

L'acqua nascosta nel nostro carrello della spesa – The hidden water of our food baskets

Original

L'acqua nascosta nel nostro carrello della spesa – The hidden water of our food baskets / Sciarra, C., Tuninetti, M., Falsetti, B.. - In: PANGEA. - ISSN 2704-7458. - 6:(2021), pp. 38-40.

Availability:

This version is available at: 11583/2930533 since: 2021-10-12T16:48:20Z

Publisher:

Associazione GEAM

Published

DOI:

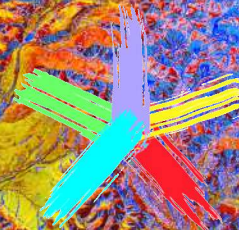
Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

pangea



Periodico dell'Associazione
Georisorse e Ambiente - GEAM
PANGEA - Quadrimestrale
N.6 marzo-giugno 2021

Direzione e redazione

Associazione GEAM
c/o DIATI—Politecnico di Torino
C.so Duca degli Abruzzi, 24
10129 TORINO

Direttore editoriale

Domenico Antonio De Luca
Università di Torino

Comitato di redazione

Marta Carla Bottero - Politecnico di Torino;
Paolo Dabove - Politecnico di Torino;
Federico Dell'Anna - Politecnico di Torino;
Giovanna Antonella Dino - Università di Torino;
Francesco Luda di Cortemiglia - GEAM;
Daniele Martinelli - Politecnico di Torino;

Segreteria di Redazione

Laura Bianco

Grafica e impaginazione

Laura Bianco; Federico Dell'Anna

In copertina: immagine presa dal satellite Landsat-5, per gentile concessione della NASA e del Dipartimento degli Interni degli Stati Uniti / U.S. Geological Survey

Elenco esperti e referenti in campo scientifico e professionale

Esperti e Referenti *	Campo di lavoro
Dott.ssa Vanessa Assumma , Politecnico di Torino;	Pianificazione territoriale, supporto alla decisione
Prof.ssa Rossana Bellopede , DIATI—Politecnico di Torino;	Ingegneria delle materie prime
*Prof.ssa Alessandra Bianco Prevot , Università di Torino	Chimica
ing. Marco Casale , Libero professionista - ingegnere minerario;	Ingegneria mineraria, sostenibilità
Giulio Cavana , Politecnico di Torino;	Energia, sostenibilità
Ing. Elisabetta Cimnaghi , Fondazione LINKS;	Ingegneria dell'ambiente, beni culturali
Ing. Giuseppe Francesco De Luca* , Agenzia Spaziale Italiana	Reti satellitari, Telecomunicazioni
Prof.ssa Alessandra Faraudello , Università del Piemonte Orientale;	Economia
Dott.ssa Francesca Gambino , DST – Università di Torino;	Beni culturali, pietre ornamentali
Ing. Pietro Jarre , Ingegnere civile, Global Studio TCA;	Ingegneria geotecnica e ambientale, management
Dott.ssa Manuela Lasagna* , Università di Torino -	Idrogeologia, Protezione delle risorse idriche sotterranee
Prof. Alessandro Pavese ,	Geomateriali e analoghi sintetici
Dott. Piero Primavori* , Libero professionista	Pietre ornamentali ed heritage stone
Prof. Piercarlo Rossi* , Università di Torino—	Management e legislation
Lorena Zichella , DIATI Politecnico di Torino	Ingegneria delle materie prime

I testi e le fotografie che compongono gli articoli della presente rivista Pangea sono opinione personale degli autori; la redazione non ha alcun potere di controllo e di vigilanza sugli articoli e pertanto la stessa non assume alcun onere di protezione con riferimento all'utilizzo anche abusivo di terze parti.

EDITORIALE

Domenico Antonio De Luca

Giornata mondiale dell'ambiente, 5 giugno e "Ripristino degli ecosistemi": la situazione nel bacino del mediterraneo

Nella Giornata mondiale dell'ambiente, che si celebra ogni anno il 5 giugno e che in questo 2021 è dedicata al "Ripristino degli ecosistemi": la situazione nel bacino del mediterraneo.

La Giornata Mondiale dell'Ambiente 2021 si concentra sull'azione urgente per dare nuova vita agli ecosistemi danneggiati. Ripristinarli significa non soltanto riportarli a una condizione originaria, ma impostare una interazione diversa con loro, tra uomo e natura. Un'azione che per centrare l'obiettivo deve necessariamente avere un respiro globale. "Il ripristino dell'ecosistema è un'impresa globale su vasta scala", ricorda l'Onu. "Significa riparare miliardi di ettari di terra in modo che le persone abbiano accesso a cibo, acqua pulita e lavoro

Ripristino degli ecosistemi significa assistere al recupero degli ecosistemi che sono stati degradati o distrutti, nonché alla conservazione degli ecosistemi ancora intatti. Ecosistemi più sani, con una biodiversità più ricca, offrono maggiori benefici come terreni più fertili, maggiori rese di legname e pesce e maggiori riserve di gas serra.

Il ripristino può avvenire in molti modi, ad esempio attraverso la semina attiva o rimuovendo le pressioni in modo che la natura possa riprendersi da sola. Non è sempre possibile – o desiderabile – riportare un ecosistema al suo stato originale. Abbiamo ancora bisogno di terreni agricoli e infrastrutture su terreni che una volta erano foreste, per esempio, e gli ecosistemi, come le società, devono adattarsi a un clima che cambia.

Da qui al 2030, il ripristino di 350 milioni di ettari di ecosistemi terrestri e acquatici degradati potrebbe generare 9 trilioni di dollari in servizi ecosistemici. Il ripristino potrebbe anche rimuovere dall'atmosfera da 13 a 26 gigatonnellate di gas serra. I benefici economici di tali interventi superano di nove volte il costo dell'investimento, mentre l'inazione è almeno tre volte più costosa del ripristino dell'ecosistema.

Tutti i tipi di ecosistemi possono essere ripristinati, comprese foreste, terreni agricoli, città, zone umide e oceani. Le iniziative di restauro possono essere lanciate da quasi chiunque, dai governi e dalle agenzie di sviluppo alle imprese, alle comunità e agli individui. Questo perché le cause del degrado sono molte e varie e possono avere un impatto a diverse scale.

In questo contesto la regione Mediterranea è una delle aree più a rischio al mondo per gli effetti dei cambiamenti climatici. Infatti a livello atmosferico l'area mediterranea si riscalda il 20% più velocemente rispetto alla media globale (ha già raggiunto +1,5 °C rispetto ai livelli preindustriali) e ancora di più si riscaldano le sue acque. Tutto questo comporterà un deficit di risorse, con 250 milioni di persone in scarsità idrica entro due decenni, e un rapido innalzamento del livello del mare dovuto soprattutto alla dilatazione termica dell'acqua.

Il problema non è soltanto l'aumento di un metro o più entro fine secolo, ovvero l'acqua che ricopre le terre: i 20-25 cm di innalzamento previsti entro una decina d'anni determineranno il cuneo salino, la penetrazione di acqua salata nelle terre costiere, che diverranno così sterili per l'agricoltura. Un fenomeno che avrà l'impatto maggiore in aree come il Delta del Nilo, dove la salinizzazione può mandare in tilt l'agricoltura di sussistenza di milioni di persone.

Direzione e redazione

Associazione GEAM
c/o DIATI—Politecnico di Torino
C.so Duca degli Abruzzi, 24
10129 TORINO

Direttore editoriale

Domenico Antonio De Luca
Università di Torino

Le conseguenze si notano già adesso. La parte meridionale dell'Europa inizia ad avere un clima più affine a quello del Nord Africa. Con i cambiamenti climatici l'anticiclone delle Azzorre fin qui elemento unificante della nostra identità mediterranea, che favoriva un clima mite per l'agricoltura, è scalzato dagli anticlioni africani, che portano siccità. Questo cambio di clima sta modificando gli equilibri europei, a partire dalle rotte navali. Nel nord Europa, con la fusione dei ghiacci artici, si stanno aprendo due passaggi a nord operativi per la navigazione, mentre il canale di Suez sta perdendo valore. Allo stesso tempo stanno aumentando spinte economiche e commerciali unificanti tra la sponda sud del Mediterraneo e la sponda settentrionale dell'Africa.

Secondo la World Meteorological Organization e il Met Office c'è il 40% di probabilità che la temperatura media annuale globale arrivi a sfiorare i +1,5 °C dai valori di riferimento entro i prossimi 5 anni. «Il grado e mezzo non è un problema di per sé, ma c'è forse stato un errore di comunicazione da parte degli scienziati, che non hanno capito che le persone processano da prima la componente emotiva del messaggio.

Dire che la temperatura è aumentata di un grado in 200 anni non fa di per sé notizia. Quello che si dimentica di dire è che questo si traduce in un eccesso di energia che introita il sistema Terra, l'equivalente dell'esplosione di 410 mila bombe atomiche al giorno, energia non incanalata nel sistema che si trasforma in disordine. Sul Mediterraneo il caos è più rapido e più esacerbato. I media di solito parlano dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla fisiologia umana (ondate di calore), dell'impatto degli eventi climatici estremi sulle infrastrutture, ma non si parla abbastanza dell'imprevedibilità del clima che fa venir meno servizi ecosistemici essenziali, cicli da cui continuiamo strettamente a dipendere.

Quando parliamo di clima parliamo di valore, di biodiversità. I cambiamenti climatici desincronizzano i meccanismi su cui prolifera la biodiversità ed esercitano su di essa una pressione fortissima. A questo si aggiungono gli interventi umani più diretti, come l'inquinamento da plastica che oltre ad avvelenare il Mediterraneo, un mare grande ma pur sempre un sistema chiuso, crea anche un problema commerciale per i pescatori: sempre più spesso ci si imbatte in macroplastiche visibili nel pescato. Oltre a questo ricordiamo l'inquinamento industriale e la perdita di biodiversità anche attorno alle acque del Mediterraneo, nei prodotti agricoli e nella copertura forestale: certi prodotti agricoli esistono da noi grazie a una serie di biomi che portano ricchezza nel suolo e rappresentano una fonte di reddito enorme. (Grammenos Mastrojeni Segretario Generale per l'Energia e l'Azione Climatica dell'Unione per il Mediterraneo).

Inoltre il funzionamento del sistema terra condiziona la sicurezza alimentare. Sicurezza alimentare e pace sono collegate, nel Mediterraneo ce ne siamo accorti dapprima con le Primavere arabe, che sono state un moto politico, ma preceduto da quattro anni di moti per il pane. I cambiamenti climatici avevano colpito i grandi produttori di cereali come l'Ucraina e l'Australia facendo diminuire i raccolti e generando un aumento dei prezzi. Su questa situazione si è innescato il mercato dei biocarburanti, che hanno sottratto terreno all'agricoltura e creato pressioni sull'offerta, provocando un ulteriore aumento dei prezzi e creando quattro milioni di nuovi poveri, una miccia per le prime proteste in Tunisia.



SOMMARIO

GEOLOGIA APPLICATA

7

C. CASELLE, S.M.R. BONETTO

Analisi delle problematiche geologiche connesse alla coltivazione di giacimenti di gesso

GEOMATERIALI E ANALOGHI

SINTETICI

15

A. PAVESE, E. DESTEFANIS, C. CAVIGLIA

Termovalorizzatori: una risorsa ancora da sfruttare

ENERGIA E AMBIENTE

25

F. DELL'ANNA

La sostenibilità a scala distrettuale in Europa

ECONOMIA CIRCOLARE E

VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI

29

COME MATERIA PRIMA SECONDA

E. GRANDE, C. LESO

Recupero di sostanza organica dai rifiuti per la produzione di materiale ammendante e consigli sul compostaggio domestico

Rubriche

36

P. JARRE

DIATI

P. PRIMAVORI, R. BELLOPEDE

S. CRESTA

ANALISI DELLE PROBLEMATICHE GEOLOGICHE CONNESSE ALLA COLTIVAZIONE DI GIACIMENTI DI GESSO

Chiara Caselle¹, Sabrina Maria Rita Bonetto^{2,*}

¹ Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino; chiara.caselle@unito.it

² Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino; sabrina.bonetto@unito.it

* Corresponding author

Abstract: Il gesso è una risorsa naturale utilizzata fin dall'antichità per scopi edilizi, ornamentali e per altre numerose applicazioni. Viene infatti ancora oggi estratto in tutto il mondo tramite scavi a cielo aperto o in sotterraneo. In particolare, in Piemonte (e più precisamente nell'area del Monferrato) sono concentrate le più importanti unità estrattive di gesso presenti nel settore nord occidentale del territorio nazionale. Dal punto di vista geologico, il gesso presenta alcuni caratteri particolari, legati principalmente all'assetto geologico, strutturale e idrogeologico del sito, che richiedono una gestione adeguata allo scopo di evitare danni di tipo ambientale e nei confronti della sicurezza del sito di scavo e degli operatori. Scopo di questo articolo è quello di proporre un'analisi delle principali problematiche che possono insorgere in ambiente di cava in relazione alla natura geologica e idrogeologica dei corpi gessosi, in modo da fornire strumenti adeguati a prevenire ed affrontare i rischi connessi.

Parole chiave: gesso; estrazione; materie prime; rischi geologici

1. Introduzione

Il gesso è una materia prima utilizzata per diversi scopi e applicazioni. Secondo il US Geological Survey on Mineral Commodity (Febbraio 2020), durante il 2019, nel mondo ne sono stati estratti circa 140 milioni di tonnellate. Il suo utilizzo è principalmente legato all'industria del cemento e alla produzione di pannelli di cartongesso e di stucchi, ma vi sono anche applicazioni legate alla produzione di vernici e di alcuni fertilizzanti e in contesto clinico (ad esempio per l'immobilizzazione di fratture ossee e come supporto per agenti farmaceutici).

La presenza di gesso in volumi e concentrazioni tali da renderlo interessante dal punto di vista estrattivo è legata a condizioni geologiche molto particolari. In Italia, alcuni tra i più importanti giacimenti di gesso sono ascrivibili alla Crisi di Salinità Messiniana, un evento paleo-ambientale che ha interessato gran parte dell'area mediterranea intorno a 6 milioni di anni fa. Durante la Crisi di Salinità Messiniana la concentrazione di sali nelle acque del Mediterraneo ha subito un forte aumento, portando alla precipitazione di grandi volumi di gessi, anidriti e sali.

Al fine di assicurare la sicurezza dell'ambiente di cava e delle zone limitrofe, limitando l'impatto ambientale ed, al tempo stesso, ottimizzando la produzione di materiale, i lavori di scavo devono essere accompagnati da attente valutazioni, sia in fase progettuale sia durante l'avanzamento della coltivazione e le fasi di recupero della cava, che tengano conto delle specificità di questo materiale. In particolare, è importante considerare le caratteristiche fisiche e chimiche del minerale gesso (in particolare, l'elevata solubilità in acqua e la scarsa resistenza meccanica), l'elevata variabilità geologica, la frequente presenza di sedimenti marnoso argillosi, intercalati ai livelli di gesso o come riempimento di faglie fratture e il possibile sviluppo di fenomeni carsici.

Scopo di questo articolo è quindi quello di delineare le principali problematiche che possono insorgere durante l'estrazione in giacimenti di gesso messiniano, sia a cielo aperto che in sotterraneo, facendo riferimento in modo particolare alla situazione piemontese. Verranno riportati, quindi, esempi relativi al settore geografico del Monferrato, all'interno del quale sono concentrate le più importanti unità estrattive di gesso presenti nel settore nord occidentale del territorio nazionale.

2. I giacimenti di gesso messiniano in Piemonte

Gli affioramenti di gesso di età messiniana in Piemonte sono osservabili in corrispondenza a due settori del Bacino Terziario Piemontese (BTP), allungati in direzione EW ed ubicati rispettivamente a N e a S della città di Asti, in corrispondenza al settore collinare del Monferrato ed al margine rispettivamente settentrionale e meridionale del cosiddetto Bacino Pliocenico Astigiano (Figura 1) e sono descritti, nella cartografia geologica con il nome di "Formazione Gessoso-Solfifera". Al suo interno, i depositi evaporitici sono organizzati in cicli di deposizione costituiti da livelli di gesso (che possono raggiungere fino a 15 m di spessore) intercalati a strati di marna con spessori compresi tra pochi decimetri e 2-3 metri. La potenza di ciascun ciclo varia da 5 a 35 metri e, tendenzialmente, i cicli più potenti (e che quindi possono diventare oggetto di estrazione) ricadono nella parte inferiore e media del-

la formazione. A seconda dei livelli, il gesso può presentarsi con caratteristiche diverse. In particolare, si distinguono livelli costituiti da gesso selenitico a grana grossa, con cristalli che possono raggiungere decine di centimetri, e livelli in cui il gesso si presenta a grana fine (da pochi millimetri a qualche centimetro) e la roccia presenta una matrice marnosa che può avere concentrazioni variabili tra il 5% e il 20% (Dela Pierre et al., 2016).

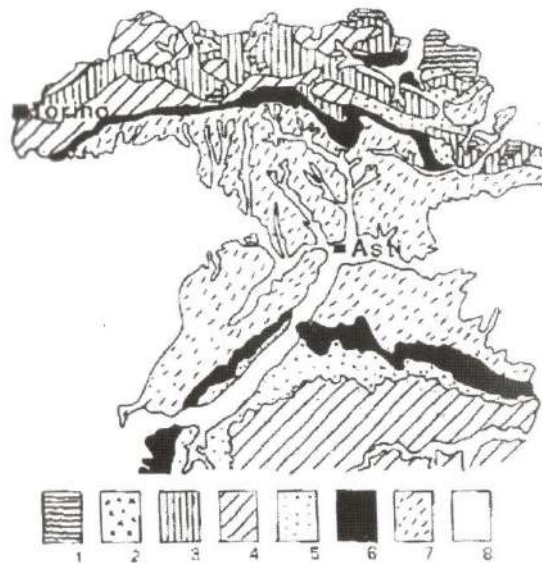


Fig. 1. Schema geologico del Bacino Terziario Piemontese: 1. Unità Liguri esterne del Monferrato; 2. Unità subliguri del Monferrato; 3. Oligocene; 4. Miocene medio-inferiore; 5. Miocene medio-superiore; 6. Messiniano; 7. Pliocene; 8. Depositi quaternari

In alcune aree del Monferrato (ad esempio, nelle aree di Montiglio e di Moncucco), tuttavia, gli affioramenti di gesso si presentano con caratteristiche piuttosto diverse. In queste aree, infatti, i corpi di gesso fanno parte di un deposito caotico, che contiene blocchi di diversa natura e dimensione inglobati in una matrice marnoso-argillosa. Secondo i modelli recenti, questo deposito è legato a processi gravitativi e a fenomeni di risalita di fluidi che avrebbero portato allo smantellamento di sedimenti precedentemente deposti, tra cui la successione evaporitica, e alla loro rideposizione in ambiente più profondo (“Complesso Caotico della Valle Versa” nella cartografia geologica più recente – Dela Pierre et al. 2003).

In questi contesti il gesso si presenta in blocchi irregolari di varia dimensione, da alcuni metri a parecchie centinaia di metri. Di conseguenza, la geometria e l’estensione del giacimento non si può stabilire a priori, ma varia di caso in caso, e la continuità laterale del giacimento non può essere assicurata. È quindi utile dedicare particolare attenzione alla prospezione geologica attraverso sondaggi e con tecniche di indagine indiretta. In particolare, tecniche geofisiche quali sismica a rifrazione e elettrica hanno dato buoni risultati nel distinguere il gesso dai depositi marnoso-argillosi che generalmente confinano con i giacimenti (Caselle et al., 2019a).

La coltivazione dei giacimenti di gesso può avvenire a cielo aperto o in sotterraneo. In caso di cave a cielo aperto (Figura 2a), dopo la iniziale rimozione dello strato di suolo, si procede generalmente dall’esterno verso l’interno, con coltivazione a gradoni. Le attrezzature e i metodi estrattivi utilizzati dipendono dalle caratteristiche del giacimento e della risorsa mineraria e consistono generalmente in martelli pneumatici, pale meccaniche accoppiate ad un frantumatore idraulico o all’esplosivo e, in alcuni casi particolari, nella semplice scalfitura delle pareti di scavo tramite una punta metallica. Le cave in sotterraneo, invece, sono generalmente organizzate con schemi di coltivazione per camere e pilastri o per camere e diaframmi e lo scavo viene effettuato tramite esplosivo o tramite l’utilizzo di una fresa meccanica ad attacco puntuale (Figura 2b).



