente sigillati.

Giornalmente deve essere effettuata una pulizia a umido e/o con aspiratori a filtri assoluti della zona di lavoro e delle aree del cantiere che possano essere state contaminate da fibre di amianto. Tutti i materiali di risulta devono essere etichettati a norma di legge.

2.4. *Proposte operative per la bonifica dei terreni ordinari contaminati da amianto*

Come visto, il citato Decreto Ministero Sanità 14 maggio 1996, all'Allegato 1, tratta la bonifica dei siti industriali dismessi, intendendo per tali aree ed edifici industriali in cui la contaminazione, certamente rilevante, proviene dalla lavorazione dell'amianto o di prodotti che lo contengono oppure altre situazioni in cui l'eventuale inquinamento da amianto è determinato dalla presenza di locali adibiti a stoccaggio di materie prime o manufatti o dalla presenza di depositi di rifiuti.

In particolare, nel caso in cui il sito industriale dovesse essere riutilizzato con necessità di escavazione del suolo stesso, per fondazioni o altro, tale Allegato precisa che si dovrà procedere alla bonifica del suolo, alla luce dei sondaggi eseguiti. È altresì stabilito che, ai fini della bonifica del suolo, occorre installare due sale tecniche spostabili realizzate con strutture in carpenteria metallica e rivestite con fogli di polietilene di adeguato spessore. Le sale devono essere mantenute in depressione attraverso gruppi di aspirazione a filtrazione assoluta. La prima sala deve avere le dimensioni di metri 20 per 10 e deve essere adibita alla decontaminazione ed al condizionamento dei cassoni di trasporto prima di essere allontanati. Inoltre, le dimensioni della seconda sala devono essere stabilite in funzione delle dimensioni dei cassoni di trasporto al fine di consentirne una corretta gestione. È altresì precisato che gli operatori preposti alla bonifica dei terreni devono indossare indumenti a perdere (tute col cappuccio, guanti e calzari) e devono evidentemente essere dotati di maschere a filtro assoluto P3, per la protezione delle vie respiratorie. Anche in questo caso gli operatori dovranno uscire dalla zona di lavoro attraverso un'area di decontaminazione, come sopra descritta. Infine si precisa che, in caso di riutilizzo del sito senza prevedere l'escavazione futura ed in assenza di particolari situazioni di rischio derivanti dall'assetto idrogeologico del territorio, si potrà non procedere alla rimozione degli eventuali rifiuti interrati d'amianto risultanti dal carotaggio eseguito. In tal caso dovrà comunque essere data comunicazione all'Azienda Sanitaria competente per territorio la quale vincolerà il riutilizzo del sito stesso per utilizzazioni diverse da quella che invece prevede di lasciare ove sono i rifiuti d'amianto interrati.

Ciò premesso, la normativa non prevede però, come detto, alcuna norma specifica riguardante i terreni contaminati da amianto, compatto e/o friabile,

per i quali si indicano pertanto qui di seguito alcune proposte operative.

Necessità di iscrizione alla categoria 9 e adeguata sottocategoria d'iscrizione della categoria 10 da parte dei soggetti preposti alla bonifica

Si ritiene che la ditta preposta alle operazioni di bonifica dei terreni contaminati da amianto deve essere iscritta all'Albo nazionale gestori ambientali nella categoria 9 "Bonifici di siti" e nella categoria 10 "Bonifica dei beni contenenti amianto", sottocategoria B.

Tecniche di rimozione di terreni contaminati da amianto

Per quanto riguarda la bonifica dei terreni contaminati da amianto, almeno nei casi particolari, diventa necessario concordare con l'Azienda sanitaria competente per territorio l'intervento di bonifica più appropriato, nel primario rispetto della protezione delle persone e dell'ambiente.

L'intervento in genere consiste nella rimozione di uno strato di terreno, di spessore variabile, contaminato con fibre di amianto (più frequentemente con elementi di manufatti in cemento amianto) e nel suo successivo smaltimento.

Per tutta la durata dell'intervento, la zona dovrà essere interdetta alle persone non autorizzate. A seconda delle circostanze il cantiere potrà essere o meno confinato (mediante confinamento statico e dinamico). La zona di cantiere dovrà essere delimitata con nastro bianco-rosso nonché sgomberata e dovranno poi essere poste le segnaletiche a norma per evitare che persone non autorizzate possano entrare all'interno della zona di cantiere.

Preventivamente, si procederà alla nebulizzazione e incapsulamento del terreno con liquido tensioattivo. Mediante ossatura metallica e/o lignea e teli di polietilene saranno eventualmente realizzati tunnel, accuratamente sigillati (in bonifiche nelle quali è previsto il confinamento statico e dinamico) (V. Figura 3 a pagina seguente).

Sempre mediante ossatura metallica e/o lignea e teli di polietilene, potrà essere realizzata anche un'unità mobile di cantiere (UMC), accuratamente sigillata ogni qual volta è posizionata.

Con tale unità mobile di cantiere, l'intero terreno oggetto d'intervento potrà essere bonificato attraverso bonifiche successive.

L'impianto elettrico di cantiere dovrà essere derivato da apposito quadro elettrico, provvisto di tutte le protezioni. La procedura che si adotterà per rimuovere lo strato di terreno contaminato può o me-



Figura 3 – Rimozione di terreno contaminato in area confinata. (Fonte: S. Clarelli, *La gestione tecnica del rischio amianto, Tecniche Nuove, 2020*)

no prevedere l'utilizzo di mini escavatore con cingoli in gomma, del peso di 15/18 quintali, con carico variabile. Se è prevista un'unità mobile di cantiere essa potrà essere successivamente spostata nelle varie posizioni, fino alla bonifica completa del terreno contaminato, mediante carrello munito di braccio telescopico. La rimozione del terreno contenente amianto dovrà essere fatta ad umido. Si utilizzerà una soluzione incapsulante spruzzata a bassa pressione, mediante pompa airless. Il terreno contaminato così rimosso dovrà essere insaccato immediatamente e sigillato. Una volta rimosso lo strato superficiale del terreno, il piano di campagna residuo sarà successivamente bagnato con sostanze incapsulanti.