Fig. 2 a. Cava di gesso a cielo aperto. b. Galleria di una cava di gesso in sotterraneo, scavata con fresa meccanica

3. Le problematiche geologiche e idrogeologiche associate ai giacimenti messiniani

Molte delle problematiche che possono insorgere durante le attività estrattive in giacimenti di gesso messiniano possono essere ricondotte all'assetto geologico, strutturale o idrogeologico del sito. Nei prossimi paragrafi, proveremo ad affrontare nel dettaglio ciascuno di questi aspetti.

3.1 Problematiche legate all'assetto geologico del sito

Come illustrato precedentemente, il gesso dei giacimenti di origine messiniana può presentarsi sotto forma di diverse facies, ciascuna con diverse caratteristiche in termini di dimensione dei cristalli, porosità e contenuto di matrice marnoso-argillosa. Tutti questi elementi esercitano un controllo sulla risposta meccanica del materiale, che, pur restando nel campo delle rocce deboli, può variare sensibilmente in funzione del sito, del livello di coltivazione e persino lateralmente, all'interno dello stesso livello, se il materiale è particolarmente eterogeneo al suo interno. Risulta quindi importante evitare di utilizzare valori medi riportati in letteratura per descrivere la resistenza meccanica del gesso, ma eseguire prove di laboratorio che consentano di quantificare correttamente il comportamento della roccia caso per caso (Caselle et al., 2019b).

Inoltre, la natura geologica dei giacimenti di origine messiniana porta ad avere, in associazione ai volumi di gesso, la presenza di livelli marnoso-argillosi, che possono presentarsi come livelli interstrato nel caso di giacimenti in gesso primario o come matrice marnoso-argillosa che avvolge i blocchi di gesso in caso di giacimenti in gesso risedimentato. La presenza di marna può essere inoltre riscontrata in modo inaspettato in corrispondenza di superfici di faglia o di frattura o come riempimento di cavità carsiche. In tutti questi casi, se la coltivazione si sviluppa in sotterraneo, la presenza di intercalazioni marnose, oltre a rappresentare uno sterile di cava, può portare all'insorgere di problematiche geotecniche durante l'avanzamento della coltivazione e alla necessità di adeguare le tecniche di scavo utilizzate, rallentando o persino portando all'interruzione dei lavori estrattivi. La presenza di materiali marnoso-argillosi richiede infatti tempestivi interventi di consolidamento per prevenire fenomeni di instabilità in calotta o di locali distacchi in parete. Nel caso in cui tali materiali si presentino al contorno degli scavi, è infatti necessario ricorrere all'utilizzo di spritz beton e reti elettrosaldate, per contenere il rigonfiamento causato, molto spesso, da un locale detensionamento superficiale e dalla mancanza di una sufficiente contropinta di contenimento, per effetto del vuoto e del contatto con l'umidità. Un'ulteriore problematica riguarda lo stoccaggio temporaneo del materiale di scarto, che richiede la disponibilità di spazi e mezzi di trasporto adeguati, oltre ad ulteriori analisi geotecniche per la verifica della stabilità del materiale accumulato.

3.2 Problematiche legate all'assetto strutturale

Da un punto di vista strutturale, la presenza di eventuali superfici di discontinuità e le loro caratteristiche fisiche, meccaniche e idrauliche deve essere attentamente valutata; tali superfici rappresentano, infatti, elementi di debolezza meccanica e possono influire negativamente sulla stabilità della cava. La presenza di più sistemi di discontinuità che si intersecano può condurre alla formazione di cunei e blocchi di materiale di differente forma e dimensione, in grado di dare origine a crolli in parete, nel caso di cave a cielo aperto, oppure crolli in calotta e lungo i piedritti, nelle coltivazioni in sotterraneo. Inoltre, le discontinuità possono rappresentare vie preferenziali per

le acque sotterranee ed eventuali sostanze inquinanti, facilitandone l'ingresso accidentale all'interno della cava (Figura 3).



Fig. 3. Esempio di discontinuità strutturale riconosciuta in una cava di gesso in sotterraneo abbandonata.

La presenza di un riempimento marnoso-argilloso che spesso caratterizza faglie e fratture può causare un ulteriore effetto negativo ai fini della stabilità della cava, in questo caso specialmente se in sotterraneo. Le caratteristiche geotecniche di tali materiali, soprattutto in presenza di acqua, risultano infatti piuttosto scadenti, se paragonate a quelle del gesso, e sono tali per cui, se intercettate dallo scavo e non adeguatamente consolidate, possono essere soggette a rigonfiamenti e rilasci tensionali in grado di originare locali fenomeni di crollo. A seconda dell'entità del crollo, della quantità di materiale coinvolto e, soprattutto, della potenza della copertura, si possono verificare anche casi di subsidenza a giorno, ad esempio per scavarnamenti e spinte, se non anche veri e propri sfornellamenti (Bonetto and Fornaro, 2005).

Oltre a causare una diminuzione della resistenza meccanica dell'ammasso roccioso, la presenza di eventuali superfici di discontinuità può anche influire dell'assetto idrogeologico, in quanto tali superfici costituiscono potenziali punti di avvio di sistemi di circolazione carsica, come illustrato nello schema in Figura 4. Le acque sotterranee che scorrono inizialmente lungo le discontinuità esistenti possono gradualmente operare una azione di progressiva dissoluzione nei confronti del gesso (che costituisce le pareti delle discontinuità stesse) portando alla formazione di condotti e cavità carsiche.

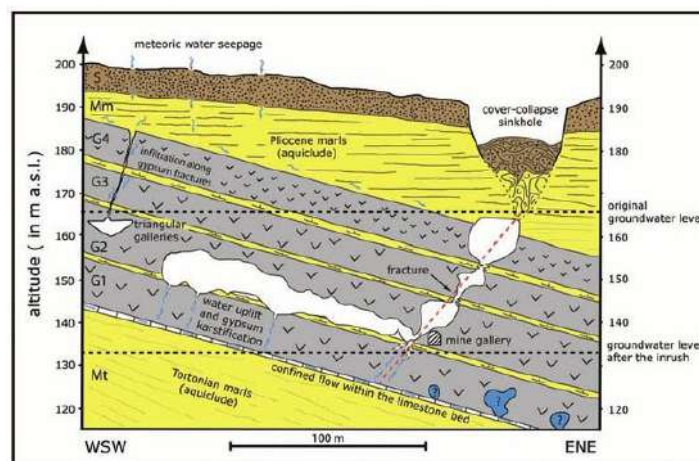


Fig. 4. Modello di formazione di circuiti carsici in gesso (Bonetto et al., 2008a)

3.3 Problematiche legate all'assetto idrogeologico

Il gesso presenta una pressoché nulla porosità primaria e la circolazione di acqua al suo interno è completamente affidata ad una permeabilità secondaria dovuta alla presenza di superfici di discontinuità e fratture, condotti e cavità carsiche esistenti che ne determineranno l'omogeneità o l'anisotropia in termini di permeabilità, trasmissività e conducibilità idraulica. Nonostante gli strati di gesso messiniani siano generalmente confinati, a tetto e a letto, da depositi marnoso-argillosi (e quindi sostanzialmente impermeabili), localmente possono crearsi percorsi preferenziali che permettono il fluire dell'acqua, sia a tetto che a letto, consentendo l'impostarsi di una connessione idraulica in seguito a processi di dissoluzione a spese della successione di gesso. Tale dissoluzione, inizialmente, si concentra in corrispondenza alle superfici di tetto e di letto del giacimento gessoso per poi arrivare ad attraversarlo completamente. Le discontinuità di natura stratigrafica (tra cui le superfici che mettono in contatto il gesso con litotipi differenti) e strutturale (che sono invece rappresentate da fratture, piani di faglia o zone di taglio in corrispondenza delle quali l'acqua è in grado di fluire) risultano particolarmente importanti per l'avvio di circuiti carsici. Di conseguenza, una approfondita analisi dell'assetto geo-strutturale e stratigrafico risulta anche importante per prevedere le caratteristiche geometriche di un eventuale circuito carsico.

Le specifiche caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso di gesso possono portare allo sviluppo di sistemi di circolazione carsica differenti. Anche in contesti stratigrafici molto simili, infatti, il gesso può essere caratterizzato dalla presenza di poche fratture localizzate e ben riconoscibili oppure da una fratturazione diffusa che interessa gran parte dell'ammasso roccioso. Figura 5 mostra due modelli di circolazione carsica all'interno di volumi di gesso messiniano caratterizzati da questi diversi tipi di assetto strutturale (proposti da Vigna et al. 2017).

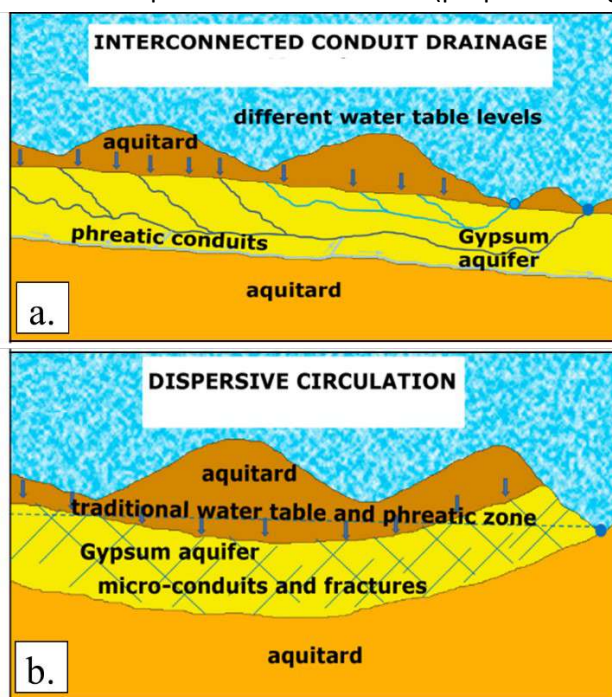


Fig. 5 Due possibili circuiti carsici sviluppati in gesso: a. *interconnected conduit drainage*; b. *dispersive circulation* (Vigna et al., 2017)

Nel primo modello (*interconnected conduit drainage*) la sequenza di gesso è relativamente compatta. Le acque superficiali che si infiltrano dalla superficie e i fluidi che risalgono da livelli più profondi seguendo sistemi di fratture esistenti nei depositi marnoso-argillosi sovrastanti e sottostanti costituiscono la ricarica del circuito carsico. La circolazione idrica che si viene a creare si concentra all'interno di condotti e cavità, sfruttando le linee di debolezza strutturale dell'ammasso di gesso, quali sistemi di fratture preesistenti.

Nel secondo modello (*dispersive circulation*) i livelli di gesso sono caratterizzati da una fratturazione molto più intensa, con numerose superfici che consentono il passaggio dell'acqua. Il sistema carsico che viene a crearsi è un acquifero estremamente fratturato e carsificato con un'elevata interconnessione tra le fratture e i condotti carsici. Le caratteristiche di questo tipo di acquifero portano allo sviluppo di una tavola d'acqua con un comportamento simile alle superfici piezometriche degli acquiferi porosi.

La presenza di circolazione carsica richiede, in presenza di una realtà estrattiva, particolari attenzioni sia per la stabilità dell'ambiente di cava stesso, in particolare se sviluppato in sotterraneo, sia per eventuali ripercussioni sull'ambiente circostante. Il carsismo, infatti, esercita una considerevole influenza sulle attività di cava, così come l'attività di cava può produrre un forte impatto sulla circolazione carsica, in particolare se vengono provocati cam-

biamenti nella circolazione idrica locale tramite l'interferenza della cava sull'assetto idrogeologico dell'area. (Bonetto et al., 2008b)

Senza un costante monitoraggio geologico e un'attenta gestione della cava, l'attività estrattiva può diventare responsabile di fenomeni pericolosi, che, nel caso di circolazione carsica localizzata in condotti (*interconnected conduit drainage*) possono ad esempio manifestarsi sotto forma di violenti *inrush* di acqua nelle gallerie e di impoverimento o abbassamento del livello statico degli acquiferi superficiali, con possibili ripercussioni sulla produttività di sorgenti e pozzi nell'area circostante. La variazione dell'equilibrio del circuito carsico, inoltre, può portare ad un aumento della velocità dell'acqua nei condotti e, di conseguenza, ad un aumento della velocità di dissoluzione del gesso. In alcuni casi, l'insieme di questi elementi può anche portare ad una propagazione verso l'alto del fenomeno di dissoluzione, fino a raggiungere le unità di copertura del giacimento e la superficie, innescando fenomeni di subsidenza (Figura 6).



Fig. 6. Fenomeno di subsidenza di superficie (*sink hole*) (Bonetto et al. 2008a)

In presenza di circuiti carsici del tipo *dispersive circulation*, invece, la particolare natura della circolazione carsica può causare un locale impoverimento delle caratteristiche geomeccaniche del gesso. L'acqua diffusamente presente all'interno delle molteplici superfici di fratture e dei piccoli condotti, infatti, può operare una dissoluzione diffusa sul gesso, causando modifiche a livello microstrutturale che possono portare ad avere valori di resistenza geomeccanica di molto inferiore a quelli previsti.

Nelle coltivazioni in sotterraneo, vengono generalmente previsti dei sistemi di drenaggio delle acque, con raccolta in bacini dedicati e pompaggio all'esterno. I sistemi di pompaggio vengono però necessariamente disattivati al termine delle attività estrattive, quando il livello dell'acqua sotterranea tornerà alla sua quota iniziale, causando un ulteriore peggioramento della resistenza meccanica del materiale. Per questo motivo, quando possibile, è utile creare nuovi percorsi che consentano all'acqua di fluire naturalmente al di fuori della cava, reinserendosi nel circuito naturale.

Problemi per la stabilità e la sicurezza delle coltivazioni in sotterraneo possono anche sorgere in relazione a circuiti carsici non più attivi, le cui cavità risultino riempite di depositi residuali (normalmente marne e argille). Analogamente a quanto descritto in relazione a faglie e fratture con riempimento di argilla, le caratteristiche geotecniche scadenti di questi materiali possono provocare crolli e detensionamenti che, se non affrontati in maniera corretta, possono anche degenerare in casi di subsidenza a giorno.

4. Conclusioni

Nei siti di cava finalizzati all'estrazione di gesso, l'assetto geologico-strutturale e idrogeologico dell'ammasso roccioso può spesso risultare responsabile di problematiche nella salvaguardia dell'ambiente e della sicurezza. Gli aspetti più critici sono spesso legati alla presenza di depositi marnosi in corrispondenza di discontinuità stratigrafiche o strutturali o di vuoti carsici abbandonati, per le scarse caratteristiche geotecniche di questi materiali, ed alla presenza di circuiti carsici attivi, per la possibilità di svuotamento del circuito e per l'azione peggiorativa che l'acqua esercita sulle caratteristiche meccaniche del gesso. Se non correttamente previsti e gestiti con opere di prevenzione e di monitoraggio, questi elementi possono mettere a rischio la stabilità dei fronti di scavo e delle gallerie in sotterraneo e persino portare allo sviluppo di fenomeni di subsidenza in superficie. Al fine di assicurare una adeguata gestione del rischio, il corretto approccio metodologico consiste in un'attenta analisi geologica, strutturale e idrogeologica del sito supportata da sondaggi geofisici e da monitoraggio idrogeologico.

Bibliografia

- Bonetto, S., Fiorucci, A., Fornaro, M., Vigna, B., 2008a. Subsidence hazards connected to quarrying activities in a karst area: the case of the Moncalvo sinkhole event (Piedmont, NW Italy). *Estonian Journal of Earth Sciences* 57, 125. <https://doi.org/10.3176/earth.2008.3.0>
- Bonetto, S., Fornaro, M., 2005. Subsidence events related to natural conditions and gypsum quarrying activity in the Monferrato area (Piedmont, NW Italy). Presented at the In Proceedings of MAEGS14 - 14th Meeting of the Association of European Geological Societies, Torino, 19-23 September 2005, pp. 61-62.
- Bonetto, Sabrina, Fornaro, M., Giuliani, A., Lasagna, M., 2008b. Underground Quarrying and Water Control: Some Cases from Northern Italy, *Mine Water and the Environment*, Proceedings. Vsb-Tech Univ Ostrava, Ostrava.
- Caselle, C., Bonetto, S., Colombero, C., Comina, C., 2019b. Mechanical properties of microcrystalline branching selenite gypsum samples and influence of constituting factors. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 11, 228–241. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.09.003>
- Caselle, Chiara, Bonetto, S., Comina, C., 2019a. Comparison of laboratory and field electrical resistivity measurements of a gypsum rock for mining prospectation applications. *International Journal of Mining Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.09.002>
- Dela Pierre, F., Natalicchio, M., Lozar, F., Bonetto, S., Carnevale, G., Cavagna, S., Colombero, S., Sabino, M., Violanti, D., 2016. The northernmost record of the Messinian salinity crisis (Piedmont basin, Italy) Regional Committee on Mediterranean Neogene Stratigraphy Interim Colloquium - Torino, 25-28 September 2014. *Geol. Field Trips* 8, 2–58. <https://doi.org/10.3301/GFT.2016.0>
- Dela Pierre, F., Piana, F., Fioraso, G., Boano, P., Bicchi, E., Forno, M.G., Violanti, D., Balestro, G., Clari, P., D’atri, A., De Luca, D., Morelli, M., Ruffini, R., 2003, Note Illustrative della Carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000; Foglio 157 Trino. Settore Studi e ricerche Geologiche – Sistema Informativo Prevenzione Rischi - AR-PA, Litografia Geda, Nichelino.
- Vigna, B., D’Angeli, I., Fiorucci, A., Waele, J.D., 2017. Hydrogeological flow in gypsum karst areas: some examples from northern Italy and main circulation models. *International Journal of Speleology* 46. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.46.2.2095>



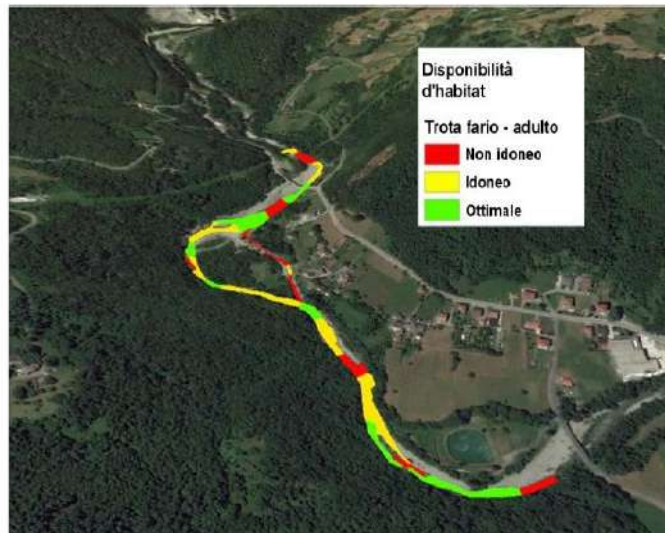
Chiara Caselle ha recentemente conseguito il Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Torino, dove attualmente è Borsista di Ricerca.



Sabrina Maria Rita Bonetto è attualmente ricercatrice presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Torino, dove tiene corsi di Geologia Applicata, Indagini Geologico-Tecniche e Cave. È laureata in Scienze Geologiche ed ha conseguito il Dottorato di ricerca in Ingegneria Ambientale presso il Politecnico di Torino.

Corso di formazione Metodologia MesoHABSIM (MesoHABITAT SIMULATION MODEL)

Politecnico di Torino – Aula 7
20 - 24 settembre 2021



Segreteria tecnica e iscrizioni
GEAM - Associazione Georisorse e Ambiente
c/o DIATI - Politecnico di Torino C.so Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino
Tel. 011.0907681, geam@polito.it, www.geam.org

Corso organizzato da



Politecnico di Torino
Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture



Con la partecipazione di



TERMOVALORIZZATORI: UNA RISORSA ANCORA DA SFRUTTARE

Alessandro Pavese^{1,*}, Enrico Destefanis¹, Caterina Caviglia¹

¹Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino, Via Valperga Caluso 35, 10125-Torino (Italy) e-mail: alessandro.pavese@unito.i, enrico.destefanis@unito.i, caterina.caviglia@unito.i

* Corresponding author

Abstract: La differenziazione dei rifiuti è la via per consentirne una gestione sostenibile nel tempo. Esiste, comunque, una quota di rifiuti non differenziati, che dev'essere trattata in modo alternativo al conferimento in discarica. Il termovalorizzatore permette ciò, convertendo in energia termica il potere calorifico dei rifiuti e riducendone il volume. Tuttavia, i processi di incenerimento portano a due tipologie di scarti: ceneri pesanti (BA) e ceneri leggere (FA). Riuscire a valorizzare questi materiali è un passaggio chiave per assicurare sostenibilità del ciclo di termovalorizzazione. BA e FA presentano caratteristiche molto differenti, e pertanto vanno gestiti ricorrendo a strategie specifiche, entro i margini della legislazione nazionale ed europea. BA e FA devono essere sottoposte a trattamenti che le rendano compatibili all'impiego previsto. Tali trattamenti sono disegnati seguendo principi di efficacia ed economicità, tenuto conto che i materiali risultanti, non più scarti, sono comunemente destinati ad impieghi a limitato valor aggiunto, ma richiedenti grandi volumi.

Parole chiave: Sostenibilità rifiuti ceneri leggere ceneri pesanti trattamenti valorizzazione

1. Introduzione

La nostra società si è sviluppata fino a raggiungere l'assetto odierno in un contesto di crescente complessità, dovuta ad un grado di sempre più articolata correlazione tra aspetti che condizionano e caratterizzano la vita d'ogni giorno. Ciò è un effetto congiunto di: i) progressi scientifico-tecnologici, che hanno reso possibili processi di molteplice natura impensabili fino a qualche decennio addietro ii) riconoscimento consolidato del diritto dell'essere umano ad un contesto tutelante in termini di qualità della vita, nelle sue varie declinazioni: ambiente, sicurezza sul lavoro, etc iii) presa di coscienza, ormai diffusa, dell'ineludibile necessità di disegnare ed implementare strategie sostenibili per il management di alcune macro-dinamiche funzionali al sistema società.

1.1 I rifiuti

In tale quadro, focalizziamo l'attenzione al problema della gestione dei rifiuti. Tale aspetto è di crescente importanza, e si configura come una sfida cruciale per la sostenibilità dello sviluppo del sistema paese, nell'abito più ampio dei costrutti della "circular economy". Nel seguito sono ricordati, in termini solo indicativi, alcuni riferimenti legislativi e le implicazioni tecniche che essi comportano in relazione alla gestione dei rifiuti.

I D.Lgs. 152/2006 e 205/2010, con la direttiva europea 2008/98/EC, definiscono "rifiuto" qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi, oppure abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi.

La natura e classificazione del rifiuto sono materia complessa, in termini sia di caratterizzazione chimico-fisica sia di incidenza sulla scala della pericolosità. Per fare un esempio, Fig. 1 mostra l'articolazione ad elevata interconnessione applicabile ai rifiuti, quando si voglia descriverli attraverso la nozione di stato della materia.

LA COMPLESSITA' DELLO STATO FISICO DEI RIFIUTI

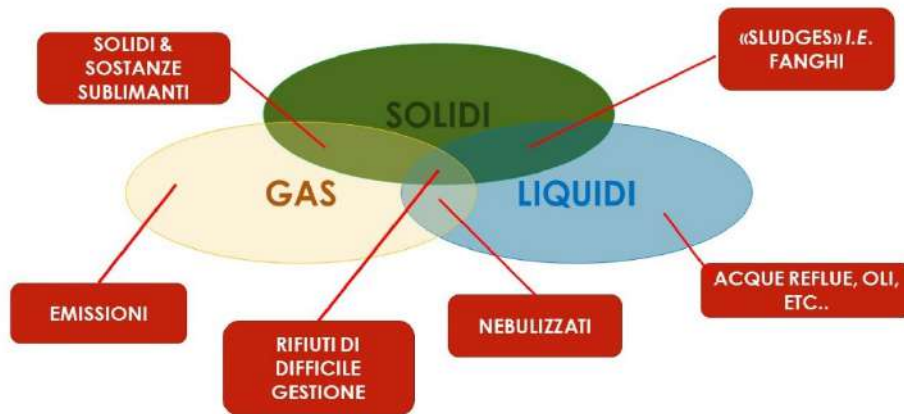


Fig. 1. Stato fisico dei rifiuti. Le aree di sovrapposizione indicano sistemi a stato fisico misto.

Le normative e direttive menzionate, individuano una scala di priorità quanto alle modalità di gestione del rifiuto, secondo l'ordine crescente riportato nel seguito: 1) conferimento in discarica 2) utilizzo come combustibile e recupero energetico 3) riutilizzo e riciclo 4) prevenzione e riduzione della produzione di rifiuti.

I rifiuti, poi, sono ulteriormente diversificati in funzione del grado di pericolosità e della loro origine (art. 184, D.Lgs. 152/2006 art. 11, D.Lgs. 205/2010). Pertanto, distinguiamo:

- rifiuti pericolosi
- rifiuti non pericolosi.

La pericolosità è associata al comportamento del rifiuto: esplosivo, comburente, tossico, etc (si veda: Allegato I, D.Lgs. 205/2010).

Quanto all'origine, abbiamo:

- urbani (attività domestica, pulizia strade, aree verdi, ...)
- speciali (attività industriali, attività agricole, attività di servizio, ...).

Nell'ambito di un così articolato panorama, ci concentriamo sui "rifiuti solidi urbani" (RSU). La soluzione naturale per la gestione dei RSU, coerentemente alla scala delle priorità, passa attraverso il ricorso alla loro differenziazione. Tale approccio consente di focalizzare l'attenzione e gli sforzi a classi specifiche di materiali, massimizzando così l'impatto ai fini d'una gestione efficace, sfruttando al meglio il know-how ad oggi disponibile e quello in sviluppo. Esulano, tuttavia, da questa strategia i rifiuti "indifferenziati", che per l'area metropolitana torinese, in termini di esempio ed a cui fanno riferimento c.a. 2.5 mln di cittadini, ammontano a c.a. 532000 t/anno (Regione Piemonte).

1.2 Gestione dei RSU

Quanto alla gestione dei RSU-indifferenziati (RSUI), per i quali mancano le specificità proprie dei prodotti della differenziata, il "conferimento" in discarica, pur efficiente sotto il profilo temporale e della "speditività", è intrinsecamente di difficile sostenibilità nel lungo termine. Tre sono gli obiettivi nella gestione dei RSUI: 1) riduzione drasti-

ca del loro volume 2) sfruttamento delle loro potenzialità energetiche 3) minimizzazione dei residui del processo di cui ai punti 1 e 2. Tali aspetti si sintetizzano e concretizzano nel processo di “termo-valorizzazione”, articolato nelle fasi di “pre-trattamento” e di “trattamento termico”.

Nella fase di pre-trattamento, vengono recuperati metalli, attraverso l’impiego di elettrocalamite o correnti parassite (queste ultime sono citate per completezza, ma il loro impiego è prevalentemente orientato a trattare prodotti di scarto che saranno presentati nel seguito), consentendo in questo modo il recupero superiore al 10 wt%, e con una ri-destinazione immediata dei materiali recuperati, una volta cerniti per specie.

Nella fase di trattamento termico, i RSUI sono sottoposti ad un regime di alta temperatura, con lo scopo di sfruttarne il potere calorifico liberato dalla combustione. Nella Fig.2 è mostrato in modo schematico il processo di gestione dei RSUI.

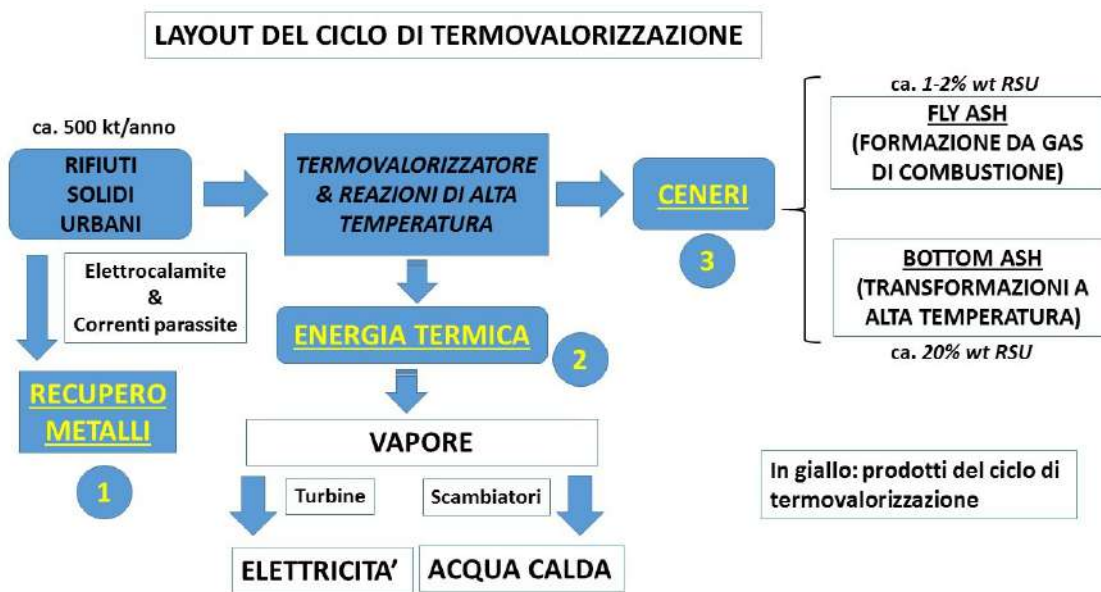


Fig. 2. Schema elementare del ciclo di termovalorizzazione. Sono messi in evidenza (colore giallo) i “prodotti”, a diverso grado di fruibilità, che richiedono trattamenti a vario livello di complessità (1,3), oppure già disponibili all’uso (2).

L’energia termica così disponibile viene trasferita al mezzo vapore, che in parte alimenta un sistema a turbina per generare elettricità ed in parte fornisce calore per il riscaldamento dell’acqua sanitaria (teleriscaldamento). La Fig.3 illustra schematicamente il processo di trattamento dei RSUI.



Fig. 3 Schema che rappresenta il ciclo di funzionamento di un termovalorizzatore. Da “www.trm.it”

Tuttavia, la fase di trattamento termico implica la produzione di due tipologie di materiali di scarto:

- **ceneri pesanti** (bottom ash – BA). Esse sono il residuo della combustione
- **ceneri leggere** (fly ash – FA). Esse sono frutto dei processi di cristallizzazione che hanno luogo nel percorso di trattamento dei fumi dovuti alla combustione.

Le BA costituiscono circa 20 wt% dei RSUI trattati, e le FA rappresentano circa 1-2 wt% (Iren). La gestione di BA e FA è un passaggio fondamentale per assicurare la sostenibilità dell'intero processo di termovalorizzazione dei RSUI.

Le BA sono materiali che non possono essere portati a diretto contatto con l'ambiente, per il rilascio di specie contaminanti (per esempio metalli pesanti, cloruri, solfati). Le FA Sono classificate come **rifiuto pericoloso** a causa dell'alto contenuto di sali solubili, metalli pesanti, tracce di composti organici ed elevato pH in acqua, e necessitano pertanto di una gestione adeguata.

1.3 Valorizzazione di BA e FA

La domanda chiave che ci poniamo è la seguente: abbiamo modo di valorizzare BA e/o FA, in modo da non dovercene “sbarazzare”, ma convertire in materiali funzionali a qualche scopo, traducendole pertanto in ciò che si definisce “end of waste”?

La possibilità di valorizzare le ceneri prodotte è strettamente connessa a due aspetti. L'uno, è quello inerente alle intrinseche caratteristiche chimico-fisiche dei materiali in questione, che condizionano in termini tecnico-scientifici il loro impiego entro definiti contesti. L'altro, è relativo alle normative in essere, sia a livello nazionale sia a livello europeo, che confinano i margini di utilizzo in rapporto all'incidenza sul sistema ambiente. Pertanto, in relazione ai punti accennati, vengono messi in opera trattamenti finalizzati a rendere le ceneri compatibili con differenti impieghi tecnici, coerentemente con le normative correnti.

BA e FA sono comunque materiali profondamente differenti e come tali necessitano di approcci specifici. Ciò nonostante, al fine di definire trattamenti efficaci alla loro valorizzazione, deve essere messo in conto il principio che combina “**economicità**” (contenuti costi operativi) con “**sostenibilità ambientale**” (estrema attenzione ai sottoprodotti del trattamento, come potenziali contaminanti o ulteriori problematici rifiuti). Una difficoltà che si aggiun-

ge nella gestione delle ceneri è quella derivante da un grado di dipendenza dalla stagionalità dei RSUI (i rifiuti cambiano al variare delle stagioni), dalla collocazione geografica (i rifiuti risentono di abitudini locali) e dalle variazioni nel tempo delle specie merceologiche che vengono più utilizzate, e di conseguenza divengono poi origine di rifiuti.

1.4 Trattamenti ed impieghi di BA/FA

Le BA (Fig. 4) si estendono su un intervallo granulometrico molto ampio, dalla scala del μ m alla decina di mm. Sono dominate da fasi amorfe (~ 80 wt%) e da una restante parte minerale (carbonati, silicati, solfati), con composizioni rappresentate da elementi maggiori quali Ca e Si (Bayuseno e Schmahl, 2010).



Fig. 4. Ceneri pesanti (BA)

La loro più immediata problematicità ambientale, come già accennato, è legata al “rilascio” di specie contaminanti (metalli pesanti: rame, cromo, zinco, cadmio, etc... solfati e cloruri), che può essere rapportato alla loro dimensione, la quale, inoltre, correla anche con una variabilità composizionale (Caviglia et al., 2019). In questa luce, il ricorso a strategie di vagliatura che sfruttano la dipendenza delle proprietà delle BA dalla granulometria è utile a massimizzare gli effetti di trattamento. In particolare, al ridursi del taglio granulometrico aumenta la tendenza al rilascio. Tale tendenza viene mostrata nella Figura 5, che evidenzia l’andamento della conducibilità elettrolitica nel tempo dei differenti tagli granulometrici di BA (da 20 mm a 0,063mm), mettendo così in luce un comportamento nettamente più reattivo al di sotto di 1 mm di dimensione lineare.

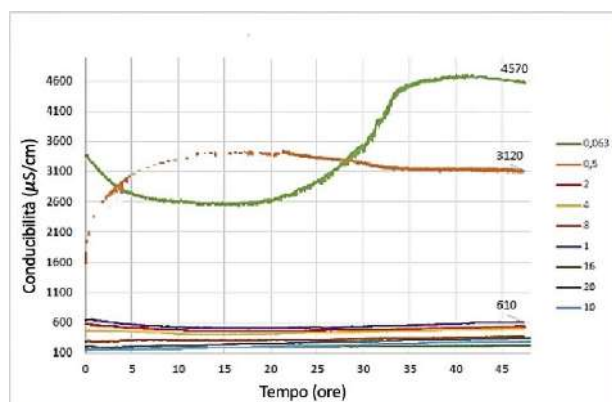


Fig.5. Misure di conducibilità elettrolitica (μ S/cm) nel tempo (ore), eseguite durante test di rilascio di BA di differenti tagli granulometrici, da grossolani (20 mm) a fini (0,063mm).

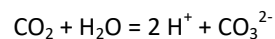
I trattamenti più ricorrenti, possono essere accorpati in due principali categorie:

- **lavaggio**, per BA con dimensione > 1-2 mm
- **carbonatazione/passivazione**, per BA “fini”, con dimensione almeno inferiore a 1mm.

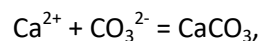
I dimensionamenti riportati sono solo indicativi, e vanno rapportati alla specificità delle BA in analisi.

Quanto ai “lavaggi”, essi sono certo efficaci alla rimozione di specie solubili, con particolare riferimento a cloruri e solfati. L’impiego delle tecnologie con lavaggio sono condizionate dalle dinamiche stesse applicate, introducendo effetti dovuti all’attrizione inter-particelle, che comporta una varietà di fenomeni prevalentemente dovuti alla formazione di un particolato fine, eventualmente solubile (Alam et al., 2017). Recentemente è stata anche proposta una modalità di trattamento innovativo basato sull’impiego di vapore, in sostituzione della fase liquida (Destefanis et al., 2020). Una “controindicazione” all’impiego dei lavaggi è rappresentata dalla complessità di gestire le acque risultanti (waste waters), che accolgono i contaminanti da cui sono state liberate le ceneri. Le “waste waters” sono gestibili convenzionalmente attraverso l’impiego di filtri, che consentono di trattenerne i contaminanti rilasciando il solvente, comunemente acqua. La riduzione dei costi legati ai filtri può essere attuata con l’ausilio complementare di sistemi a filtraggio “poveri”, quali ad esempio il bio-char (materiale verde carbonizzato), che consente un’efficace azione di cattura di metalli pesanti (Inyang et al., 2016). Tuttavia, l’uso dei filtri sposta solo il problema d’origine alla gestione successiva dei filtri saturi, sebbene consenta di concentrare le specie inquinanti in volumi più piccoli e gestibili di quelli iniziali. Un approccio alternativo, è quello di indurre nelle acque processi di precipitazione selettiva, immobilizzando in solidi a bassa solubilità le specie da cui è necessario liberare il solvente, riducendo di conseguenza l’impiego di filtri.

La “carbonatazione” procede attraverso le reazioni:



e



con formazione di carbonati, prevalentemente di calcio. Tale trattamento richiede quindi un ambiente umido, per promuovere la prima delle reazioni sopra riportate, e la presenza di CO_2 , per ottenere il carbonato che sviluppa un’azione passivante e/o di intrappolamento di metalli. La via più economica, e seguita, di realizzare ciò consiste nel processo di “aging”, in cui le ceneri sono esposte alla carbonatazione naturale. Tenuto conto del basso contenuto assoluto di CO_2 nell’atmosfera (da non confondersi, al contrario, con il suo troppo elevato contenuto per l’impatto ambientale, *i.e.* ~400 ppm), l’aging richiede tempi lunghi, dell’ordine del mese. Un’alternativa possibile è l’induzione di processi di carbonatazione accelerata [6,8], sottoponendo le ceneri ad atmosfera satura in CO_2 , a data pressione e temperatura, per ridurre i tempi di trattamento ad alcune ore, ma “pagando” ciò con la necessità di impianti specifici ed una generale complessità nella gestione.

Senza entrare nei dettagli, la destinazione delle BA, o di frazioni di esse, è funzione della legislazione locale. Alcuni degli ambiti più comuni sono quelli forniti dalle applicazioni geotecniche (sottofondi stradali o riempimento dei vuoti, per esempio), dalla produzione dei clinker per cementi e dal ruolo quale parte aggregata dei calcestruzzi più limitatamente, dalla produzione di ceramici e di vetri ceramici.

Le FA (Fig. 6) presentano granulometria mediamente inferiore a ~200 μm , e tale per cui il 50% è inferiore a ~50 μm . Sono composte in prevalenza da fasi minerali, tipo alogenuri, carbonati, silicati semplici (quarzo) e solfati. In termini chimici, la FA presentano come specie chimiche maggiori Ca, Cl, S, K, Si, Al. Queste ceneri sono particolarmente “reattive”, quindi “instabili”, e pertanto complesse da gestire. A fronte di ciò, oggi sono comunemente conferite in ambienti sotterranei speciali, dopo un trattamento iniziale, a bassa umidità per evitare la loro solubilizzazione parziale e dispersione nell’ambiente di contaminanti.