Tutto il terreno rimosso sarà insaccato; la chiusura del sacco (generalmente big bag di 1,00 m³, come in Figura 4) sarà eseguita con doppio legaccio previa aspirazione dell'aria contenuta. Il secondo insaccamento avverrà fuori dalla zona di lavoro, previo lavaggio ad umido del primo sacco in UDM, se prevista (in Figura 2 lo schema di area di decontaminazione dei materiali).

Durante i lavori di rimozione verranno eseguite pulizie della zona di lavoro, per limitare al minimo il



Figura 4 – Big bag

rischio della dispersione di fibre. Tutti i fogli di plastica, nastri, materiale di pulizia, indumenti, ecc. alla fine del lavoro saranno anch'essi decontaminati a secco ed a umido e imballati in doppio sacco e destinati allo smaltimento come rifiuto contaminato.

L'area di lavoro sarà nebulizzata costantemente con la soluzione fissante; dall'ispezione visiva deve risultare l'assenza di elementi contenenti amianto.

Le superfici bonificate dopo il controllo visivo da parte dell'Organo di vigilanza saranno trattate con una soluzione incapsulante per bloccare eventuali microfibre aereo disperse. Al termine di ogni fase di bonifica tutto il materiale di pulizia, sarà imballato in doppio sacco e destinato allo smaltimento come rifiuto contaminato.

Tutte le superfici dell'area di lavoro, comprese le attrezzature saranno pulite con l'aspiratore assoluto e successivamente ad umido. L'area di lavoro sarà pulita ad umido e se, dopo l'ispezione dell'Organo di vigilanza, non ci sarà presenza di polvere, si potrà procedere all'incapsulamento di tutta l'area di cantiere con una soluzione incapsulante per eseguire i monitoraggi in SEM per la restituzione del cantiere, se prevista. Nel caso in cui le analisi superino il limite di legge previsto si procederà ad eseguire ulteriori controlli della pulizia e trattamenti con soluzioni fissanti ed ulteriori analisi. Nel caso di analisi nel limite di legge previsto

dopo la certificazione dell'Azienda sanitaria si procederà all'incapsulamento finale ed allo smontaggio del cantiere; sempre con gli estrattori in funzione, si procederà alla rimozione dei fogli di polietilene che saranno insaccati e smaltiti come rifiuto speciale pericoloso.

Inoltre, in ambienti estesi e non confinabili, ai fini dell'abbattimento delle polveri aerodisperse, è possibile impiegare cannoni nebulizzatori, come ad esempio il *Fog cannon*[®], qui di seguito illustrato a proposito della rimozione del ballast ferroviario, il quale consente di realizzare una sorta di "confinamento dinamico", che consiste in una nube di acqua pressurizzata. Si renderà poi necessario, in concomitanza, eseguire opportuni monitoraggi ambientali per il controllo delle concentrazioni di fibre di amianto nell'aria.

2.5. *Proposte operative per la bonifica del ballast ferroviario contenente amianto*

Come noto, la presenza di amianto oltre che di natura antropica può anche essere di origine naturale. Il pietrisco naturale, utilizzato in ambito ferroviario (ballast), ha una duplice classificazione secondo il catalogo europeo dei rifiuti:

- Codice CER o EER 170507*: *Pietrisco per massicciate ferroviarie contenente sostanze pericolose.*
- Codice CER o EER 170508: *Pietrisco per massicciate ferroviarie diverso da quello di cui alla voce 170507.*

L'Allegato I del Codice Ambiente, recante "*Caratteristiche di pericolo per i rifiuti*", assegna il codice H7 al materiale classificato "*Cancerogeno*", vale a dire a: "*sostanze e preparati che, per inalazione, ingestione o penetrazione cutanea, possono produrre il cancro o aumentarne la frequenza*". Inoltre, l'Allegato D, del medesimo Codice, riguardante "*Elenco dei rifiuti istituito conformemente all'articolo 1, lettera a), della direttiva 75/442/CEE relativa ai rifiuti e all'articolo 1, paragrafo 4, della direttiva 91/689/CEE relativa ai rifiuti pericolosi di cui alla decisione della Commissione 2000/532/Ce del 3 maggio 2000 (direttiva Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio 9 aprile 2002)*", precisando che i rifiuti contrassegnati nell'elenco con un asterisco "*" sono rifiuti pericolosi, prevede per il codice H7: "*una sostanza riconosciuta come cancerogena (categorie 1 o 2) in concentrazione > o = 0,1%*". Pertanto, il ballast non pericoloso, con codice CER o EER 170508, può contenere amianto in concentra-

zione inferiore al limite di pericolosità (0,1% = 1000 mg/kg). È bene per l'accertamento del contenuto di amianto affidarsi alla Microscopia elettronica in scansione (SEM), più precisa, anche perché individua esattamente le fibre di amianto, che non alla meno affidabile Microscopia ottica in contrasto di fase (MOCF), che comunque necessita dell'occhio attento e competente dell'analista.

Necessità di iscrizione alla categoria 9 e adeguata sottocategoria d'iscrizione della categoria 10 da parte dei soggetti preposti alla bonifica

Si ritiene che la ditta preposta alle operazioni di bonifica del ballast ferroviario contenente amianto debba essere iscritta all'Albo nazionale gestori ambientali nella categoria 9 "Bonifici di siti" e nella categoria 10 "Bonifica dei beni contenenti amianto", sottocategoria B, dal momento che il pietrisco è materiale naturale, quindi non un materiale da costruzione a base di amianto, come previsto per la sottocategoria A.

Tecniche di rimozione del ballast ferroviario contenente amianto

Per quanto riguarda la bonifica del ballast ferroviario contenente amianto, almeno nei casi particolari, diventa necessario concordare con l'Azienda sanitaria competente per territorio l'intervento di bonifica più appropriato, nel primario rispetto della protezione delle persone e dell'ambiente.