Fig. 6. Ceneri leggere (FA)

La gestione di tali ceneri costituisce a tutt'oggi un rilevante problema tecnico, con potenziali ricadute importanti sull'ambiente. Molti aspetti sono ancora oggetto di studio, e metodi consolidati di trattamento sono in divenire, o confinati a specifici casi di ceneri leggere. Un possibile approccio, è quello di ricorrere prima la dissoluzione (in alcuni casi fino al 30 %wt), generando così due sistemi: una soluzione, che ricade in quanto già accennato sopra, ed un residuo, insolubile o debolmente solubile, che può esser "assimilato" ad una BA fine.

Le strategie di valorizzazione delle FA sono da intendersi ancora largamente in sviluppo, correlate alla speciazione degli elementi pesanti e da adattarsi alle specificità dei materiali in questione.

In questo contesto, tecniche di "pellettizzazione", usando aggreganti di tipo cementizio, o promuovendo processi di geopolimerizzazione (Lam et al., 2010) e/o di attivazione *via* alcali (Liu et al., 2021) sono metodologie d'impiego. In particolare, con la "pellettizzazione" si intende ridurre le superfici specifiche, aggregando le particelle, e minimizzando, di conseguenza, i fenomeni di rilascio. Il rivestimento ulteriore dei "pellets", per esempio con materiali cementizi, consente di realizzare una più efficace barriera ai fenomeni di rilascio.

Va ricordato, inoltre, il ricorso a processi di vetrificazione (Park e Heo, 2002), con trattamenti termici di alta temperatura con l'obiettivo di produrre vetri ceramici, in presenza eventualmente di promotori di reazione per contenere le temperature. Tale approccio, pur efficace, incontra il limite dovuto al consumo cospicuo d'energia ed immissione, in molti casi, di CO₂ nell'ambiente.

Infine, l'adattamento di ceneri a processi di produzione del clinker per cementi (Guo et al., 2017), o d'impiego in ambito ceramico tradizionale (Deng et al., 2018), in altri termini entro ambiti industriali caratterizzati da trasformazioni a regime di alta temperatura, è di grande interesse, investendo contesti d'utilizzo con una rilevante capacità di accogliere materiale.

Con riferimento sia a BA sia a FA, si può applicare il concetto di "*urban mining*". Nella fattispecie, le ceneri sono una tipologia dei prodotti dei processi antropici a forte connotazione urbana, e portano con sé una potenzialità che dev'essere sfruttata. In particolare, si è accennato sopra a trattamenti per rendere BA/FA compatibili a definiti contesti d'impiego. Ma non dobbiamo dimenticare che BA/FA sono portatori intrinseci di specie chimiche che hanno rilevanza tecnica ed economica (ad esempio: litio, rame, zinco). Deve, pertanto, anche essere esplorata l'opportunità di considerare BA/FA alla stregua di "*ore minerals*", da cui estrarre elementi di interesse (Tang et al., 2017). Tale aspetto è comunque delicato, e deve essere adeguatamente ponderato, per bilanciare il costo di "estrazione" con la "continuità della presenza" della specie cercata, alla luce delle fluttuazioni stagionali e di costume, che le ceneri riflettono.

2. Conclusioni

La gestione dei rifiuti in genere costituisce una delle priorità della nostra società moderna, per assicurarne uno sviluppo sostenibile. Idealmente si pensa di andare nella direzione di una società che non produca rifiuti, perché tutto viene riciclato o riutilizzato. Questo obiettivo, può essere avvicinato attraverso processi produttivi che consentano una completa differenziazione dei rifiuti, in modo da facilitare la definizione di strategie efficienti ed efficaci per il loro riciclo o riuso. Di fatto, esiste ad oggi una quota (circa 39%) di rifiuti che riesce indifferenziata (AA.VV., 2020), e per cui il conferimento in discarica è di difficile sostenibilità nel tempo. Sotto tale luce, i termovalorizzatori offrono una soluzione, pur *transitoria*, alla gestione dell'indifferenziato.

I termovalorizzatori gestiscono i rifiuti cogliendo due importanti risultati: 1) riduzione volumetrica dei rifiuti 2) sfruttamento del potere calorifico per produrre energia termica (impiegata per generare corrente elettrica e riscaldare acqua per uso riscaldamento abitazioni). A differenza dalle discariche, consentono a fine vita dell'impianto un più completo recupero delle aree utilizzate.

Tuttavia, l'operatività di un termovalorizzatore è sostenibile nella misura in cui si progetti un reimpiego dei suoi prodotti di scarto, *i.e.* le ceneri. Esse sono materiali eterogenei, e possono essere gestiti funzionalmente prestando attenzione alla dipendenza delle proprietà dal taglio granulometrico. Partendo dall'assunto che la materia non si crea né si distrugge, le ceneri sono "trattabili" o "trasformabili" in altri sistemi, d'impiego in molteplici ambiti applicativi. Il costo (economico o ambientale, nel caso di trattamenti termici) di ciò, costituisce il termine con cui le diverse soluzioni che si vanno proponendo e sviluppando devono confrontarsi. Ad oggi, il recupero di metalli puri e la destinazione della frazione di *ceneri pesanti* superiore a c.a. 1-2 mm per costruzioni/building-materials, tracciano i percorsi più consolidati. Più complessa ed in divenire, invece, la gestione di *ceneri pesanti fini* o di *ceneri leggere*. La complessa speciazione elementare rende queste tipologie di materiali più impegnative, ai fini dell'individuazione di adeguati approcci. Gli studi in corso offrono differenti soluzioni, ancora in fase di sviluppo in termini ottimizzazione delle "performances" e minimizzazione d'impatto. Sotto tale luce, avrà un ruolo importante l'efficacia nel promuovere attività di ricerca coniugate a trasferimento tecnologico, per rendere sinergici innovazione, da un lato, ed implementazione tecnologica di scala, dall'altro.

Finanziamenti: Questa ricerca è stata finanziata da TRM-IREN.

Conflitto di interesse: Gli autori non dichiarano alcun conflitto di interesse.

Bibliografia

- Bayuseno P., Schmahl W.W., 2010. Understanding the chemical and mineralogical properties of the inorganic portion of MSWI bottom ash. *Waste Management*, Vol. 30, 1509-1520.
- Caviglia C., Confalonieri G., Corazzari I., Destefanis E., Mandrone G., Pastero L., Boero R., Pavese A., 2019. Effects of particle size on properties and thermal inertization of bottom ashes (MSW of Turin's incinerator), *Waste Management*, vol. 84, 340-354.
- Alam, Q., Florea, M. V. A., Schollbach, K., & Brouwers, H. J. H., 2017. A two-stage treatment for Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) bottom ash to remove agglomerated fine particles and leachable contaminants. *Waste Management*, 67, 181-192.
- Destefanis, E., Caviglia, C. Bernasconi, D. Bicchi, E. Boero, R. Bonadiman, C. Confalonieri, G. Corazzari, I. Mandrone, G. Pastero, L. Pavese, A. Turci, F. Wehrung, Q., 2020. Valorization of MSWI Bottom Ash as a Function of Particle Size Distribution, Using Steam Washing. *Sustainability* vol. 12, (22), 9461
- Inyang M. I., Gao B., Yao Y., Xue Y., Zimmerman A., Mosa A., Pullammanappallil P., Ok Y.S. & Cao X., 2016. A review of biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 46, (4), 406-433
- Lam, C.H.K., Ip, A.W.M., Barford, J.P., McKay, G., 2010. Use of Incineration MSW Ash: A Review. *Sustainability* 2010, (2), 1943-1968.
- Liu, J., Hu, L., Tang, L., & Ren, J., 2021. Utilisation of municipal solid waste incinerator (MSWI) fly ash with metakaolin for preparation of alkali-activated cementitious material. *Journal of Hazardous Materials*, 402, 123451.
- Park, Y. J., e Heo, J., 2002. Vitrification of fly ash from municipal solid waste incinerator. *Journal of Hazardous Materials*, 91(1-3), 83-93.
- Guo, X. L., Shi, H. S., e Huang, J. B., 2017. Effects of Cement Additives on Alinite Cement-Based Materials from Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) Fly Ash. In *Key Engineering Materials*, Vol. 727, pp. 1046-1053, Trans Tech Publications Ltd.
- Deng, Y., Gong, B., Chao, Y., Dong, T., Yang, W., Hong, M., ...e Chen, Z. G., 2018. Sustainable utilization of municipal solid waste incineration fly ash for ceramic bricks with eco-friendly biosafety. *Materials Today Sustainability*, 1, 32-38.
- Tang, J., Petranikova, M., Ekberg, C., e Steenari, B. M., 2017. Mixer-settler system for the recovery of copper and zinc from MSWI fly ash leachates: An evaluation of a hydrometallurgical process. *Journal of Cleaner Production*, 148, 595-605.
- AA. VV., 2020. Rapporto Rifiuti Urbani. ISPRA, Rapporti 331/2020 pp. 608

Citazioni web

Regione Piemonte, <http://www.regione.piemonte.it/pinforma/images/DOCUMENTI/Dati-produzione-rifiuti.pdf>
(accesso in data 23/04/2021)

Iren, <https://trm.to.it> (accesso in data 23/04/2021)



Alessandro Pavese è professore ordinario di Mineralogia. Si occupa di temi inerenti alla termodinamica di minerali, sia in ambito naturale sia applicativo. In relazione a quest'ultimo, ha affrontato temi inerenti a materiali da costruzione, ceramici, trattamento di ceneri e cattura di CO₂. Ha rivestito varie cariche istituzionali e funzioni sociali, in enti nazionali e sovranazionali.



Enrico Destefanis è tecnico della ricerca presso i laboratori del Dipartimento di Scienze della Terra. Si occupa di tematiche inerenti della caratterizzazione chimico fisica delle matrici ambientali con attenzione ai meccanismi di scambio tra solido-liquido. Le applicazioni sono volte allo studio degli ambienti naturali e degli effetti derivanti dagli impatti antropici. In questo contesto si inseriscono le tematiche della gestione dei rifiuti e dei trattamenti che rientrano nel ciclo di un'economia circolare.

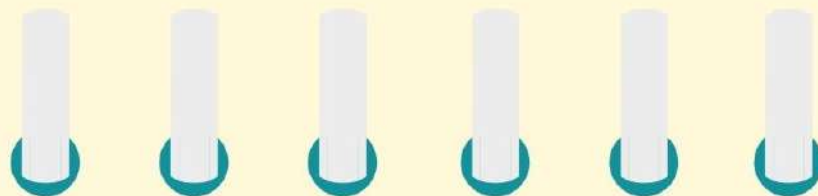


Caterina Caviglia è collaboratrice e assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Scienze della Terra. Si è occupata di tematiche riguardanti idrogeologia e dissesto, e attualmente si occupa di caratterizzazione e trattamento di ceneri da inceneritore municipale.



GEAM

ASSOCIAZIONE GEORISORSE E AMBIENTE



con la collaborazione di



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

WORKSHOP

MATERIE PRIME E MATERIE PRIME CRITICHE - POLITICHE, STRATEGIE E PROGETTI EUROPEE

Sala Riunioni del DIATI Politecnico di Torino

16 settembre 2021

Il workshop sarà organizzato da GEAM in modalità mista con i contributi di EIT RawMaterials, Gioda Consulting e dell'ing. Dino (Dipartimento di Scienze della terra, Università di Torino) e rappresenterà un momento di aggiornamento e confronto sulle politiche europee relative alle materie prime e materie prime critiche e sulle possibilità di accesso a fondi comunitari per progetti di ricerca ed innovazione nel settore estrattivo.

Crediti formativi richiesti per ingegneri e geologi

LA SOSTENIBILITA' A SCALA DISTRETTUALE IN EUROPA

Federico Dell'Anna

Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio, Politecnico di Torino

Abstract: Dal 2007, in Europa si è sviluppato un quadro legislativo che si concentra sul potenziale del settore delle costruzioni per ridurre gli impatti umani sull'ambiente. Per il 2050, sono stati fissati importanti obiettivi che mirano a ridurre le emissioni di gas serra sul clima dell'80-95% rispetto al livello del 1990. La letteratura ha riconosciuto le città come forze trainanti per promuovere l'efficienza energetica e la sostenibilità in generale. Il salto di scala dall'edificio al livello del quartiere e della città consente di ottenere prestazioni migliori migliorando il risparmio energetico e le emissioni di gas serra e innescando un'economia che potrebbe ridurre il costo unitario dell'investimento. Lavorare sul quartiere permette di proporre soluzioni integrate che coinvolgono diversi settori urbani. In effetti, i distretti sono abbastanza compatti e abbastanza grandi da avere un impatto sulla città e sulla società e concentrare risorse e infrastrutture per migliorare l'efficienza. L'articolo fornisce una visione generale di casi studio realizzati in Europa di distretti sostenibili con l'obiettivo di individuare i principali settori in cui intervenire per raggiungere il target *zero-energy* su larga scala. Nel dettaglio, l'attenzione si è concentrata sui casi studio europei e italiani promossi nell'ambito dei numerosi programmi promossi dalla Commissione Europea.

Parole chiave: sostenibilità, distretti sostenibili, efficienza energetica, trasporti, ICT.

1. Il quadro legislativo europeo

La Commissione Europea (2011) ha pubblicato una *roadmap* per passare a un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050", in cui viene descritto il modo per raggiungere un futuro a basse emissioni di carbonio. Le sfide maggiori saranno la ristrutturazione degli edifici esistenti poiché in Europa i nuovi edifici coprono solo l'1% del totale del patrimonio edilizio e l'espansione di nuove misure e interventi a livello distrettuale e comunale. Inoltre, dal momento che la percentuale della popolazione mondiale che vive nelle aree urbane aumenterà, raggiungendo la percentuale del 70% entro il 2050, il contesto urbano diverrà fondamentale per sviluppare nuovi modelli sostenibili (Becchio et al., 2016).

Nel 2015, più di 150 leader internazionali si sono incontrati alle Nazioni Unite per identificare obiettivi innegabili per promuovere il benessere umano e proteggere l'ambiente. La comunità ha approvato 17 obiettivi di sviluppo sostenibile, che mirano a porre fine alla povertà, combattere la disuguaglianza sociale e promuovere lo sviluppo economico entro il 2030 in un'ottica sostenibile. In particolare, l'SDG11 mira a uno sviluppo sostenibile al fine di affrontare i cambiamenti climatici. L'obiettivo è rendere le città inclusive, sicure e durevoli da una prospettiva sostenibile. La sfida principale è mantenere i centri urbani come luoghi di lavoro capaci di produrre reddito senza danneggiare l'ambiente e il territorio, e preservare le risorse naturali. In questa prospettiva, progettare e comprendere la città è fondamentale per promuovere un contesto urbano sostenibile e resiliente.

In questa prospettiva, tutti i settori possono contribuire alla riduzione delle emissioni e ogni possibile azione deve essere compiuta da ogni parte. Il settore energetico ha il ruolo più influente nel raggiungimento di questo obiettivo. In effetti, la sostituzione dell'uso di combustibili fossili con energie rinnovabili, in aggiunta agli investimenti in *smart grids*, darà una nuova prospettiva nella produzione di energia. Le emissioni provenienti da edifici potrebbero essere ridotti del 90% nel 2050, grazie alla riqualificazione energetica degli edifici e la costruzione di nuove case efficienti. Inoltre, la sostituzione di energia elettrica e rinnovabile per i combustibili fossili farà la differenza. Nel settore industriale le tecnologie utilizzate diventeranno più pulite ed efficienti, mentre in quello dei trasporti le auto ibride ed elettriche rappresenteranno la nuova era dell'*automotive*.

Un altro punto certo è che il passaggio a una società sostenibile non dovrebbe essere considerato dai cittadini come un gran numero di nuove regole da seguire. Il comportamento dell'essere umano deve cambiare grazie alla consapevolezza e alla volontà di raggiungere una migliore qualità della vita, cercando innanzitutto di ridurre i disagi legati all'inquinamento atmosferico. Inoltre, vivere in una società sostenibile avrà un impatto positivo sui costi dell'assistenza sanitaria, ridurrà la congestione del traffico e fornirà tanti vantaggi. Al di là dei significativi co-benefici legati all'inquinamento atmosferico, all'ambiente e alla salute, nuovi scenari di decarbonizzazione avranno positivi effetti a scala europea, portando nuovi investimenti e riducendo la dipendenza dalla fornitura di combusti-

bili fossili da altre aree del mondo (Dell'Anna, 2021). L'Unione Europea e i Paesi membri dovrebbero iniziare a considerare fondamentali queste sfide per ragioni climatiche, economiche e di sicurezza, tenendo conto che ogni azione di oggi plasmerà l'ambiente nel futuro.

2. La sostenibilità a livello di quartiere

Considerando gli obiettivi imposti dai diversi accordi internazionali e dall'Unione Europea, a causa della situazione critica che l'intero pianeta sta affrontando dal punto di vista ambientale, è necessario sviluppare politiche e piani per garantire un mondo migliore alle generazioni future. Operare a scala distrettuale è una comoda unità di scala per valutare e integrare la sostenibilità nei diversi settori urbani. In effetti, i distretti sono abbastanza compatti e, allo stesso tempo complessi, per avere impatti sia sulle risorse che sulle infrastrutture della città. Inoltre, i distretti sono piccole parti di aree urbane, che hanno tutte le caratteristiche intrinseche di tutto il sistema urbano con un'alta densità di popolazione e di tipi rappresentativi di edifici e infrastrutture.

Con l'aggiunta di nuove tecnologie sarà possibile avere edifici più efficienti, migliorare la gestione dell'acqua e dei rifiuti, e favorire l'accessibilità. Il passo cruciale sarà quello di migliorare l'efficienza energetica del quartiere partendo dagli edifici, che dovrebbero diventare edifici a energia zero e dovrebbero produrre più energia di quanta ne consumano. Un altro passo essenziale sarà l'inclusione di nuove tecnologie in distretti intelligenti e sostenibili al fine di sviluppare nuovi modi per generare e utilizzare l'energia e per controllare e monitorare i cambiamenti e i miglioramenti nel corso degli anni. L'uso delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) fornirà l'uso di nuove tecnologie e mezzi di comunicazione per controllare, archiviare, manipolare e trasmettere le informazioni.

3. La strada europea verso il distretto urbano sostenibile a zero emissioni

Per ottenere uno sviluppo sostenibile, dobbiamo migliorare la situazione attuale nel sistema urbano. La Commissione Europea (CE) ha promosso lo sviluppo di diversi programmi di ricerca e sviluppo tecnologico in quest'ottica. Dal 2002 al 2013, l'attenzione si è concentrata sulla ricerca tecnologica (rispettivamente nel 6PQ e nel 7PQ). Dal 2014 al 2020 con il programma FP8 (noto anche come *Horizon 2020*), l'attenzione è rivolta all'innovazione, alla crescita economica più rapida e alla fornitura di soluzioni agli utenti finali. Partendo da progetti che fanno parte del *Smart Cities Information System* (SCIS, 2018), è stata effettuata la raccolta di casi reali in Europa su cui sono state applicate misure per migliorarne la sostenibilità. Questi studi di casi finanziati dalla CE sono stati selezionati e analizzati, estrapolando le varie misure di sostenibilità ad essi applicate.

Sono stati selezionati 16 progetti europei che coinvolgono 47 città in tutta Europa per identificare i settori e le misure di sostenibilità più spesso applicati alla scala distrettuale (Figura 1). I paesi con più città coinvolte nei diversi progetti sono Spagna (6 casi pilota), Italia e Svezia (5 città ciascuno) e Austria (4 città).