Per tale bonifica, nei casi di aree di notevole estensione, si potrebbe effettuare una suddivisione in vari settori delimitati con recinzioni/pareti basse, realizzate con pareti o reti metalliche con sovrapposti teli di polietilene, installando un'unità di decontaminazione (in genere prefabbricata, a tre celle, come quelle che si utilizzano nei cantieri delle coperture in cemento amianto), individuando percorsi *ad hoc* per i mezzi di trasporto. Come visto per i terreni contaminati da amianto, è possibile utilizzare come mezzi d'opera preferibilmente mini escavatori. È poi necessario evitare eccessiva polverosità mediante nebulizzazione con agenti surfattanti, utilizzando, in caso di cantieri di maggiori dimensioni, in condizioni di lavoro non confinabili, un cannone nebulizzatore (*fog cannon*[®]), come in Figura 5 (già da anni utilizzato ad esempio nella cava di amianto di Balangero, in provincia di Torino, da parte di RSA Srl, durante la bonifica e riqualificazione ambientale, nelle operazioni di movimentazione dei materiali naturali). Tale sistema è utilizzato nei casi in cui è necessario procedere all'abbattimento di polveri generate dalla movimentazio-

ne del materiale sfuso in genere in spazi aperti o molto vasti. La macchina “fog cannon®” permette un abbattimento significativo delle polveri libere e volatili, con funzionamento anche interamente automatizzato per mezzo di un PC di controllo. Esso opera mediante il lancio a distanza considerevole di un getto trifase (aria/acqua nebulizzata/tensioattivo). La gittata operativa varia da 50 a 250 m di raggio a seconda del modello di macchina e con una apertura angolare anche di 360° in piano. È poi necessario eseguire monitoraggi ambientali in MOCF, al fine di verificare eventuali aumenti delle concentrazioni di fibre di amianto nell’aria durante le operazioni di movimentazione del ballast. Come già visto per il terreno, occorre confezionare il ballast rimosso in big bag oppure in cassoni in caso di grandi quantità. A fine bonifica si ritiene necessario rimuovere lo strato superficiale del terreno sottostante il ballast rimosso, per qualche decina di centimetri (20/30 cm), al fine di eliminare ogni dubbio in merito a residua contaminazione. Poi, al fine di decidere sull’efficacia dell’intervento di bonifica, occorrerà sottoporre ad analisi il terreno per accertarne l’effettiva assenza di amianto. Infine, per quanto riguarda lo smaltimento dei materiali, dovranno essere correttamente indicati il Codice CER o EER non solo del pietrisco contenente amianto (CER o EER 170507*: *Pietrisco per massicciate ferroviarie contenete sostanze pericolose*) ma anche quello del terreno rimosso (CER o EER 170503*: *Terra e rocce contenenti sostanze pericolose* oppure CER o EER 170504: *Terra e rocce diverse da quelle di cui alla voce 170503*).

3. CONCLUSIONI

Come visto, la normativa di settore ha disciplinato soltanto la bonifica di qualche tipologia di manufatti contenenti amianto e solo alcuni approcci di bonifica, lasciando nell’incertezza bonifiche ricorrenti in alcuni contesti specifici, necessariamente quindi votate all’iniziativa e alla sensibilità dei singoli, ancorché sotto la vigilanza, diretta o indiretta, dell’Organo preposto, competente per territorio, per la necessità di dover elaborare il Piano di lavoro previsto dal Testo Unico Sicurezza prima di eseguire i lavori rimozione e demolizione dell’amianto. Questo non è accettabile perché manufatti molto utilizzati in passato, quali ad esempio i pavimenti vinilici in amianto e le canne fumarie in cemento amianto, vengono a volte bonificati con approcci molto diversi passando dalla vigilanza di un Organo competente per territorio ad un altro, anche nel-



Fig. 5 – Fog cannon®. Fonte: RSA Srl

lo stesso ambito regionale. Stesso discorso vale per le bonifiche speciali, non codificate dalla normativa, quali ad esempio quelle riguardanti i terreni contaminati da amianto e il ballast ferroviario contenente amianto e così via.

Pertanto, si auspica ancora una volta un sollecito aggiornamento e ampliamento delle normative tecniche riguardanti sia la bonifica dei molteplici manufatti contenenti amianto sia le bonifiche speciali in vari contesti, le quali non possono più essere lasciate nell’incertezza per cui occorre fare in modo che ci siano approcci univoci di bonifica su tutto il territorio nazionale, evitando le discrasie fin qui emerse.

4. PER APPROFONDIMENTI

- Clarelli S. (2020) La gestione tecnica del rischio amianto. Milano: Tecniche Nuove.
- Clarelli S. (2019) La bonifica dei pavimenti vinilici contenenti amianto e delle canne fumarie in cemento amianto, Atti della Conferenza nazionale “Bonifiche da amianto: non specificamente regolamentate e speciali”, RemTech Expo, Ferrara, 1-12.
- Clarelli S. (2017) Osservatorio amianto: Procedure e adempimenti per andare a colpo sicuro. Ambiente & Sicurezza, New Business Media, 5, 69-78.
- Clarelli S. (2012) Pavimenti in vinyl amianto: indicazioni procedurali per la rimozione, Atti del Convegno “Novità ed Innovazione nella gestione e bonifica sostenibile di siti, suoli, sedimenti ed acque contaminati: stato dell’arte e prospettive”, Ecomondo, Rimini Fiera, 1-6.
- Clarelli S. (2011) Amianto: bonificare i siti con lo smaltimento di rifiuti. Ambiente & Sicurezza, Il Sole 24 Ore, 21, 71-83.
- Clarelli S. (2010) Alcune proposte operative per manutenzione e bonifica. Ambiente & Sicurezza, Il Sole 24 Ore, 7, 64-79.
- Clarelli S. (2009) La tutela degli spazzacamini in caso di cemento amianto nelle canne fumarie. Ambiente & Sicurezza, Il Sole 24 Ore, 15, 36-51.
- Clarelli S. (2001) Pavimenti in vinyl-amianto: come mantenere un buono stato di conservazione. Ambiente & Sicurezza, Il Sole 24 Ore, 22, 22.