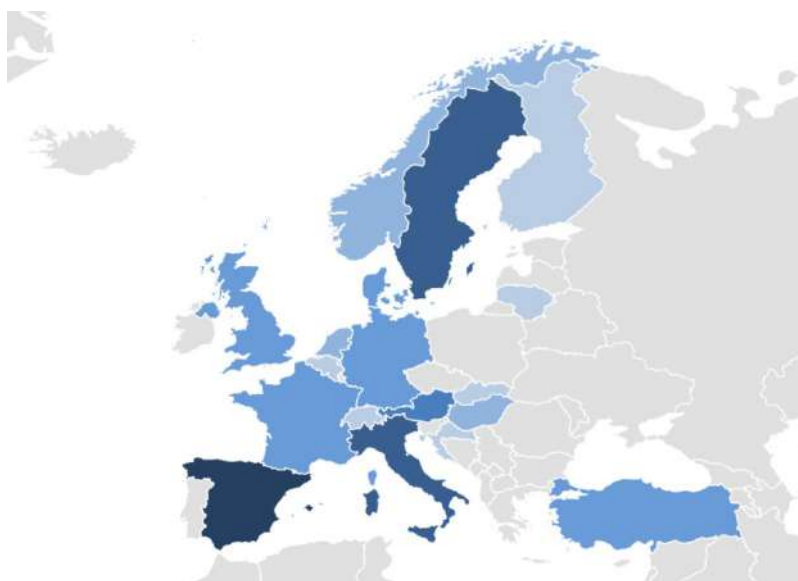


Fig. 1. Casi di studio esaminati.

In linea con BPIE (2015), i progetti si sono concentrati sullo studio della capacità del parco immobiliare di raggiungere gli obiettivi fissati dall'UE per la riduzione del consumo energetico, la riduzione delle emissioni e la crescita della quota di fonti di energia rinnovabile (FER). Infatti, su 47 progetti, 45 hanno previsto la riqualificazione del parco edilizio.

C'è una distribuzione omogenea per quanto riguarda il settore di intervento. Tutti i 47 progetti prevedono di intervenire nel settore residenziale. 40 progetti, invece, hanno programmato di intervenire anche nell'edilizia non residenziale, come le scuole, il settore dei trasporti, l'illuminazione stradale.

Le misure di sostenibilità dei progetti sviluppati nell'ambito del programma quadro finanziato dall'UE possono essere classificate in 4 azioni principali. La prima azione riguarda l'efficienza energetica degli edifici. Tali azioni riguardano il potenziamento delle qualità termoigrometriche dell'involucro degli edifici con l'obiettivo di ridurre il fabbisogno energetico. L'azione "Integrazione dei sistemi energetici" include tutte le misure relative ai sistemi energetici, generazione di energia, FER e accumulo di energia. I sistemi ICT costituiscono la terza azione. Mentre il settore dei trasporti e della mobilità costituisce il quarto gruppo di azioni. La maggior parte delle azioni rientra in "Integrazione del sistema energetico" (34%) ed "Efficienza energetica negli edifici" (31%). Segue l'ICT con (22%) e il settore dei trasporti (13%).

Come previsto, la misura più comunemente nel settore dell'efficienza degli edifici è il miglioramento delle prestazioni dell'involucro (50,72%). Le soluzioni previste più frequentemente sono l'isolamento esterno delle pareti e la sostituzione dei serramenti. A seguire l'implementazione delle FER integrate nell'edificio (20,28%) e l'installazione di sistemi HVAC e un'illuminazione efficiente (21,73%).

Il teleriscaldamento e teleraffrescamento rappresentano le soluzioni più utilizzate per la fornitura di energia termica. È la soluzione più utilizzata per la fornitura di energia termica. L'uso intensivo del fotovoltaico è stato utilizzato in progetti per la generazione di elettricità. Il dato non sorprende poiché è la tecnologia più diffusa nel mercato delle FER. Interessante la presenza di numerosi progetti che recuperano calore dalla combustione dei rifiuti solidi urbani. Sistemi di cogenerazione di diversa potenza e alimentati da diversi combustibili sono stati presi in considerazione in diversi progetti. L'utilizzo della biomassa per la generazione di energia termica è stato considerato principalmente da piccole comunità situate in contesti in cui queste fonti sono abbondantemente disponibili (come Montieri in Italia, Cernier in Svizzera).

Un sistema energetico basato sulla *Smart Grid* è l'infrastruttura più spesso implementata nei progetti. La *Smart Grid*, grazie al reciproco scambio di informazioni, consente di gestire e monitorare la distribuzione di energia elettrica da tutte le fonti di produzione e soddisfare le diverse esigenze elettriche di utenti, produttori e consumatori collegati, in modo più efficiente, razionale e sicuro. Segue il *Building Energy Management System* (BEMS) che permette di gestire un edificio in tempo reale monitorando la qualità dei servizi forniti dagli impianti (condizionamento, ventilazione, acqua, illuminazione, antincendio, telecomunicazioni, ecc.). La piattaforma dati a scala urbana rappresenta un'infrastruttura fondamentale per la condivisione delle informazioni e la gestione dei sistemi complessi.

Per quanto riguarda il settore della mobilità, maggiore attenzione è stata data alle misure che prevedono mezzi di trasporto innovativi e sostenibili per il *car sharing*. Diversamente, poca è data alla mobilità dolce.

4. Quartiere Arquata – Torino

All'interno del programma di ricerca SCIS è stato sviluppato il progetto di riqualificazione del distretto Arquata localizzato nel centro della città di Torino. Il quartiere, costruito all'inizio del 20° secolo, ha rappresentato uno dei migliori esempi dell'architettura liberty in città, ma tra il 1960 e il 1995 ha subito una graduale situazione di degrado (Bellosio et al., 2011).

Il progetto che ha coinvolto il quartiere ha il nome di POLYCITY. Il progetto è iniziato nel 2005 e ha coinvolto diversi distretti in Europa, compreso il distretto Arquata. In particolare, il caso torinese ha visto la collaborazione con gli enti locali e regionali, le società di approvvigionamento energetico e istituti di ricerca che ha reso possibile il raggiungimento dell'efficienza energetica dal lato degli edifici, integrando le fonti energetiche rinnovabili e gestendo domanda e offerta. Il progetto prende in considerazione diversi aspetti legati al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici, alla realizzazione e riabilitazione del teleriscaldamento esistente e all'installazione di un impianto fotovoltaico.

La riqualificazione del patrimonio edilizio del quartiere Arquata è stata fortemente influenzata dal suo valore storico e architettonico che non ha consentito di agire sugli edifici in modo del tutto efficiente. Le principali ristrutturazioni riguardano la sostituzione degli infissi e la coibentazione dei tetti. A livello distrettuale, un teleriscaldamento locale a gas naturale è stato installato dal 2005. La rete è stata progettata per fornire calore e acqua calda alle abitazioni e per migliorare la qualità della vita sostituendo piccole caldaie elettriche inefficienti e il consumo di combustibili fossili. La domanda di raffrescamento è stata garantita dall'installazione di un refrigeratore di quartiere alimentato dal sistema di trigenerazione (lo stesso che fornisce calore ed elettricità). Il progetto ha coinvolto anche l'installazione di impianti fotovoltaici su facciate e tetto di alcuni edifici, a seconda della tipologia. Infine, al fine di trovare il modo più efficiente per fornire energia elettrica e riscaldamento utilizzando le diverse fonti energetiche disponibili in loco, è stato predisposto un sistema di gestione energetica comune, denominato I-

CEMS (Sistema Comunale di Gestione dell'Energia del sito italiano). Il sistema permette di monitorare i flussi energetici e lo stato degli impianti, programmare la produzione a lungo termine, mettere a punto la produzione in tempo.

Grazie alla riabilitazione distrettuale, le emissioni di GHG sono diminuite a 24,6 kg/ m²anno. Pertanto, in futuro, sarà più utile prestare maggiore attenzione al *retrofitting* degli edifici esistenti piuttosto e investire in tecnologie innovative, al fine di ridurre la domanda di energia e garantire una buona gestione dell'energia e delle risorse in generale.

5. Conclusioni

Lo scopo di questo articolo è indagare una panoramica generale delle politiche energetiche e ambientali stabilite a livello europeo. Per raggiungere questi obiettivi, l'attenzione dei ricercatori si è spostata sempre più dal singolo edificio al quartiere e alla città.

L'analisi dello stato dell'arte analizza 47 progetti localizzati in Europa finanziati dai programmi UE inclusi nella piattaforma *Smart Cities Information System*.

Nel dettaglio, sono state individuate quattro aree di applicazione che riguardano il miglioramento delle prestazioni degli edifici, l'integrazione di sistemi energetici efficienti, l'implementazione di ICT per la realizzazione di un sistema urbano intelligente e il miglioramento del settore dei trasporti. I risultati concludono che l'intervento sull'involucro edilizio degli edifici esistenti è la misura più frequentemente applicata. Migliorare le prestazioni degli edifici implica inevitabilmente il miglioramento del sistema di produzione di energia. L'attuazione dei sistemi energetici al livello urbano, come il riscaldamento distretto e raffreddamento combinati con FER sono una logica soluzione per la decarbonizzazione del sistema distrettuale e urbano. Sistemi integrati ICT sia alla scala dell'edificio (BEMS) che alla scala urbana (*Smart grid, Urban Platform*) costituiscono tecnologie all'avanguardia che permettono di ottimizzare il sistema energetico al livello urbano, la produzione di energia, e il controllo di anomalie nel sistema.

Queste soluzioni, ampiamente applicate in tutta Europa, sembrano essere funzionali e replicabili in altri contesti urbani per minimizzare i consumi, migliorare l'efficienza del sistema energetico, e ridurre le emissioni.

Bibliografia

- Becchio, C., Corgnati, S.P., Delmastro, C., Fabi, V., Lombardi, P., 2016. The role of nearly-zero energy buildings in the transition towards Post-Carbon Cities, *Sustainable Cities and Society*. 27 (2016) 324–337.
- Bellosio, B., Giaccone, L., Guerrisi, A., Tartaglia, M., 2011. Energy Networks in Sustainable Cities: Polycity Project and the Case Study of Turin-Arquata, in: *European Conference on Polygeneration*.
- Building Performance Institute Europe (BPIE), 2015. *Nearly Zero Energy Buildings definitions across europe*, Energy.
- Commissione Europea, 2011. *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, Change.
- Dell'Anna, F., 2021. Green premium in buildings: evidence from the real estate market of Singapore. *Energy Policy*, 286, 125327.
- Smartcities Information System, 2018. *EC-funded projects tracked by the Smart Cities Information System*.



Federico Dell'Anna è assegnista di ricerca presso il Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio (DIST) del Politecnico di Torino. Si interessa alla valutazione integrata degli interventi di riqualificazione urbana e territoriale, con specifico riferimento alla stima dei co-benefici conseguiti dal miglioramento energetico secondo gli obiettivi Net Zero Energy District.

RECUPERO DI SOSTANZA ORGANICA DAI RIFIUTI PER LA PRODUZIONE DI MATERIALE AMMENDANTE E CONSIGLI SUL COMPOSTAGGIO DOMESTICO

Eugenio Grande¹, Claudia Leso^{2*}

¹ e.grande@cidiu.it

² c.leso@cidiu.it

* Corresponding author

Abstract: L'articolo vuole fornire una spiegazione degli aspetti più significativi del processo di compostaggio su scala industriale, prendendo come esempio l'impianto di CIDIU Servizi S.p.A., situato presso il comune di Druento (To). Il compostaggio può essere praticato non solo su scala industriale, ma anche domestica con notevoli benefici. Al fine di promuoverlo, il Gruppo Cidiu mette a disposizione dei cittadini, attraverso il progetto "Chi composta un rifiuto trova un tesoro", consigli e strategie per realizzarlo direttamente a casa.

Parole chiave: compostaggio; fanghi da depurazione; rifiuti lignocellulosici.

1. Introduzione

Il compostaggio è un processo biologico nel corso del quale le sostanze organiche presenti nei rifiuti vengono degradate dai microrganismi presenti, che operano in presenza di ossigeno, producendo, alla fine del processo, una sostanza organica stabilizzata: il compost.

Il compost è un ammendante organico, utile per migliorare le caratteristiche fisiche e chimiche del suolo e per aumentarne la sostanza organica, adatto ai più svariati impieghi agronomici, dal florovivaismo fino alle colture praticate in pieno campo.

Il processo di compostaggio è un esempio di attuazione di economia circolare, poiché partendo da materiali di scarto, utilizzati come materia prima, si arriva ad un prodotto, il compost, riutilizzabile in agricoltura.

La produzione e la commercializzazione del compost è regolata dal Decreto Legislativo n. 75/2010 e s.m.i., che definisce tre categorie di ammendante compostato in base alle matrici di partenza utilizzate per produrlo:

- l'Ammendante Compostato Verde (ACV), prodotto a partire da rifiuti organici costituiti da scarti di manutenzione del verde ornamentale, altri materiali vegetali come sanse vergini od esauste, residui di colture e altri rifiuti di origine vegetale;
- l'Ammendante Compostato Misto (ACM), prodotto a partire da rifiuti organici costituiti, oltre alle matrici previste per l'ACV, dalla frazione organica dei rifiuti urbani, da rifiuti di origine animale compresi i liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile non trattati;
- l'Ammendante Compostato con Fanghi (ACF), prodotto a partire da rifiuti organici costituiti, oltre alle matrici previste per l'ACM, da reflui e fanghi da depurazione.

2. Impianto di compostaggio del Gruppo Cidiu a Druento

Cidiu Servizi S.p.A., società facente parte del Gruppo Cidiu, produce, presso il proprio impianto di Druento (TO), Ammendante Compostato da Fanghi, ottenuto da fanghi da depurazione delle acque reflue (codice EER 190805) e rifiuti lignocellulosici (sfalci e potature derivanti dalla manutenzione del verde pubblico e privato) identificati dal codice EER 200201 (Figura 1).

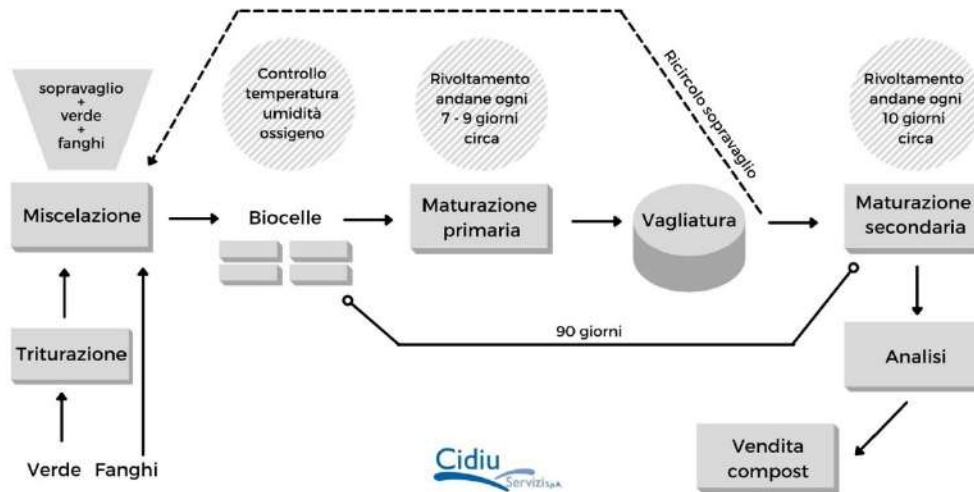


Fig. 1. Diagramma processo di compostaggio

I rifiuti lignocellulosici, una volta arrivati in impianto (Figura 2), vengono temporaneamente stoccati in un’apposita area, che è destinata anche alla loro triturazione (Figura 3). Il materiale lignocellulosico triturato viene miscelato con i fanghi da depurazione e con il materiale strutturante di ricircolo, mediante un miscelatore elettrico.



Fig. 2. Impianto di Druento (TO) del Gruppo Cidiu



Fig. 3. Triturazione materiale lignocellulosico

La percentuale di fanghi nella miscela è sempre inferiore al 35% in peso, come prescritto dal D.lgs. 75/2010 e s.m.i. per la produzione di ACF (Ammendante Compostato da Fanghi) e gli stessi vengono sottoposti ad analisi chimiche trimestrali per accertarne l’ammissibilità.

La miscela avviata a compostaggio deve essere accuratamente costituita in modo tale da favorire l’instaurarsi dei fenomeni fermentativi alla base del processo. A tal fine viene verificata con cadenza mensile l’umidità della miscela prevedendo, se necessario, una fase di bagnatura per il ripristino delle condizioni ottimali di esercizio. La miscela così formata viene trasferita al locale delle biocelle tramite un nastro trasportatore; le biocelle (Figura 4) vengono caricate tramite pala gommata e il materiale permane all’interno per un periodo minimo di 9 giorni solari, durante i quali si esaurisce la fase attiva e si attua l’igienizzazione del materiale posto in fermentazione: a tal fine deve essere assicurato il mantenimento della temperatura della miscela ad almeno 55°C per tre giorni consecutivi. Durante il periodo di permanenza in biocella vengono monitorati in continuo alcuni parametri: concentrazione di ossigeno nell’aria, temperatura del materiale (tramite 4 sonde ad infissione), pressione nella biocella e nelle condotte dell’aria. L’igienizzazione si considera attuata quando si giunge ad un andamento discendente o costante della temperatura, in funzione dei giorni trascorsi in biocella, dopodiché il materiale può essere trasferito nel locale di maturazione primaria. In questo locale il materiale viene disposto in andane e sottoposto a rivoltamenti periodici, oltre al controllo settimanale delle temperature, mediante misurazione con apposita sonda.



Fig. 4. Biocelle



Fig. 5. Maturazione

Terminata la maturazione primaria del materiale, trascorsi almeno 60 giorni dall’inizio del processo, si procede alla vagliatura, mediante un vaglio a tamburo rotante. Con questa operazione si ottengono due prodotti in uscita: il sopravaglio, materiale di pezzatura grossolana da riutilizzare nella miscela iniziale, ed il sottovaglio, che verrà avviato alla fase di maturazione secondaria, nel capannone adiacente (Figura 5). Il materiale permane in quest’area per un periodo di circa 30 giorni, completando il processo di compostaggio per una durata complessiva di 90 giorni. Terminata la maturazione di tutto il materiale che costituisce un unico lotto mensile, lo stesso viene sottoposto a campionamento ed analisi da parte di un laboratorio esterno, individuato nell’Elenco dei laboratori competenti a prestare i servizi necessari per verificare la conformità dei prodotti. Solo a seguito della conclusione delle analisi che accertino il rispetto dei limiti previsti per l’Ammendante Compostato da Fanghi, il compost cesserà la qualifica di rifiuto e potrà essere immesso sul mercato. Ciascun lotto omogeneo di compost viene identificato con un apposito cartello in cui sono riportati il tipo di materiale (nel nostro caso ACF), la data di analisi o di campionamento ed il lotto.

Tab. 1. Caratteristiche qualitative del compost (ACF) prodotto nell'anno 2020 - valori medi

Parametro	U.M.	Limite di legge	Valori medi
pH	-	6-8,8	8,3
Umidità a 105°C	%	50	40,2
Azoto totale (come N)	% s/s	-	3,4
Carbonio organico totale	% s/s	min 20	29,2
Azoto organico	% s/s	-	3,1
Rapporto C/N	-	25	8,9
Rapporto N organico/N totale	% N tot	min 80	91,6
C umico e fulvico	% s/s	min 7	10,2
Salinità	dS/m	-	1,8
Cromo esavalente	mg/kg s/s	0,5	<0,1
Cadmio	mg/kg s/s	1,5	0,8
Mercurio	mg/kg s/s	1,5	0,2
Nichel	mg/kg s/s	100	54,0
Piombo	mg/kg s/s	140	37,9
Rame	mg/kg s/s	230	150,3
Zinco	mg/kg s/s	500	346,1
Materiali plastici vetro e metalli (frazione di diametro > o = 2mm)	% s/s	0,5	<0,1
Inerti litoidi (frazione di diametro > o = 5mm)	% s/s	5	0,15
Fosforo come P2O5	% P2O5	-	4,1
Potassio come K2O	% K2O	-	0,8
Sodio	mg/kg s/s	-	723,8
Indice di germinazione	Ig %	>=60%	88,2
Salmonella (5 aliquote)	P/A	Assente/25g	Assente/25g
Escherichia coli (5 aliquote)	UFC/g	1000	<1,0*10^2

[¹] vd. all'art. 1 del decreto legislativo 29 aprile 2010, n. 75 «Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, a norma dell'art. 13 della legge 7 luglio 2009, n. 88» pubblicato dal Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali



Fig. 6. Ammendante compostato ZollAmica Cidiu



Fig. 7. Logo ZollAmica Cidiu

Cidiu Servizi S.p.A. è iscritta al Registro dei Fabbricanti di Fertilizzanti e ha identificato il proprio compost con il nome commerciale ZollAmica (Figura 6 e 7).