an event by

 **Bologna
Fiere**

VERSO NUOVI SCENARI SOSTENIBILI

H₂O

ACCADUEO

BOLOGNA
23-25
GIUGNO
2021

**MOSTRA INTERNAZIONALE
DELL'ACQUA**
TECNOLOGIE, TRATTAMENTI,
DISTRIBUZIONE, SOSTENIBILITÀ

IN CONTEMPORANEA CON

CH₄

**IL SALONE DEDICATO ALLE TECNOLOGIE,
AI SISTEMI PER IL TRASPORTO
E ALLA DISTRIBUZIONE DEL GAS**

www.accadueo.com

PER INFORMAZIONI SULLA MANIFESTAZIONE:
ACCADUEO@BOLOGNAFIERE.IT - TEL. 051/282868

INFORMAZIONI DALLE AZIENDE

GRUPPO VENZA - ALTA EFFICIENZA NEL TRATTAMENTO DEI RIFIUTI LIQUIDI

Una delle principali problematiche per le aziende abilitate alla raccolta e al trattamento dei rifiuti liquidi è il costo della depurazione di alcune soluzioni contenenti alte concentrazioni di sostanze inquinanti quali tensioattivi, boro, cloruri, oli, ammonio, PFAS, la cui rimozione necessita di un processo di concentrazione tramite evaporazione. I consumi di energia degli evaporatori alimentati da fonti fossili comportano infatti dei costi di trattamento compresi tra i 20 e i 40 euro al metro cubo. Una situazione che un gestore di una piattaforma di trattamento sita in Nord Italia in grado di ricevere 30.000 tonnellate all'anno di rifiuti liquidi ha risolto grazie alla sostituzione dell'evaporatore ad acqua calda a triplice effetto con uno a ricompressione meccanica del vapore progettato dal gruppo VENZA, che ha permesso una riduzione dei costi dell'energia a 8 euro al metro cubo. Il trattamento di evaporazione si inserisce in un processo articolato in

diverse fasi. Il liquame raccolto dalle autocisterne viene scaricato in una serie di vasche di equalizzazione della capacità di 50 metri cubi ciascuna. Tramite un sistema di pompaggio, esso viene convogliato nell'impianto di evaporazione, in grado di trattare fino a 10.000 tonnellate l'anno. L'impianto produce fino al 90% di acqua trattata, riducendo il volume degli inquinanti fino al 10%. Il concentrato, che presenta un tenore di secco variabile dal 20 al 50%, viene inviato allo smaltimento o, se i requisiti lo consentono, recuperato come sottoprodotto. La macchina separa allo stesso tempo l'ammoniaca in fase vapore; tramite dosaggio di prodotti chimici essa viene quindi trasformata in una soluzione liquida di solfato di ammonio (contenente il 6-8% di azoto, ovvero il 30-40% di materia secca), che può essere commercializzata come fertilizzante. Il distillato viene riversato in una vasca di accumulo, dalla quale viene inviato ad un impianto di filtrazione su sabbia. L'effluente subisce quindi un trattamento chimico-fisico ed infine un processo biologico, comprendente una fase di nitrificazione e denitrifi-



Figura 2 – Gruppo Venza
Evaporatore a termocompressione

cazione, per l'abbattimento dell'azoto ammoniacale e del COD. L'acqua trattata, la cui qualità viene controllata quotidianamente da un laboratorio interno, viene scaricata nelle fognature nel rispetto dei valori limite fissati dal decreto legislativo 152/06. Le emissioni in atmosfera sono limitate dalla collocazione dell'impianto all'interno di un capannone. L'inserimento di un evaporatore a termocompressione ad alta efficienza energetica ha determinato un notevole abbassamento dei costi operativi del sistema, grazie alla riduzione delle spese per lo smaltimento degli inquinanti e dei costi dell'energia; la tecnica impiegata consente inoltre l'accesso agli incentivi dei Titoli di Efficienza Energetica, come stabilito dalla direttiva europea sull'efficienza energetica (recepita in Italia con decreto ministeriale 158/18).



Figura 1 – Gruppo Venza
Serbatoi di stoccaggio

Gruppo Venza
www.venza.eu
info@venza.eu



RICICLO DEGLI PNEUMATICI ESAUSTI

Il riciclo degli pneumatici arabi parla anche italiano. Il Gruppo Maio ha inaugurato, infatti, nel territorio dell’Emirato di Abu Dhabi un impianto di trattamento degli pneumatici fuori uso (PFU), realizzato presso la discarica di Al Dhafra. L’evento si è tenuto alla presenza del General Manager del Centre of Waste Management di Abu Dhabi, H.E. Dr. Salem Al Kaabi.

“Siamo davvero orgogliosi di questo progetto” ha dichiarato Guglielmo Maio, Direttore Operativo del Gruppo. “Non è affatto facile avere l’opportunità di lavorare in questo territorio, si tratta di un riconoscimento importante alle nostre competenze e alla nostra professionalità. Questa è anche la riprova di un impegno significativo dell’azienda nella gestione integrata nell’ambito della filiera dei rifiuti, di cui ci occupiamo da circa 40 anni. Lavoreremo anche in questo Paese per tenere assieme la sostenibilità economica con quella ambientale e sociale. Sicuramente, porteremo l’esperienza italiana nella gestione ambientale”. L’iniziativa industriale è stata sviluppata grazie alla partnership fra il Gruppo Maio e Tarheel Collecting Wastes Llc, azienda di riferimento negli Emirati Arabi Uniti per il trattamento degli pneumatici a fine vita. L’impianto, costruito interamente dal partner strategico Forrec, sarà gestito dalla controllata del Gruppo BLEU Middle East e avrà il compito di trattare in prima istanza un lotto di 300.000 tonnellate di pneumatici già stoccati e successivamente, nella gestione ordinaria, 30.000 tonnellate l’anno di PFU.