Tutto il compost prodotto viene commercializzato e venduto. Impiegato principalmente su terreni siti nei Comuni limitrofi all’impianto, il compost viene utilizzato soprattutto in pieno campo.

Il processo di lavorazione avviene prevalentemente a "km0": la maggior parte del compost viene utilizzato nelle stesse aree o in aree vicine ai luoghi di produzione dei rifiuti originari, permettendo ai cittadini del territorio di accrescere la fiducia nell’azienda (Figura 8 e 9).

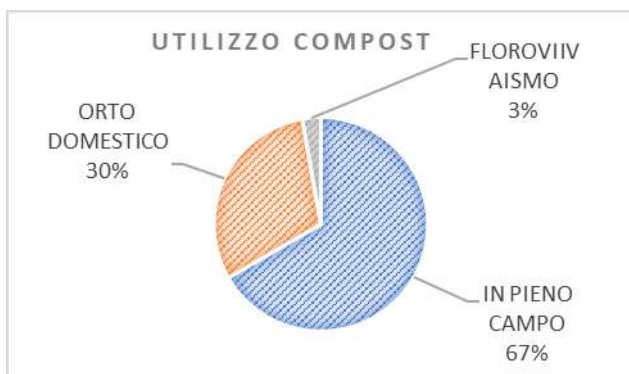


Fig. 8. Dati dalle vendite avvenute nel 2020



Fig. 9. Dati dalle vendite avvenute nel 2020

Cidiu Servizi S.p.A. è inoltre socio del CIC, il Consorzio Italiano Compostatori, un’organizzazione senza fini di lucro che si occupa di promuovere e valorizzare le attività di riciclo della frazione organica dei rifiuti dei sottoprodotti e ha come finalità la produzione di compost e biometano. Il consorzio riunisce e rappresenta soggetti pubblici e privati produttori o gestori di impianti di compostaggio e di digestione anaerobica, associazioni di categoria, studi tecnici, laboratori, enti di ricerca e tutte le realtà interessate alle attività di produzione di compost. Il CIC è impegnato in numerose iniziative volte a prevenire la produzione di rifiuti organici ed a diffondere una raccolta differenziata di qualità che permetta l’effettivo recupero degli scarti organici negli impianti di trattamento biologico.

3. Compostaggio domestico

La tecnica del compostaggio si può realizzare su scala sia industriale sia domestica (Figura 8). Il Gruppo Cidiu, oltre ad occuparsi di impianti con la Cidiu Servizi S.p.A., gestisce l’attività di raccolta rifiuti urbani e nettezza urbana a nord-ovest di Torino attraverso la sua capogruppo Cidiu S.p.A. e si impegna a promuovere il compostaggio domestico. La scelta di produrre compost nel proprio giardino di casa a partire dai rifiuti organici prodotti (che costituiscono più del 40% dei rifiuti domestici complessivi) è in assoluto la soluzione più ecologica e meno costosa per riciclare la frazione biodegradabile. Ecco perché Gruppo Cidiu. promuove questa pratica attraverso il progetto “Chi composta un rifiuto, trova un tesoro” (Figura 11), il programma per regolare ed incrementare l’autocompostaggio attraverso attività di formazione, informazione e controllo, nonché attraverso la recente creazione di un apposito Albo Compostatori (progetto realizzato in collaborazione con il Consorzio Cados e Aysel Spa). Gli obiettivi per cia-

scuna comunità coinvolta sono di aumentare la percentuale di raccolta differenziata e di ottenere risparmi sui passaggi di raccolta e sui costi di trattamento di tale frazione di rifiuto.



Fig. 10. Compostaggio domestico



Fig. 11. Progetto "Chi composta un rifiuto trova un tesoro"

3.1 Cos'è il Compostaggio domestico

Il compostaggio domestico è prezioso al tempo stesso per chi lo realizza e per l'ambiente: rende naturalmente fertile il terreno, riduce i rifiuti e i relativi costi di smaltimento. Per trasformare gli scarti organici di cucina e del giardino in terriccio, bisogna ottimizzare il processo del tutto naturale del compostaggio favorendo lo sviluppo dei microrganismi decompositori del compost: è indispensabile alternare i materiali umidi e quelli asciutti, ridurli in pezzettini più piccoli possibili e rivoltarli frequentemente (Figura 12).

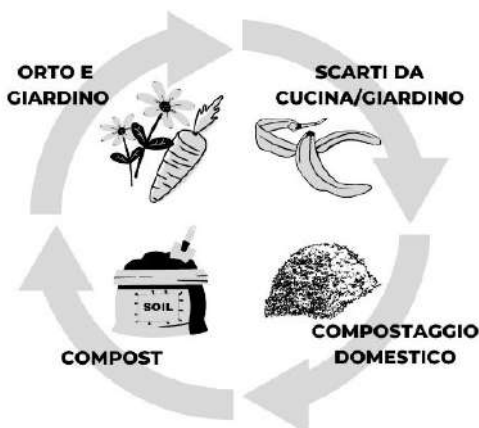


Fig. 12. Ciclo compostaggio domestico

I materiali organici biodegradabili si suddividono in:

- umidi (scarti di frutta e verdura, fondi di caffè e filtri di tè, cibo avanzato e/o scaduto, gusci d'uova e ossa, sfalci d'erba)
- secchi (foglie secche, segatura, paglia, rametti, trucioli e cortecce, carta da cucina). Tutto questo rappresenta il cibo di insetti, muffe, lombrichi, funghi e batteri che hanno il compito di decomporre i resti animali e vegetali e generare questo "concime" naturale di eccellente qualità e senza cattivi odori, che si presenta come un terriccio soffice e bruno da utilizzare per la fertilizzazione del terreno dei giardini, degli orti e delle piante da vaso, preferibilmente mescolato con la terra.

3.2 Tecniche di Compostaggio

Il compostaggio domestico può essere effettuato con tecniche diverse ma di uguale efficacia. Ognuna ha le sue peculiarità e la scelta del metodo da usare dipende da alcuni fattori, quale la grandezza del giardino e la distanza dalle abitazioni del luogo in cui si pratica.

La compostiera: è un contenitore di forma generalmente cilindrica, in materiale plastico ben resistente. È dotata di una apertura superiore, attraverso la quale si inseriscono i materiali da compostare e di uno sportello alla base, da dove si estrae il compost maturo. È molto importante che questo contenitore sia dotato di fessure per consentire un'adeguata areazione interna. Le fessure presenti sul coperchio servono anche alla regolazione della temperatura: andranno chiuse in inverno, per evitare una eccessiva perdita di calore e aperte nelle altre stagioni. È opportuno che la miscela abbia sempre una buona porosità (bisogna cioè inserire un quantitativo maggiore di materiale secco rispetto alle altre tecniche) e che sul fondo della compostiera vi siano delle fascine di legno.

Il cumulo: è un sistema semplice ed economico per realizzare il compost. È necessario uno spazio verde sufficientemente grande: la quantità di scarti deve formare un cumulo di sezione approssimativamente triangolare, con base di circa 100-150 cm e altezza di 80-100 cm. È necessaria una quantità di scarti adeguata, sviluppata in lunghezza (almeno 2 metri) dove, ad un'estremità si troverà il compost più maturo e all'altra il materiale ancora fresco e in via di decomposizione. Per iniziare a compostare, dopo aver realizzato alla base del cumulo lo strato drenante, è necessario sminuzzare gli scarti, in particolare di quelli legnosi. Questa accortezza ha il duplice scopo di accelerare la biodegradazione e di facilitare la corretta miscelazione dei materiali, favorendo le condizioni di umidità, areazione e rapporto carbonio/azoto in ogni parte del cumulo. Se la temperatura è troppo elevata, è sufficiente rivoltare e arieggiare la massa. Trascorse 2-3 settimane, inizia la fase di maturazione e si rende necessario un rimescolamento del cumulo, affinché i materiali rimasti in superficie vengano portati all'interno, dove i processi di decomposizione sono più attivi.

La fossa (tampa): è una soluzione poco ingombrante e ordinata. Il buco deve essere profondo circa 30 cm. È necessario tritare minutamente i materiali da compostare e disporli fino ad un'altezza massima di 10 cm dal fondo della buca. Quelli ricchi di carbonio (come carta e foglie secche) devono essere mescolati accuratamente con quelli ricchi di azoto (come scarti vegetali ed erba fresca tagliata), poiché non è previsto che la catasta sottoterra sia rivoltata. Se si aggiungono continuamente scarti nella fossa, è necessario coprirli con un sottile strato di terra. Infine è consigliabile apporre sulla buca una tavola per impedire a chiunque di inciampare. Quando la buca sarà quasi piena, bisogna riempirla di terra fino a livello con il terreno circostante. Bisogna tenere la fossa del compost umida perché il materiale sottoterra si decompone lentamente, dato che non ha accesso all'ossigeno come le cataste fuori terra. Se la zona è tenuta sufficientemente umida, il concime dovrebbe essere pronto in circa un anno. Un vantaggio del compostaggio in buca è che non si deve raccogliere il compost e ammendare il terreno, ma il lavoro si fa da sé, perché gli scarti decomposti opereranno nel terreno naturalmente. L'unica avvertenza è quella di non aggiungere mai prodotti di origine animale: carne, ossa, latticini e grassi che possono inacidire, presentando un rischio per la salute, ed attirare roditori e altri parassiti indesiderati nel compost.

4. Conclusioni

Il compostaggio è un processo biologico prezioso e indispensabile nell'ottica dell'economia circolare: le sostanze organiche presenti in alcune tipologie di rifiuti possono trasformarsi da scarto a risorsa, restituendo ai terreni agricoli i composti organici necessari al mantenimento della loro fertilità agronomica. Su scala industriale è fondamentale che se ne occupino aziende capaci di rispettare scrupolosamente le prescrizioni di legge, realizzando un prodotto dove gli standard qualitativi siano garantiti da processi di lavorazione ottimizzati, attenti monitoraggi e analisi periodiche. Su scala domestica è importante che ciascun cittadino sia consapevole che praticare il compostaggio domestico fa bene al tempo stesso al portafogli e all'ambiente: meno costi di smaltimento, terreno più ricco di sostanza organica.

Conflitto di interesse: Gli autori non dichiarano alcun conflitto di interesse.

Il Gruppo CIDIU - Centro Intercomunale di Igiene urbana

Il Gruppo Cidiu serve circa 260 mila abitanti e opera sul territorio di oltre 340 km² dei 17 Comuni soci nella zona nord-ovest di Torino, parte del bacino di competenza del consorzio C.A.DO.S. È costituito dalla capogruppo Cidiu S.p.A., che gestisce in particolare l'attività di raccolta rifiuti urbani e nettezza urbana nell'ambito del servizio pubblico essenziale "in house", e dalla controllata Cidiu Servizi S.p.A., la società impiantistica del gruppo.

Le aziende possiedono le certificazioni Qualità ISO9001, Lavoro e sicurezza ISO45001 e Ambiente ISO14001. www.cidiu.it



Eugenio Grande, 30 anni, Ingegnere Chimico, Tecnico di processo, Ricerca e Sviluppo presso Cidiu Spa con sede legale in Via Torino 9 a Collegno (TO) e sede impiantistica in Via Cassagna a Druento (TO). Sta svolgendo un Master del Politecnico di Torino in Gestione e Progettazione di Processi e Impianti Chimici Sostenibili.



Claudia Leso, 48 anni, Ingegnere per l'Ambiente e il Territorio (indirizzo Pianificazione e Gestione Territoriale), Responsabile del Servizio Impianti del Gruppo Cidiu con sede legale in Via Torino 9 a Collegno (TO) e sede impiantistica in Via Cassagna a Druento (TO).

Noi manager e ciò che conta davvero misurare

Sussurri in tempo di lockdown per una leadership a tutto tondo, capace di generare uno sviluppo pieno. Per non ostinarsi, come decisori pubblici e privati, a ridurre il tutto al povero livello dei dati. Che sta solo alla base della piramide della conoscenza, di cui serve soprattutto la punta: la saggezza. Un breve abbecedario di passione civile. E umana. Per cui non esistono app.

di **Pietro Jarre**

Lavorando per trent'anni tra corporation *global* spesso ho sentito la frase cara ai manager mediocri: *what gets measured gets done*. Vorrebbe significare che se sei un manager puoi ricorrere / hai bisogno di un *sistema di contabilità* per sapere – e dimostrare – come progredisce un progetto, un'impresa, un investimento. La tecnologia digitale, d'altra parte, fornisce covoni di dati. Una messe senza fine che se esiste pare inevitabile dover usare. E così, via con lo sport preferito: i dati facciamoli digerire a qualche sistema, torturiamoli fino a che non confessino, contiamo il grano, trascuriamo ciò che non si misura perché non conta.

Ho provato nelle mie imprese ad applicare questo principio. Sembra semplice: definisci degli obiettivi –*smart* mi raccomando... - e poi dei parametri che misurino l'approssimarsi o meno agli obiettivi e il gioco è fatto. Peccato che spesso non funziona, perché trattasi di un lacerto di razionalismo ridotto allo strame di abbecedario. Ricette buone per tostare il pane.

I nodi di fondo

Parliamo allora delle cose importanti nella vita di ognuno di noi, a casa o in azienda, nella società o per noi soltanto. Ho riflettuto molto in queste settimane sospese di lockdown e di preoccupazione per il futuro.

Come misuri ciò che ti emoziona, ciò che ti fa sentire felice, ciò che ti entusiasma o ti fa paura?

Quali sono le unità di misura per l'odore della neve o l'amore per colei che inaspettatamente è entrata dirompendo nella tua vita? Quale è il calibro per il dolore e la gioia? Qual è, ancora, il metro del tempo che ti rimane? Quali sono gli strumenti per misurare l'entusiasmo di un gruppo di lavoro che ha appena finito una riunione sincera, dove il profumo di un'idea ha sconvolto i piani prospettati sullo schermo e eccitato tutti, finalmente, all'iniziativa?

I metodi rozzi

L'irritazione per i metodi rozzi del management corporate, in quelle riunioni *global*, rigurgitava appellandosi alla mia esperienza quotidiana. Sono proprio le cose che non sappiamo misurare quelle che fanno la differenza. E creano il successo, anche quello ben tangibile, che senti nella ammirazione dei tuoi dipendenti prima, e dei tuoi clienti poi, per quello che insieme a loro hai concepito e di cui il tuo gruppo è appunto pregno. Non è costruito affatto da una serie di elementi misurabili, è soprattutto costruito da fattori *imponderabili*.

Che bella parola. Ferma, fermati, pensa a questa parola che fa la Storia.

L'imponderabile

È *imponderabile* il nostro intuito nel costruire l'impresa o un Paese, è *immisurabile* l'entusiasmo nell'organizzare le risorse, nello spingere oltre i limiti inconsciamente da loro temuti le persone in cui crediamo. Dove e come potremmo misurarlo? Eppure, sappiamo. Eppure, ogni vero manager che sia anche leader sa che *quelle sono le cose che*

contano. Il fare è figlio della creatività e della passione, che non si misurano. Come certifichi, quale bollino di qualità oseresti assegnare all'amore, al profumo o alle emozioni?

Quale è il *balanced scorecard*, quali i *key performance indicators* della qualità della nostra vita – e dico *nostra*, non quella della società della performance che con ogni modo – oggi più digitale che mai - ci ammanniscono come normale?

Quando si cambiano non solo i parametri di misura, non solo i sistemi di assi cartesiani o la loro orientazione, ma proprio i postulati della società e della nostra vita, allora e solo allora possiamo respirare. E persino usare goniometri per il Diritto, squadrette per i nostri desideri, e poi finalmente fare la rivoluzione e *pretendere* la visione di un mondo e di una vita migliore.

È possibile, e non chiedete. Non c'è nessuna app per quello, fuori da voi stessi.

L'ACQUA NASCOSTA NEL NOSTRO CARRELLO DELLA SPESA

THE HIDDEN WATER OF OUR FOOD BASKETS

Carla Sciarra, Marta Tuninetti, Benedetta Falsetti—Politecnico di Torino

carla.sciarra@polito.it, marta.tuninetti@polito.it, benedetta.falsetti@polito.it



Lanciato il portale interattivo che rende fruibili i risultati del progetto europeo CWASI sulla risorsa idrica nel sistema alimentare globale

WaterToFood: A new interactive website was launched to disseminate the results of the European project CWASI on water resources in the global food system.

C'è un'acqua nascosta all'interno dei cibi che consumiamo, ed è l'**acqua virtuale**. Infatti, ciascun bene, prodotto o servizio di cui usufruiamo richiede acqua per essere processato. È il caso dei vestiti, della tecnologia, o di un taglio di capelli dal parrucchiere. Ma l'acqua impiegata nella produzione di cibo, e quindi **in agricoltura**, conta più del 70% del consumo delle risorse idriche di acqua dolce al mondo. Il consumo di tali risorse può essere tracciato lungo la catena di produzione, da cui si ricava il valore di **impronta idrica** di un bene, che misura il quantitativo di acqua necessaria a produrre il bene finale nelle mani del consumatore. L'introduzione del concetto di impronta idrica si deve al professor **Tony Allan**, che ne delineò le specifiche nel 1993. Da allora, un sempre più cospicuo numero di ricercatori e ricercatrici si sono appassionati al tema, con contributi scientifico-letterari sempre più importanti e mirati a capire come le risorse idriche siano sfruttate per sfamare una popolazione mondiale in aumento. L'impronta idrica e il consumo di acqua virtuale dipendono da una lunga serie di fattori. In primis, il tipo di coltura, che determina la quantità di acqua necessario all'accrescimento della pianta e alla produzione di frutti. Seguono il clima e le caratteristiche pedologiche dei terreni di coltivazione, che sono specifiche della zona di produzione e da cui possono dipendere cambi nella richiesta idrica delle colture. E ancora, la capacità tecnologica del paese di produzione, che se elevata, determina l'ottimizzazione della capacità di produzione con un ridotto consumo e spreco di acqua.

Infine, le capacità economiche e la richiesta di cibo da parte della popolazione, che cambiano l'impronta idrica proporzionalmente alla produzione di beni.

Tra i tanti esperti che si sono dedicati alla caratterizzazione del problema dell'impronta idrica, nel panorama accademico italiano figura il **Prof. Francesco Laio**, attualmente Direttore del **Dipartimento di Ingegneria per l'Ambiente, il Territorio e le Infrastrutture del Politecnico di Torino** che, nel 2015, vinse uno dei più ambiti finanziamenti, ovvero quello del Consiglio Europeo per la Ricerca (European Research Council). **Affrontare la scarsità d'acqua in un mondo globalizzato (CWASI)** dal suo titolo in inglese) è la denominazione del suo progetto, in cui tutte le componenti del problema dell'impiego delle risorse idriche sono state caratterizzate e delineate attraverso la ricerca condotta da Laio, colleghe e colleghi. Il problema dell'acqua virtuale non si limita ad un problema di impatto ambientale, ma è multidimensionale: economia, società e ambiente si intersecano in modo non banale.

Partiamo dai **cereali**. Ogni anno al mondo vengono prodotti in media 3 miliardi di tonnellate di cereali (dato FAO-STAT del 2019), bene primario per sfamare la popolazione mondiale. Di queste tonnellate, circa il 16% (dato FAO-STAT del 2019) è coinvolto nella rete del commercio internazionale, determinando così una dislocazione virtuale delle risorse idriche locali impiegate per produrre cibo che viene poi consumato in altri posti del mondo. Non solo cereali: i paesi si scambiano ogni anno più di 200 prodotti agricoli (dato FAO-STAT del 2019) determinando così un flusso di acqua virtuale che, nascosta dentro container di cibo, può arrivare a contare fino a miliardi di metri cubi.

Le ricercatrici e i ricercatori del team CWASI hanno valutato come tale rete di **commercio internazionale** costituisca una medaglia a due facce. Da un lato, il commercio permette il soddisfacimento della domanda di cibo da parte della popolazione, specie a quelle che vivono nelle zone a maggiore scarsità idrica (ad esempio il Medio Oriente e il Nord Africa), con conseguente riduzione dell'impatto della produzione di cibo: produrre un determinato bene in una zona del mondo piuttosto che un'altra, potrebbe avere un costo idrico diverso. Dall'altro lato invece, la presenza di **connessioni globali** per il sostentamento della popolazione mondiale può determinare dinamiche di vulnerabilità quando i paesi si trovano in condizioni di dipendenza idrica e alimentare da altri paesi. Un caso emblematico di tali condizioni è la crisi economica che colpì l'Argentina nel 1998. Ora come allora, l'Italia risultava tra i maggiori partner del commercio dell'Argentina, specie per il grano. In conseguenza alla crisi, le capacità produttive dell'Argentina furono di molto ridotte, determinando una riduzione del grano esportato in particolare verso l'Italia. La nostra nazione riuscì a identificare altri partner commerciali grazie ai quali soddisfare la domanda di grano interna. Non fu così per altri partner commerciali dell'Argentina, più vulnerabili e meno resilienti da un punto di vista economico, sociale e ambientale.

Dal punto di vista delle risorse idriche, non tutti i paesi hanno la stessa disponibilità idrica, e il consumo di acqua per l'agricoltura può innescare dinamiche di sovra sfruttamento delle risorse, con depauperamento delle falde acquifere e delle acque superficiali. La produzione ha un valore ambientale diverso se avviene in una zona a bassa disponibilità idrica, come la Spagna, o ad alta disponibilità, come il Canada. Tale impatto ambientale della produzione di cibo non si riflette sempre nel valore economico dei prodotti commerciati. Nell'ambito di CWASI è stato stabilito che solo i prezzi dei beni per cui esistono dinamiche di competizione e perciò meno nobili, come i cereali, sono influenzati anche sulla base della richiesta idrica per la loro produzione. Altri prodotti di nicchia, come la vaniglia invece, hanno un prezzo che è determinato esclusivamente da dinamiche di mercato come il monopolio e l'oligopolio, trascurando perciò l'impatto ambientale di tale produzione.

Ci sono molti altri fattori socioeconomici e politici che guidano l'acqua virtuale di produzione, consumo e commercio, sia su scala locale che globale. La crescita della popolazione è uno dei fattori principali, poiché determina la domanda di cibo nel tempo e nello spazio (per esempio, maggiore è la popolazione da sfamare, maggiore è la domanda; inoltre, i flussi migratori possono determinare cambiamenti nella domanda di cibo a livello locale). A livello politico, i governi giocano un ruolo chiave attraverso l'istituzione di accordi internazionali, modificando e definendo così la rete del mercato globale. La presenza - o l'entrata in vigore - di un accordo commerciale tra due o più paesi può avere un impatto sul mercato alimentare, influenzando le connessioni all'interno della rete, la quantità di tonnellate di cibo scambiate, e quindi l'impronta idrica e il commercio di acqua virtuale. Inoltre, molti paesi incontrano

ancora gravi difficoltà nell'uso delle risorse idriche per le attività umane a causa di ostacoli economici e infrastrutturali, nonostante il loro livello di disponibilità idrica. Questo è cruciale per capire i danni sulle risorse idriche quando il commercio guida la domanda di cibo (e quindi di acqua). Tutti questi fattori sono intrecciati in dinamiche complesse, che richiedono approcci multidimensionali per essere spiegati e quindi affrontati.



Caffè_Etiopia: Fermo immagine della sezione *Play with data* del sito *watertofood.org*. La mappa mostra l'impronta idrica, espressa in litri, della produzione di un chilo di caffè (o equivalentemente, metri cubi a tonnellata), con focus sul caso della produzione in Etiopia. I dati fanno riferimento all'anno 2016.



Caffè_Etiopia: Fermo immagine della sezione *Play with data* del sito *watertofood.org*. La mappa mostra i volumi di acqua virtuale, espressa in metri cubi, legati all'importazione di grano da parte dell'Italia, con focus sui volumi di acqua virtuale importati dal Canada. I dati fanno riferimento all'anno 2016.

Alla luce dell'importanza dell'argomento e della necessità di creare coscienza sociale sul tema, nell'ottica di uno scenario di aumento della popolazione e di esacerbamento di fenomeni estremi che coinvolgono le risorse idriche come conseguenza dei cambiamenti climatici, dal progetto CWASI è nato di recente **Water To Food, una piattaforma digitale di comunicazione** dei dati della ricerca per sensibilizzare la società civile sul tema. Water to Food nasce durante il primo lockdown da un'idea delle tre giovani ricercatrici, Benedetta Falsetti, Carla Sciarra e Marta Tuninetti, che nell'ultimo anno hanno lavorato al fianco di un team di esperti in comunicazione digitale con l'obiettivo di creare un ponte tra società civile e accademia. Il database Water To Food, costituito dall'analisi di produzione di cibo di oltre 200 prodotti di origine agricola nel periodo 1961 – 2016 e a cui si ha accesso accedendo al sito web *watertofood.org* e cliccando sulla sezione *play with data*, permette a tutti gli utenti interessati di scoprire quanta acqua è richiesta per produrre il cibo sulle nostre tavole, e quali sono i partner di commercio delle nazioni. E così si può scoprire che per produrre un chilo di caffè etiope servono più di undicimila litri di acqua e che l'Italia importa dall'Etiopia circa 95 milioni di metri cubi di acqua proprio sotto forma di chicchi da tostare. E ancora per la pasta: tra i vari stati da cui proviene il grano, l'Italia importa in particolare da Russia, Australia, Stati Uniti e Canada, stato da cui importa più di un miliardo di metri cubi di acqua virtuale. Considerando che il Lago di Garda ha un volume di circa 50 chilometri cubi, si stima che il volume totale di acqua virtuale che l'Italia importa sotto forma di cibo nel corso di un anno sia circa 1750 chilometri cubi (secondo una stima fatta per l'anno 2016), volume che corrisponde a circa 35 volte il volume del lago di Garda. Il progetto Water To Food spiega questi concetti in modo facile e veloce; le informazioni sull'impronta idrica del cibo sono mostrate attraverso video, infografiche e dati a forma di bolle.

In uno scenario in cui i cambiamenti climatici e l'aumento di popolazione minacciano la disponibilità idrica e l'accesso ad acqua e cibo, ricerche come quelle del progetto CWASI e della piattaforma di comunicazione Water To Food sono ciò di cui la nostra società ha bisogno per essere sempre più coscienti del valore dell'unico bene che non ha valore: l'acqua.

La piattaforma è disponibile a questo indirizzo: <https://www.watertofood.org/>

MATERIALI LAPIDEI: PROPRIETA' TECNICHE, LORO SIGNIFICATO E RELATIVE PROVE DI LABORATORIO

Parte 1: La massa volumica e la porosità

Dr. Piero Primavori - Libero Professionista (PSC-Primavori Stone Consulting) - pieprima@gmail.com

Prof.ssa Rossana Bellopede – Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria Dell'ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture - rossana.bellopede@polito.it

INTRODUZIONE

Inizia con questo numero di Pangea una **Rubrica** dedicata alle proprietà tecniche dei materiali lapidei.

La **Rubrica** si prefigge lo scopo di illustrare le proprietà tecniche che caratterizzano ogni materiale lapideo, il loro **significato** ed **importanza** in funzione della **destinazione d'uso** del materiale stesso, e le **prove di laboratorio** condotte per indagarle e quantificarle.

In alcuni casi, le proprietà e le prove saranno messe in relazione alle **Norme tecniche** che disciplinano i prodotti in pietra naturale nell'ambito della Marcatura CE. Ove ritenuto opportuno, saranno inoltre descritti i **principi analitici** ai quali le prove di laboratorio fanno riferimento, nonché le loro **modalità di esecuzione**.

In parallelo a ciò, vi è anche il desiderio di liberare l'immaginario collettivo dalla persistenza di luoghi comuni, equivoci, inesattezze e numerosi "per sentito dire", che troppo spesso orientano erroneamente e pregiudicano la valutazione tecnica di un materiale lapideo.

In sede introduttiva si ritiene utile chiarire cosa si intende per **materiali lapidei**.

Noti in letteratura anche come pietre ornamentali, lapidei ornamentali, pietre da taglio, o, più sbrigativamente (ma anche impropriamente) *marmi, graniti e pietre*, i materiali lapidei definiscono tutte quelle pietre **naturali** che, estratte in forma di blocchi o lastre grezze, sono **convertite direttamente** in prodotti finiti per applicazioni in settori vari, dall'edilizio *sensu lato* al funerario, dall'artistico all'artigianato, fino al navale. Essi svolgono funzione di copertura, rivestimento, decorazione ed estetica, raramente una funzione strutturale.

Nella loro accezione, i lapidei sono **profondamente distinti** dai **materiali litoidi** (pur essendo, evidentemente, essi stessi dei litoidi), comparto all'interno del quale la pietra naturale, dopo l'estrazione e previa processi vari (frantumazione, macinazione, cottura, micronizzazione, polverizzazione, agglutinazione ecc.), costituisce un **materiale di base** per la confezione di **altri** prodotti, come il cemento, il calcestruzzo, le ceramiche/laterizi, gli intonaci, le malte ecc.

I prodotti ottenuti con i litoidi hanno estese applicazioni nell'industria delle costruzioni, nelle grandi opere e infrastrutture (gallerie, ponti, strade, dighe, edifici ecc.), dove svolgono principalmente un ruolo **strutturale**. Altre applicazioni sono nei comparti del design e dell'arredo, dove vengono impiegati per coperture e rivestimenti.

Questa Rubrica tratta **esclusivamente** le proprietà tecniche dei materiali **lapidei** e le prove di laboratorio condotte su di essi, trascurando pertanto tutto quanto legato ai materiali **litoidi** che comprendono gli aggregati naturali o materiali, come ad esempio quelli ceramici.

1. LE PROPRIETÀ TECNICHE DEI MATERIALI LAPIDEI

Qualunque materiale lapideo, lavorato e posto in opera, è soggetto a numerose sollecitazioni ed azioni perturbanti di tipo **meccanico, fisico, chimico, chimico-fisico e biologico**. Tali azioni e sollecitazioni sono **diverse a seconda dell'applicazione** del materiale e possono arrecare danni più o meno gravi e irreversibili, compromettendo così non solamente aspetto e struttura della pietra stessa, ma l'integrità e la funzione dei manufatti, con rischio talvolta anche per la pubblica incolumità.

Le proprietà tecniche sono quindi le caratteristiche che un materiale deve possedere per svolgere in modo adeguato ed affidabile la funzione per la quale viene scelto, e rivestono un'importanza fondamentale in quanto da esse dipendono l'effettiva **idoneità all'impiego** del materiale stesso, nonché la **funzionalità, la sicurezza e la durevolezza** di un'opera.

Le proprietà tecniche possono essere valutate:

- a) **in maniera unica (standardizzata) e quantitativa**, con una Norma tecnica di riferimento;
- b) **qualitativamente o quantitativamente**, senza Norme tecniche di riferimento.

Per le proprietà di tipo **a)** esistono delle prove di laboratorio **standardizzate**, codificate da una Norma (armonizzata). Ciò significa:

- ✓ poter esprimere quantitativamente il risultato, attraverso **numeri**;
- ✓ **indipendenza** dall'operatore; essendo la procedura **standardizzata**, ogni operatore è tenuto a svolgere **quella** prova in **quel** modo;
- ✓ che la prova è **ripetibile**;
- ✓ che, nell'ambito di una stessa prova di laboratorio, si possono eseguire **comparazioni** tra materiali diversi.

Esistono diversi tipi di norme su scala mondiale e ad esse corrispondono prove di laboratorio differenti; le più diffuse sono le Norme **EN** dell'**Unione Europea** (EN = European Norm) e le norme statunitensi **ASTM** (ASTM = American Society for Testing and Materials); nella presente Rubrica saranno descritte solo le prove di laboratorio relative alle Norme **EN**.

La **Tabella I** riporta le proprietà tecniche valutabili attraverso una Norma dell'Unione Europea per Pietre Naturali (sigla EN + numero tra parentesi).

Per le proprietà di tipo **b)** **non** esistono prove standard di laboratorio, e ciò significa che **solo in rari casi**:

- ✓ si può ottenere un valore numerico;
- ✓ è possibile una ripetibilità del test (in condizioni eguali);
- ✓ è possibile fare comparazioni tra materiali diversi;

Le proprietà di tipo **b)** sono definibili **solo empiricamente**, anche attraverso il **comportamento in opera** dei diversi materiali, o attraverso **valutazioni soggettive**. Queste ultime sono assai **variabili** in funzione dell'operatore; purtuttavia hanno un loro grado "storico" di attendibilità complessiva, basato su esperienze multiple e ripetute.

Alcuni esempi di proprietà tecniche senza norme di riferimento europee per le pietre naturali sono la igroscopicità, la permeabilità all'aria (o ai gas), la conducibilità termica, la lavorabilità, la spaccabilità, la perforabilità, la scolpibilità, la segabilità, ed altre ancora.

<p><u>TESTS PETROGRAFICI</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • esame petrografico (EN 12407) <p><u>TESTS FISICO-MECCANICI</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • massa volumica apparente, massa volumica reale, porosità totale ed aperta (EN 1936) • assorbimento d'acqua per capillarità (EN 1925) • assorbimento d'acqua a pressione atmosferica (EN 13755) • resistenza a compressione (EN 1926) • resistenza a flessione sotto carico concentrato (EN 12372) • resistenza a flessione a momento costante (EN 13161) • energia di rottura (EN 14158) • resistenza all'abrasione (EN 14157) • carico di rottura nei punti di fissaggio (EN 13364) • modulo elastico dinamico (per mezzo della frequenza di risonanza fondamentale) (EN 14146) • velocità di propagazione degli ultrasuoni (EN 14579) • modulo elastico statico (EN 14580) • coefficiente di dilatazione lineare termica (EN 14581) <p><u>TESTS DI DUREVOLEZZA</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • resistenza alla cristallizzazione dei sali (EN 12370) • resistenza al gelo (EN 12371) • resistenza all'invecchiamento accelerato tramite shock termico (EN 14066) • resistenza all'invecchiamento (causato da nebbia salina) (EN 14147) • resistenza del marmo ai cicli termici e di umidità (EN 16306) • sensibilità alle variazioni di aspetto indotte da cicli termici (EN 16140) • sensibilità alla macchiatura accidentale (EN 16301) <p><u>TESTS "TECNOLOGICI"</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • resistenza allo scivolamento (EN 14231)

Tabella I: le proprietà tecniche valutabili in forma quantitativa. Tra parentesi la sigla della norma relativa

La Rubrica inizia prendendo in esame la **massa volumica** e la **porosità**, due proprietà valutabili attraverso una stessa Norma, la **EN 1936** (*Determinazione della massa volumica apparente, della massa volumica reale e della porosità totale e aperta*).

2. MASSA VOLUMICA E POROSITA'

2.1 LA MASSA VOLUMICA

La Norma EN 1936 è l'unica, in ambito lapideo, che prende in considerazione due parametri insieme: la massa volumica (m.v. nel seguito) e la porosità. Ciò si deve al fatto che queste due grandezze sono **strettamente collegate tra loro** e risulta più appropriato trattarle congiuntamente. A rigor di termini, la Norma considera non due, bensì quattro grandezze: due m.v. (una **apparente** ed una **reale**) e due porosità (una **totale** ed una **aperta**).

Benché la Norma prenda in esame parametri abbastanza semplici, essa si sviluppa attraverso numerose formule numeriche; in questa nota, per non appesantire la lettura, ne vengono riportate solo due (vedi § 2.3)

Si intende per m.v. il **rapporto tra la massa di una roccia e il suo volume**; il valore numerico viene espresso in kg/m^3 . Per comprendere perché viene operata la distinzione tra una m.v. apparente e una m.v. reale, occorre considerare che **tutte** le rocce in natura sono formate da una parte "**piena**" - la parte **solida** - e da una parte "**vuota**", data dall'insieme di **fessure, pori e cavità**, anche infinitesimali. Per inciso, è proprio questa parte vuota quella che definisce la porosità, di cui al successivo § 2.2.

La m.v. **apparente** si ottiene dividendo la massa del provino di roccia per il suo volume **totale**, costituito cioè sia dai pieni, sia dai vuoti. Per determinare invece la m.v. **reale**, occorre considerare il volume **effettivo** di roccia, cioè il volume **del solo pieno**, privato dei vuoti, per ottenere il quale il provino deve essere macinato.

Poiché nel calcolo della m.v. apparente si inserisce il volume **totale**, quest'ultima fornisce un valore non propriamente veritiero, pur tuttavia di grande utilità e, nella realtà operativa, quello di utilizzo più diffuso, in quanto anche più facile da determinare in laboratorio.

Il volume totale, comprendente sia la parte solida, sia i vuoti, è sempre **maggiore** del volume effettivo; solo in casi estremi, quando una roccia è talmente **compatta** da contenere vuoti in quantità scarsissima, i due volumi sono quasi coincidenti.

Come conseguenza la m.v. apparente è sempre **minore** di quella reale.

E' facile comprendere che quanto maggiore è lo scarto tra la m.v. reale e quella apparente, tanto più nella nostra roccia vi sono fessure, pori, cavità ecc. Questi termini usati per descrivere le parti dove la roccia ha dei vuoti possono essere convenientemente raggruppati in un solo termine: **porosità**. Lo strettissimo legame tra la m.v. di una roccia e la sua porosità spiega perché la norma EN 1936 tratta congiuntamente queste grandezze.

La **Tabella II** riporta gli intervalli di variazione più ricorrenti per i valori di m.v. apparente nelle diverse famiglie di materiali lapidei:

MATERIALI LAPIDEI	CATEGORIA COMMERCIALE	ESEMPI COMMERCIALI	Massa volumica apparente (kg/m ³)
Rocce carbonatiche <i>sensu lato</i> , sedimentarie, compatte (1)	"MARMI"	<i>Crema Marfil, Aurisina, Serpeggiante Apricena, Rosso Languedoc, Rojo Espejon,</i>	2400 ÷ 2750
Rocce carbonatiche <i>sensu lato</i> , sedimentarie, poco compatte (2)	"PIETRE"	<i>Pietra Lecce Gentile, Blanca Pinar, Pietra di Vicenza</i>	1250 ÷ 2400
Arenarie compatte	"PIETRE"	<i>Forte Colombino, Pietra di Santafiora, Pietra di Matraia</i>	2400 ÷ 2700
Arenarie "tenere"	"PIETRE"	<i>Sydney Sandstone, Reina, Dorada de los Pinares</i>	1700 ÷ 2400
Travertini compatti	"MARMI"	<i>Navona, Rosso Soraya, Paglierino, Denizli</i>	2450 ÷ 2700
Marmi cristallini <i>sensu stricto</i> (3)	"MARMI"	<i>Bianco Carrara "C", Palissandro, Thassos, Sivec, Rosa Portogallo</i>	2550 ÷ 2800
Rocce silicee <i>sensu lato</i> , chiare ("uniformi" e "venate") (4)	"GRANITI"	<i>Rosa Porriño, Kashmir White, Beola Bianca, Bethel White</i>	2450 ÷ 2700
Rocce silicee <i>sensu lato</i> , scure ("uniformi" e "venate") (5)	"GRANITI"	<i>Volga Blu, Nero Zimbabwe, Marron Guaiba, Rosso Santiago</i>	2550 ÷ 3000
Rocce vulcaniche compatte (6)	"GRANITI"	<i>Basalto Sardegna, Basaltina, Trachite Euganea</i>	2400 ÷ 3000
Rocce vulcaniche "tenere", tufi	"PIETRE"	<i>Piperno, Tufo campano, Peperino, Tufo di Manduria</i>	1500 ÷ 2400
Quarziti	"PIETRE"	<i>Kirkstone, Quarzite Argentea, Da Vinci Quartzite, Azul Macaubas</i>	2500 ÷ 2800

Tabella II - intervalli di variazione più ricorrenti per i valori di massa volumica in differenti macro-categorie di materiali lapidei

- (1) calcari, calcari dolomitici, dolomie, onici, breccie e conglomerati tenaci, alabastrini calcarei
- (2) calcari teneri / moderatamente litificati / "farinosi"; travertini vacuolari; breccie cavernose;
- (3) include calcescisti, cipollini, marmi dolomitici
- (4) graniti, granodioriti, tonaliti, sieniti, rocce magmatiche intrusive acide ed intermedie, migmatiti, rocce granitoidi s.l., gneiss
- (5) gabbri, peridotiti, serpentiniti, rocce magmatiche intrusive basiche, migmatiti, "marmi" verdi, ardesie, porfiroidi
- (6) basalti, andesiti, trachiti, daciti, fonoliti ed altre

E' utile ricordare che la m.v. di una roccia, oltre che dalla porosità, è influenzata anche da altri parametri, *in primis* i minerali costituenti, la genesi della roccia stessa e la sua struttura intima. Ogni minerale, in particolare, ha una sua massa volumica: quelli contenenti elementi chimici **pesanti** (Ferro, Magnesio, Cromo ecc., che sono anche i **più scuri**) hanno una massa più elevata di quelli che contengono elementi **leggeri** (Calcio, Silicio, Alluminio ecc., che sono anche i **più chiari**); ciò spiega perché, ad esempio, i graniti scuri, i basalti ed altre rocce con minerali pesanti [vedi Note 5) e 6) in **Tabella II**] hanno una m.v. maggiore dei graniti chiari [vedi Nota 4) in **Tabella II**].