Il Gruppo Maio opera da oltre 40 anni nel campo della tutela ambientale, attraverso la gestione integrata del trattamento e dello smaltimento dei rifiuti. Tutti gli impianti, presenti in diverse regioni, fra cui Lazio, Umbria, Campania e Puglia, sono certificati ISO 9001 e ISO 14001; quelli pugliesi hanno ottenuto anche la registrazione EMAS.

Gruppo Maio

www.gruppomaio.com



NUOVI MATERIALI UTILIZZATI NEL SETTORE DEL PACKAGING DI CARTA E CARTONE

I consumatori preferiscono acquistare online ma non si sottraggono alla tutela dell’ambiente che rimane il motore principale di ogni scelta. Gli imballaggi in carta e cartone sono sempre più protagonisti nelle case degli italiani, che non rinunciano alla raccolta differenziata: nel 2019 oltre 3,5 milioni di tonnellate di carta e cartone avviate a riciclo grazie all’impegno condiviso con la filiera cartaria.

Monomateriale, personalizzato, di dimensioni sempre più ridotte e leggero. Il packaging in carta e cartone è sempre più sostenibile per rispondere alle esigenze dei consumatori indirizzati ormai verso acquisti rigorosamente “green”, forte anche di un’industria cartaria capace di raccogliere le nuove sfide rinnovandosi continuamente.

La ricerca “I nuovi modelli di consumo e la riprogettazione del packaging: la scelta di materiali sostenibili nell’era dell’economia circolare” realizzata, per conto di Comieco, dall’Istituto di Management della Scuola Superiore Sant’Anna analizza le soluzioni industriali che la filiera cartaria sta mettendo a punto proprio per progettare e realizzare imballaggi che riescano allo stesso tempo a soddisfare esigenze di sostenibilità, innovazione e funzionalità con l’obiettivo di facilitarne la raccolta e il riciclo.

Lo studio parte da un’analisi del contesto legato ai consumi: la rete si conferma il “negoziato” preferito dalla maggior parte dei cittadini (nel periodo gennaio/settembre 2020 l’e-commerce è cresciuto del 29%) ma il 70% di chi compra online è disposto a spendere un po’ di più pur di garantirsi una spesa “green” (fonte: Idealo 2019) e l’80% degli e-shopper predilige un imballaggio ecosostenibile perché trasmette l’impegno dell’azienda verso le tematiche ambientali (fonte: Comieco 2019).

Un futuro “sostenibile” non può prescindere dal packaging a base cellulosa.



Figura 1 – Comieco

Copertina della ricerca “Nuovi materiali utilizzati nel settore del packaging di carta e cartone”

Una delle frontiere di innovazione che lo studio esplora è l’utilizzo dei nuovi materiali per gli imballaggi, dove la carta e il cartone hanno un ruolo centrale: dai materiali bio-based di origine animale, a quelli di origine vegetale e alle bioplastiche fino ad arrivare ai nanomateriali, tra i quali spicca la nanocellulosa che ha proprietà uniche come la bassa densità, la grande resistenza, la leggerezza, la rigidità e il basso costo. E non solo: è anche costituita da biomassa, è rinnovabile, biodegradabile e compostabile.

Il settore cartario svolge un ruolo strategico sul mercato dei nuovi materiali grazie alla disponibilità in natura della cellulosa, fondamentale per la realizzazione di imballaggi a basso impatto ambientale, facili da riciclare.

Proprio l’industria del riciclo di carta e cartone rappresenta un’eccellenza italiana dell’economia circolare.

Per scaricare la ricerca e per approfondimenti:

<https://www.comieco.org/modelli-consumo-riprogettazione-packaging-materiali-sostenibili-economia-circolare/>

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



www.comieco.org

AUMA TIGRON: IL NUOVO ATTUATORE ELETTRICO PER L'OIL&GAS

Con più di 50 anni di esperienza nella produzione di attuatori elettrici, AUMA continua a progettare nuovi prodotti per soddisfare le esigenze dell'industria dell'Oil&Gas.

L'azienda, leader nel settore, ha infatti lanciato la nuova serie di attuatori TIGRON, che combina massimi livelli di protezione antideflagrante, design robusto, eccezionale facilità d'uso e innovative funzioni digitali. La versatilità di questa serie garantisce un'automazione delle valvole sicura e affidabile in molti settori di applicazione.

Gli attuatori TIGRON sono certificati ATEX e IECEx per il gruppo di gas IIC, che include idrogeno, gas altamente infiammabile. Questi attuatori sono progettati per resistere alle condizioni ambientali più difficili, coprendo un intervallo di temperatura particolarmente ampio da -65 °C a +75 °C. Inoltre, la protezione dell'involucro IP68 e la verniciatura a polvere estremamente resistente, sono in grado di proteggere efficacemente l'attuatore anche in condizioni climatiche avverse.

Elettronica d'avanguardia, sistemi di sensori innovativi e un'ampia varietà di interfacce rendono TIGRON pronto per il futuro, grazie anche digitalizzazione delle sue funzioni. Il caricamento dei dati su AUMA Cloud facilita la manutenzione predittiva, e il basso consumo energetico in standby riduce al tempo stesso la Carbon Footprint dell'attuatore e i suoi costi operativi. La facilità d'utilizzo è un'altra caratteristica degli attuatori TIGRON. In particolare, l'ampio display, il robusto Combi-Switch, azionabile facilmente anche con i guanti, la semplicità della configurazione, e l'assistente di configurazione integrato per la messa in servizio rendono gli attuatori TIGRON un prodotto *user-friendly*. AUMA collabora da tempo con i costruttori di valvole, e i nuovi attuatori sono in grado di funzionare con tutti i tipi di valvole, ad esempio TIGRON, nella versione multigioco è ideale per l'automazione delle val-

vole a saracinesca. La serie è disponibile in sei taglie, fornendo coppie da 10 Nm fino a 1.000 Nm. Coppie più elevate, inoltre, possono essere raggiunte in combinazione con i riduttori multi-giro. Per l'automazione di valvole a sfera, a farfalla e a globo, gli attuatori TIGRON possono essere abbinati con riduttori a quarto di giro o lineari. Questi attuatori intelligenti sono adatti anche per le attività di automazione più impegnative, come il funzionamento ad alta precisione di valvole di controllo o di regolazione. *"Il nostro nuovo TIGRON è robusto e affidabile, facile da usare e perfetto per soddisfare tutte le esigenze dell'industria dell'Oil&gas"*, afferma Kai Ewald, Head of Sales Oil & Gas di AUMA. *"Gli attuatori TIGRON saranno in grado di supportare gli operatori degli impianti a migliorare la loro efficienza e a rafforzare la posizione sul mercato. Con TIGRON, gli operatori saranno pronti per la moderna automazione degli impianti, di oggi e domani."*

Per ulteriori informazioni, visitate il sito www.tigrone.auma.com

AUMA Italiana S.r.l. a socio unico
Tel. 0331.51351
E-mail: info@auma.it



TECNOLOGIE ENERGETICHE E AMBIENTALI E LORO INTEGRAZIONE NEI PROCESSI INDUSTRIALI

La nascita di Ecogenerazione risponde ad un bisogno: avere un unico interlocutore al quale affidare l'ottimizzazione e la riduzione dei consumi energetici e il trattamento efficace delle acque reflue derivanti dal processo produttivo.

Proprio per mostrare al pubblico come sia possibile utilizzare una perfetta integrazione tra sistemi efficienti per la produzione combinata di energia elettrica e termica, il recupero di calore e tecnologie di trattamento e il recupero dei reflui di processo, Ecogenerazione ha organizzato nei giorni 20 e 21 gennaio 2021, un Webinar focalizzato al re-

cupero energetico che ha richiamato molti addetti ai lavori e molte aziende alla ricerca un partner unico a cui affidare i propri impianti.

Tra gli argomenti trattati le Tecnologie utilizzate e alcune case History: *"Cogenerazione e Scarico Zero in Zincatura"*

Il progetto ha visto la realizzazione di un sistema di cogenerazione con un contratto EPC (Energy Performance Contract come da norma UNI 11352) decennale con garanzia di performance per tutta la durata del periodo contrattuale. L'intervento ha permesso la riqualificazione dal punto di vista energetico e ambientale dello stabilimento di un'importante Zincatura Lombarda attraverso l'installazione chiavi in mano di un sistema cogenerativo da 260 kWhe completo di assorbitore per la generazione di acqua fredda e di un Evaporatore Sottovuoto a triplo stadio da 30 m³ giorno di capacità evaporativa per trattare e recuperare le acque di processo.

"Evaporazione con Recupero calore in Pressofusione"

In questo Progetto è stato installato un recuperatore di calore dai camini dei forni fusori di una pressofusione dell'alluminio. Il calore recuperato alimenta gratuitamente un Evaporatore Sottovuoto a doppio effetto da 20 metri cubi giorno. Anche in questo caso l'intervento ha permesso di trattare e recuperare le acque presenti nei distaccanti utilizzati nel processo produttivo, chiudendo gli scarichi e azzerando il consumo energetico per il trattamento acque.

Durante il webinar, i relatori hanno illustrato anche il modus operandi di Ecogenerazione che parte dall'analisi di ogni singolo caso fino allo studio delle soluzioni su misura. Il risultato è la consegna, installazione e manutenzione post vendita di impianti totalmente integrati che gestiscono al meglio l'energia generata, Elettrica e Termica in un perfetto connubio.

Ecogenerazione
www.ecogenerazione.it
info@ecogenerazione.it





OCEANI

Eelco Rohling

Edizioni ambiente

Anno pubblicazione 2020

Costo 24€, pp. 286

Formato 15x23cm + ebook

ISBN 9788866273189

Negli ultimi decenni abbiamo accumulato un'enorme quantità di informazioni sulle grandi masse d'acqua del nostro pianeta, che dimostrano che le attività umane stanno modificando il clima e gli oceani. La comunità scientifica è compatta nel dire che, continuando con il modello attuale, rischiamo di dover affrontare conseguenze pesanti.

Eelco Rohling racconta i 4,4 miliardi di anni di storia degli oceani, e ricostruisce con chiarezza un percorso punteggiato da eventi come la Terra "a palla di neve" e le grandi estinzioni di massa, la formazione della Pangea e i cambiamenti climatici odierni. Inoltre, mette in evidenza le connessioni tra gli oceani, il clima e l'evoluzione della vita, e le usa per evidenziare che la attività umane odierne avranno con ogni probabilità impatti che si estenderanno fin nel lontano futuro.

"Oceani" ricostruisce la storia del nostro mare fin dalla sua comparsa su questo pianeta, circa 4,4 miliardi di anni fa. In un affascinante viaggio attraverso la preistoria fino ai giorni nostri, Rohling,

paleoceanografo e docente di Oceani e cambiamenti climatici dell' Australian National University, descrive vividamente i principali eventi nell'evoluzione degli oceani – dalla Terra palla di neve all'estinzione di massa del Permiano, la più imponente nella storia della Terra – mettendo in luce gli impatti dell'umanità sulla salute e l'abitabilità del nostro pianeta. Alcune parti sono costituite da spiegazioni scientifiche accurate e forniscono i dettagli su come gli scienziati raccolgono dati e informazioni su cui basare le ricostruzioni del comportamento degli oceani nel passato. Altre ci narrano storie incredibili su quanto gli oceani siano stati diversi da oggi, su come la vita marina si è sviluppata e ha incontrato delle brusche interruzioni. Ci parla di cosa raccontano le conchiglie sulle spiagge e i sedimenti nelle profondità oceaniche. Di quando, 5,33 milioni di anni fa, il Mediterraneo, all'epoca un gigantesco bacino in secca, si riempì nuovamente di acqua di mare, in un arco di tempo che va da pochi mesi a due anni, causando un innalzamento del livello del mare nel bacino fino a 10 metri al giorno.

Rispetto ai tanti libri disponibili sul cambiamento climatico, il libro di Eelco Rohling fornisce una prospettiva nuova, basata su una grande quantità di informazioni e spiegazioni scientifiche e dando piena rilevanza al ruolo essenziale degli oceani nella storia del clima e del cambiamento climatico del nostro pianeta.

Contatti (Tel. o E-mail): Diego Tavazzi diego.tavazzi@reteambiente.it

Sito internet per maggiori informazioni <https://shop.edizioniambiente.it/catalogo/oceani>



Il Gruppo Italiano di Ingegneria Sanitaria-Ambientale (GITISA) è l'Associazione dei docenti universitari inquadrati nel Settore Scientifico Disciplinare (SSD) denominato *Ingegneria Sanitaria-Ambientale*, che operano in oltre 25 Atenei italiani.

I contenuti delle discipline afferenti al SSD riguardano: gli aspetti ingegneristici della tutela e della prevenzione dall'inquinamento degli ecosistemi; la progettazione, la valutazione d'impatto, la costruzione e la gestione di impianti per la depurazione e la potabilizzazione delle acque nonché opere ed impianti per il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti solidi e degli effluenti gassosi; gli interventi di risanamento e bonifica di siti contaminati.

Il GITISA, all'interno dell'ambito di specifica pertinenza, ha lo scopo di promuovere e coordinare sia le attività didattiche, che quelle di ricerca. All'uopo, esplica la sua attività mediante gruppi di lavoro, assemblee e incontri, collaborando altresì all'organizzazione di congressi, simposi, summer-school, anche congiuntamente ad altre associazioni ed Enti scientifici, sia nazionali che esteri.

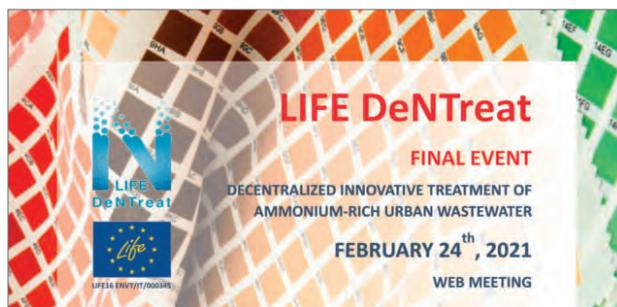
Riferimenti: Tel. 081.7683440, Fax: 081.7683456, www.gitisa.it

EVENTO FINALE DI LIFE DeNTreat

24 febbraio 2021 – Webinar

Negli ultimi dieci anni le tecnologie di stampa digitale su tessuto (DTP) hanno rivoluzionato il modo in cui i tessuti vengono stampati. La tecnologia DTP richiede che molti tipi di tessuto siano pretrattati utilizzando l'urea per consentire all'inchiostro di penetrare nelle fibre tessili. L'urea viene poi dilavata in una serie di bagni di risciacquo, che scaricano acqua con alte concentrazioni di azoto organico e ammoniacale, con un basso rapporto sostanza organica biodegradabile / azoto. I trattamenti convenzionali degli impianti pubblici centralizzati rimuovono l'azoto con i processi convenzionali di nitrificazione e denitrificazione, e si trovano sovraccaricati di azoto e con carenza di sostanza biodegradabile per la denitrificazione. Il progetto LIFE DeNTreat propone una soluzione tecnologicamente innovativa: moduli di pretrattamento decentralizzati basati sul processo biologico ANAMMOX (ANAerobic AMMonium Oxidation), per trasformare l'azoto ammoniacale in azoto gassoso presso l'azienda.

Maggiori dettagli e **registrazione** sul sito <https://tinyurl.com/LIFE-DeNTreat-FE-Registration>
Il **programma dell'evento** è disponibile al link <https://tinyurl.com/LIFE-DeNTreat-FE-Program>



GIORNATA DI STUDIO "RIFIUTI E LIFE CYCLE THINKING"

9 marzo 2021 – Milano

L'Evento organizzato dal gruppo di ricerca AWARE (Assessment on WASTE and REsources) del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale del Politecnico di Milano e dal Gruppo di Lavoro Gestione e Trattamento dei Rifiuti dell'Associazione Rete Italiana LCA.



La giornata è dedicata alla presentazione e discussione di lavori sul tema: "Sviluppi e applicazioni delle metodologie basate sul life cycle thinking nella gestione e trattamento dei rifiuti, a supporto di un'economia sostenibile".

La partecipazione all'evento è gratuita. L'evento si svolgerà in modalità a distanza. È necessaria l'iscrizione entro il 5 marzo 2021 sul sito www.aware.polimi.it

Aggiornamenti sul sito <http://www.aware.polimi.it>

IWA EcoSTP 2021

21-25 giugno 2021 – Politecnico di Milano – Milano

Dopo quattro edizioni di successo, la comunità di IWA EcoSTP si riunirà al Politecnico di Milano dal 21 al 25 giugno 2021 per condividere e discutere tecnologie e pratiche emergenti per il trattamento delle acque reflue. La conferenza sarà partecipata da delegati della ricerca, dell'industria e policy maker da tutto il mondo. Il programma scientifico di IWA EcoSTP 2021, progettato da un comitato scientifico di rilevanza internazionale, sarà composto da un'ampia gamma di attività, tra cui keynote lectures, sessioni tematiche, workshop e corsi brevi. Il principale obiettivo della conferenza sarà la creazione di una visione comune per il futuro del settore idrico, nell'ottica di promuovere lo sviluppo e la diffusione di soluzioni sostenibili e circolari per affrontare le sfide ambientali presenti e future.



Info: info-ecostp2020@polimi.it – www.ecostp2020.polimi.it



Grey

Mixer

UNIQA®

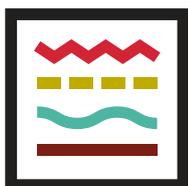


better together

■ *Le tue esigenze sono uniche, non accontentarti di una soluzione ordinaria.*

**SVILUPPIAMO SOLUZIONI INTEGRATE
PER IL TUO PROCESSO INDUSTRIALE.**

zenit.com   



RIVISTA TECNICO-SCIENTIFICA PER IL SETTORE DELL'INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE

Ingegneria dell'Ambiente (IDA) è una rivista scientifica ad accesso aperto (open access) nata nel 2014 da un'iniziativa della Sezione Ambientale del *Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale del Politecnico di Milano*. La rivista è **gratuita** per autori e lettori (open access) ed è dotata di un sistema di revisione paritaria (peer-review).

Ingegneria dell'Ambiente pubblica articoli riguardanti la ricerca tecnico-scientifica nei campi di interesse dell'Ingegneria Sanitaria-Ambientale e si propone come strumento in lingua italiana per raggiungere e dialogare con tecnici ambientali, liberi professionisti, funzionari della pubblica amministrazione, formatori ed Enti di controllo.

La rivista ospita contributi in lingua italiana; ma sono richiesti anche un titolo e un abstract in inglese.

I temi di interesse della rivista sono: *Tecnologie per acque di approvvigionamento e di rifiuto; Riutilizzo e recupero di energia e materia; Inquinamento dell'aria e depurazione delle emissioni in atmosfera; Inquinamento delle acque; Bonifiche dei suoli contaminati; Trattamento e gestione dei rifiuti; Valutazione di impatto ambientale; Cambiamenti climatici; Analisi del ciclo di vita; Energia e ambiente; Sistemi di gestione ambientale; Caratterizzazione, monitoraggio e modellistica dei fenomeni di inquinamento ambientale.*

Ingegneria dell'Ambiente pubblica Articoli di ricerca, che illustrano risultati di ricerche tecnico-scientifiche; Articoli di review, che illustrano lo stato dell'arte; Comunicazioni tecnico-scientifiche, che illustrano risultati di progetti dimostrativi o soluzioni applicative innovative; Brevi resoconti di convegni o mostre; Recensioni di volumi, italiani e stranieri, di interesse per i campi dell'Ingegneria Sanitaria Ambientale; Editoriali o testi generali di inquadramento di temi di particolare rilevanza dell'Ingegneria Sanitaria Ambientale, scritti con un linguaggio divulgativo (su invito della Direzione Scientifica o del Comitato Scientifico).

Per l'invio di proposte utilizzare la piattaforma all'indirizzo: www.ingegneriadellambiente.net

Ingegneria dell'Ambiente ha il patrocinio di
GITISA (Gruppo Italiano di Ingegneria Sanitaria, www.gitisa.it);
AIAT (Assoc. Ingegneri per l'Ambiente e il Territorio, www.ingegneriambientali.it).

La pubblicazione su **Ingegneria dell'Ambiente** è riconosciuta ai fini dell'ottenimento di **5 crediti** per la formazione informale prevista degli Ordini Professionali.



DEFINING THE LIMIT AS STANDARD

Attuatori elettrici per l'industria Oil & Gas

Sicuri, resistenti, a prova di esplosione. AUMA offre una vasta gamma di attuatori e riduttori per tutte le esigenze.

- Automazione per tutti i tipi di valvole industriali
- Elevata protezione dalla corrosione
- Integrazione con i principali sistemi di controllo
- Certificazioni e approvazioni internazionali



www.auma.it

auma[®]
Solutions for a world in motion



WATER TECHNOLOGIES

Mobile Water Services

Servizi mobili per il trattamento dell'acqua

Il servizio Mobile Water Services è costituito da unità mobili per il trattamento dell'acqua che consente di rispondere a situazioni di emergenza o azioni pianificate, facilitando una risposta tecnicamente ed economicamente sostenibile.

La flotta è composta da più di 350 unità mobili dotate di diverse tecnologie per affrontare diverse tipologie di richieste: osmosi inversa, filtrazione, scambio ionico, demineralizzazione dell'acqua, chiarificazione, decarbonatazione (ACTIFLO™ e ACTIFLO™ Soft) o ultrafiltrazione.

Contatti:

Emilio TURCHI- Business Development Manager Mobile Water Services

Tel: +39 345 706 5970

www.mobilewaterservices.com

Resourcing the world





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

The SIAD logo consists of a stylized green graphic of horizontal lines on the left, followed by the letters "SIAD" in a bold, green, sans-serif font.

INDEX



VOL. 7
NUM. 4
2020

EDITORIAL

Integrated wastewater management: the future of water reuse in large metropolitan areas – *George Tchobanoglous*

ARTICLES

Presence and impacts of SARS-CoV-2 in water services – *Michela Langone, Luigi Petta, Gianpaolo Sabia, Carmela Maria Cellamare, Marco Ferraris, Roberta Guzzinati, Davide Mattioli*

Qualitative and quantitative analysis of rock wool waste management – *Piera Policaro, Federica Carollo, Lucia Rigamonti*

A hybrid eulerian-lagrangian model for air quality and source apportionment in urban areas: case study for Milan city centre – *Giovanni Lonati, Nicola Pepe, Guido Pirovano, Alessandra Balzarini, Anna Toppetti, Giuseppe Maurizio Riva*

Environmental sustainability, climate change and sporting events: a review – *Dario Battistel, Marco Benedetti, Paolo Cescon, Giovanni Finotto, Andrea Gambaro, Angelo Pecci, Orazio Rossi*

TECHNICAL-SCIENTIFIC COMMUNICATIONS

Definition of operational proposals for asbestos remediation not specifically regulated by current legislation – *Sergio Clarelli*

Foto in copertina
di Pixabay

ISSN e e-ISSN 2420-8256

Ingegneria dell'Ambiente per il 2020 è sostenuta da:



better together