Nelle pratiche quotidiane correnti del settore lapideo, la m.v. è utile quando si devono eseguire calcoli di compravendita dei blocchi (in caso di indisponibilità di pese), nella stima del loro costo di trasporto, per calcolare i carichi dei manufatti (soprattutto strutture, pannelli), quando si debbano progettare opere particolari (ad es.: muraglie e scogliere di protezione marittima o fluviale), nel calcolo dei costi per gli acquisti di lapidei a peso ecc.

Ma è quando viene **valutata congiuntamente alla porosità** che la m.v. assume i significati di maggiore importanza per la predizione del **comportamento in esercizio** della pietra. Il binomio m.v.-porosità, infatti, **influenza la quasi totalità di tutte le altre proprietà tecniche di un materiale**, determinando quindi una grossa fetta di quello che è il comportamento in opera.

2.2 LA POROSITA'

Tutti i materiali lapidei contengono dei vuoti, anche se, talvolta, il loro aspetto porta chi non ha familiarità con la materia a pensare che ne siano privi. Tali vuoti sono gli spazi non occupati da sostanza solida, e sono rappresentati da fratture, fessure, pori, interstizi, cavità, buchi. L'insieme dei vuoti, indipendentemente dalla loro natura e dalla loro genesi (aspetti sui quali la presente nota sorvola) prende, come già detto, il nome di **porosità**.

Per numerose proprietà tecniche di una roccia, i vuoti giocano un ruolo **cruciale**, per almeno tre importanti motivi:

- ✓ costituiscono la **via di accesso** ad acqua, liquidi, gas ecc., agenti pressoché sempre responsabili di alterazioni e degradi del materiale;
- ✓ non partecipano ad alcun tipo di **resistenza meccanica** (la quale è affidata interamente alle parti solide di una roccia);
- ✓ hanno una **compressibilità infinita**.

M.v. e porosità, come già sottolineato, sono strettamente legate tra loro poiché (a parità di composizione mineralogica), a maggiori valori di porosità corrisponde una minor massa, e viceversa.

Tuttavia c'è porosità e porosità: vi sono porosità **accessibili**, dove i pori sono "aperti", cioè in contatto con l'esterno (**Figura 1**), ma vi sono anche porosità "intrappolate" all'interno della massa rocciosa, con i pori "chiusi", cioè non comunicanti con l'esterno, e, come tali, **non accessibili** (**Figura 1**).

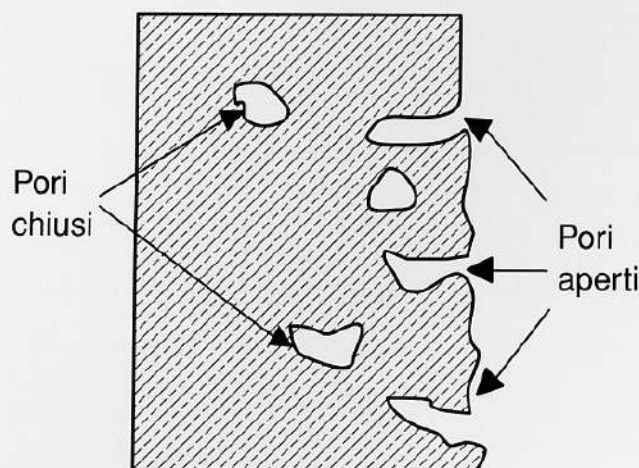


Figura 1: schematizzazione di un provino lapideo. I pori aperti sono comunicanti con l'esterno e determinano la porosità accessibile; i pori chiusi non sono comunicanti con l'esterno e determinano una porosità non accessibile.

Questa distinzione è **fondamentale**. La Norma EN 1936 distingue infatti tra una porosità **aperta** e una porosità **totale** (p.a. e p.t. nel seguito). La p.a., detta anche **apparente** o **accessibile**, è rappresentata solo dai **pori aperti**, in contatto con l'esterno

(Figure 1 - 2), attraverso i quali i liquidi/gas possono penetrare all'interno della roccia; la p.t., invece, comprende **tutte** le porosità della roccia, quelle aperte e quelle chiuse (Figura 2).



Figura 2: schematizzazione di un provino lapideo. In colore bleu, la porosità aperta (o porosità apparente), accessibile; in colore rosso, la porosità chiusa, non accessibile. La somma delle porosità in bleu e in rosso rappresenta la porosità totale

Numericamente, la p.a. viene espressa come il rapporto - sotto forma di **percentuale** - tra il volume dei pori aperti e il volume apparente del provino di roccia. La p.t., anch'essa sotto forma di percentuale, viene invece espressa come il rapporto tra il volume di tutti i pori (aperti e chiusi) e il volume apparente del provino di roccia.

La sola conoscenza della p.t. **non dà informazioni complete**; essa dice **quanti vuoti ci sono** nel complesso, ma non permette di distinguere tra accessibili e non accessibili. Un occhio esperto potrà già capire la natura e la tipologia dei pori, così come i possibili nessi tra le due porosità, ma è necessario procedere alla determinazione di entrambe. Ancora una volta, si rende chiaro perché la Norma EN 1936 tratta congiuntamente più grandezze.

Un fattore che gioca un ruolo cruciale è la **modalità con cui la porosità si estrinseca all'interno** della massa rocciosa, cioè **come essa si sviluppa** tra i costituenti e, in questo senso, la casistica è veramente ampia, in dipendenza della genesi e della struttura interna della roccia.

Facciamo un esempio: se il valore calcolato della m.v. di due calcari puri risulta molto diverso - ipotizziamo 2700 kg/m^3 l'uno e 2350 kg/m^3 l'altro - la differenza può essere dovuta solo alla porosità. Un calcare puro, infatti, è formato esclusivamente da **calcite**, un minerale la cui m.v. è 2710 kg/m^3 , e, dal momento che entrambi i calcari contengono esattamente lo stesso minerale, la differenza è dovuta solo alla genesi ed alla struttura dei calcari stessi, cioè "come si sono formati" e "come sono fatti" al loro interno. Evidentemente quello che contiene più vuoti ha "meno" parte solida dell'altro, abbassando quindi il valore della m.v.

Ecco perché rocce di una stessa macro-categoria - in questo caso rocce sedimentarie carbonatiche - possono registrare m.v. **molto differenti** (vedi **Tabella II**) a causa del **modo** in cui si sono formate e delle **porosità** che contengono.

Oltre alla quantità dei vuoti, rivestono particolare importanza le loro **dimensioni** e il **grado di interconnessione (porosità comunicanti)**. La dimensione ha un'influenza diretta sulla possibilità dei liquidi di entrare all'interno della massa, per gravità o per fenomeni capillari (questi ultimi potentissimi); il grado di interconnessione (Figura 3) governa l'effettiva possibilità dei liquidi di attraversare la roccia (= permeabilità), distribuendosi così all'interno, e raggiungendo porzioni della massa anche distanti dalle superfici esterne.

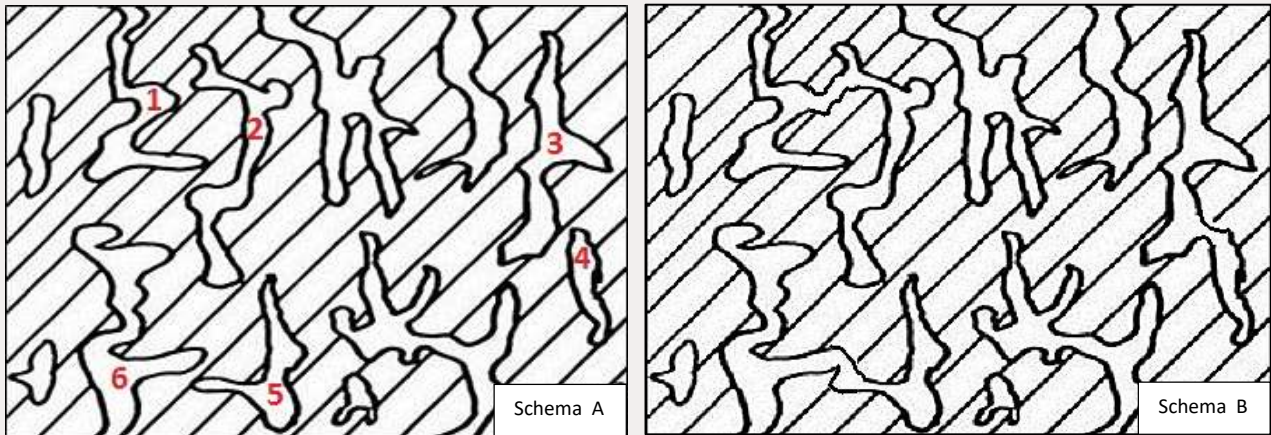


Figura 3: Schematizzazione di un provino lapideo che permette di materializzare il concetto di porosità comunicanti. Le porosità 1-2, così come 3-4 e 5-6, non comunicanti tra loro nello schema A, sono state (volutamente) disegnate come comunicanti nello Schema B. 1 e 6 sono porosità aperte, e quindi accessibili, mentre 2, 3, 4 e 5 sono chiuse, pertanto non accessibili. Con la mutata configurazione dello schema B, diventano aperte ed accessibili anche la (ex) porosità 2 e la (ex) porosità 5, situazione nella quale i fluidi possono penetrare maggiormente all'interno della massa rocciosa. In condizioni di ordinario esercizio di un materiale lapideo, una transizione da pori non comunicanti a pori comunicanti può determinarsi per molteplici cause: pressioni di cristallizzazione di minerali, stress e sollecitazioni meccaniche, dilatazioni e contrazioni, azione del gelo, ecc.

Si consideri, ad esempio, il problema della formazione di ghiaccio: com'è noto, l'acqua, nella trasformazione da liquido a solido, subisce un aumento di volume di circa il 9%. Una volta introdotta in un poro, l'acqua scaricherà integralmente la pressione derivante da tale aumento di volume sulle pareti del poro stesso, un meccanismo questo che, protratto nel tempo (alternanze gelo-disgelo), porta ad una lenta, ma inesorabile, disgregazione destinata a diffondersi nella massa rocciosa (crioclastismo). Le porosità chiuse, in prima istanza, non sono soggette allo stesso meccanismo; anche se v'è da dire che molti pori chiusi, proprio per le conseguenze del ghiaccio sui pori aperti, possono convertirsi essi stessi in pori aperti (quindi accessibili) ed ampliare sempre di più la portata del fenomeno.

In generale, occorre prestare attenzione nell'interpretare correttamente i valori della porosità; non è raro, infatti, osservare materiali con porosità elevata che, contrariamente a ciò che si potrebbe pensare, si comportano in opera molto meglio di materiali a porosità contenuta. Un buon esempio è costituito da molti travertini, i quali, pur con porosità elevate (fino al 15% ÷ 20%), hanno spesso un comportamento eccellente nei confronti del gelo; l'acqua infatti entra facilmente nelle grandi cavità, spesso non intercomunicanti tra loro, ma ne può uscire altrettanto facilmente, limitando la nocività della sua azione. Al contrario, molti materiali con un sottile reticolo di pori e microfessure, spesso intercomunicanti, hanno valori di porosità inferiori, ma evidenziano un comportamento in opera ben peggiore; la circolazione diffusa nei micropori, dai quali l'acqua ha difficoltà ad uscire, spesso aggravata dagli effetti della capillarità, finisce infatti per avere un effetto disgregatore ben maggiore di ciò che accade con cavità di grandi dimensioni.

Inoltre, in proporzione, le pressioni dovute al gelo sono molto più deleterie nei pori piccoli rispetto a quelli grandi; ed ecco perché una rete di piccoli pori diffusi può lentamente degradare una roccia compatta a dispetto di un buon valore di laboratorio che non farebbe presumere una tale portata del fenomeno.

Un'altra circostanza nella quale dimensioni e grado di interconnessione giocano un ruolo cruciale si riscontra quando si ha la deposizione all'interno delle porosità di sali disciolti nell'acqua penetrata all'interno della roccia. E' il caso tipico di molti ambienti salini e salmastri, o di atmosfere industriali, combinate a precipitazioni acide, tutti contesti nei quali i sali aggressivi sono presenti in concentrazioni elevate. Questi ultimi, disciolti in soluzione, si depositano all'evaporazione dell'acqua e, sono capaci di esercitare delle pressioni di cristallizzazione sulle pareti dei pori semplicemente mostruose (svariate decine di MPa), superando di gran lunga le resistenze micromeccaniche di alcuni materiali lapidei.

Le (Foto 1 - 2 - 3) illustrano alcuni esempi nei quali il degrado del materiale lapideo, oltreché esteticamente, si manifesta anche chimicamente, fisicamente e meccanicamente: erosioni, depositi di superficie, disaggregazioni, sub-efflorescenze/efflorescenze, alveolizzazioni ed altro.



Foto 1: Degrado esteso in lastre parietali di arenaria, con disgregazioni, esfoliazioni, scagliature e distacchi (Vienna, Austria). L'arenaria interessata è contraddistinta da elevati valori di porosità aperta e totale (test secondo EN 1936) nonché da numerose porosità intercomunicanti (esame petrografico secondo EN 12407)



Foto 2-3: sinistra: profonda disgregazione di un calcare installato su rivestimento parietale. I fenomeni intensi e ad evoluzione particolarmente rapida (l'immagine di destra è stata scattata tre mesi dopo quella di sinistra) sono dovuti sia alla struttura fortemente porosa del calcare, sia all'aggressività dell'atmosfera salina, sia alle frequenti alternanze gelo-disgelo. Pitgrudy (Scozia)

Tutto ciò detto, diventa chiaro perché, da un punto di vista squisitamente pratico, è di scarsa utilità che un'azienda, o un fornitore, o un operatore del settore, comunichino che la porosità di un materiale "X" è, ad esempio, 0,8%, perché, come evidenziato, occorre **specificare** a quale tipo di porosità si riferisce tale valore. Ecco anche perché la consueta frase "è un materiale poroso", così diffusa tra addetti e non addetti ai lavori, rappresenta spesso **un luogo comune**, oltre ad essere fuorviante; essa, infatti, fa istintivamente pensare a un materiale con "dei problemi", con caratteristiche negative, quando invece sarebbe opportuno tener conto che **tutti i materiali sono porosi**, alcuni di più, altri di meno.

Si tratta di valutare accuratamente la porosità in entrambe le sue due forme, il ruolo che essa può giocare in funzione della destinazione d'uso del materiale e se può essere **effettivamente nociva** nell'esercizio del manufatto.

2.3 LE PROVE DI LABORATORIO

Le determinazioni di laboratorio previste dalla norma EN 1936 devono essere eseguite su 6 provini cubici di 50 mm di lato con tutte le facce tagliate a piano-sega. **Il corretto confezionamento dei provini che saranno sottoposti a prova è molto importante al fine dell'ottenimento di risultati affidabili e rappresentativi**, così come la fedele riproduzione della procedura di prova descritta della norma tecnica. I provini devono essere essiccati a $T=70 \pm 5^\circ\text{C}$ fino a massa costante, disposti in un essiccatore fino a raggiungere la temperatura ambiente e, quindi, vengono pesati (**md**).

Il metodo si basa sul principio di Archimede (ogni corpo immerso in un fluido riceve una spinta verso l'alto pari al peso del volume del fluido spostato). I provini sono introdotti in un contenitore posto sotto vuoto fino a una depressione pari a 2 kPa, mantenuta per un periodo di tempo pari a 2 ore. Successivamente, i provini sono completamente immersi in acqua demineralizzata e riportati gradualmente a pressione atmosferica per 24 ore. Il test si conclude con la pesatura di ogni provino, in condizioni sature in acqua mediante bilancia idrostatica (**mh**), e in aria (**ms**), dopo averlo asciugato velocemente tamponandolo con un panno umido. Nella **Foto 4** sono mostrate le principali apparecchiature usate per queste determinazioni



tecniche.

Foto 4: Sulla sinistra apparecchiatura per l'assorbimento mediante pompa a vuoto e a destra sistema di pesatura mediante bilancia idrostatica (cortesia Laboratorio Marmo – Politecnico di Torino)

La massa volumica apparente si calcola con la seguente equazione:

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \cdot \rho_{rh}$$

ove ρ_{rh} = massa volumica dell'acqua a 20°C = 998 kg/m^3

mentre per la porosità aperta si fa riferimento alla relazione riportata di seguito:

$$p_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \cdot 100$$

Le operazioni di pesatura del provino saturo in acqua e in aria sono molto delicate e se non eseguite accuratamente potrebbero portare a errori nella misura e quindi all'espressione di un risultato sbagliato.

Norme tecniche di riferimento

EN 1936 (2007) - Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della massa volumica reale, della massa volumica apparente, e della porosità totale e aperta, CEN Bruxelles

EN 12407 (2019) - Metodi di prova per pietre naturali - Descrizione petrografica, CEN Bruxelles



Piero Primavori è un geologo, libero professionista, consulente specializzato nel settore dei materiali lapidei dal 1983, con attività svolta in 62 paesi. Si occupa di Progetti, Studi di Fattibilità, *Know-How* transfert, contenziosi legali ed attività di Training e Formazione Professionale. E' autore di 165 pubblicazioni su riviste specializzate e 20 tra Libri e Trattati. Ha ricoperto incarichi di docenza presso le Università di GE, TO, PR, SI, BG, MI, e svolto attività seminariale in 145 sedi. E' stato insignito del riconoscimento *Mastro d'arte della Pietra* ed è membro della Commissione UNI/CT 033/GL 20 "*Pavimenti e rivestimenti in pietra naturale*".



Professoressa presso il Politecnico di Torino – DIATI. Per le pietre naturali riveste il ruolo di tecnico esperto per il Comitato europeo di standardizzazione CEN TC/246 WG2 e per il gruppo di lavoro dell'UNI "Pavimenti e rivestimenti lapidei".

Avv. Stefano Cresta - Cresta & Associati Studio Legale

Stefano.cresta@crestaassociati.eu

Newsletter

Giugno 2021

Il Collegio Consultivo Tecnico (C.C.T.) negli appalti di opere e di lavori pubblici alla luce del Decreto Legge 16 luglio 2020, n. 76.

Sommario: 1. Il Collegio Consultivo Tecnico quale punto di raccordo di interessi contrapposti: raffronto con l'istituto europeo - 2. Quadro normativo di riferimento - 3. Il funzionamento del C.C.T. - 3.1 C.C.T. obbligatorio e facoltativo - 3.2 Composizione del C.C.T. - 3.3 Procedimento di individuazione e di nomina dei componenti del Collegio Consultivo Tecnico - 3.4 Compenso dei componenti del C.C.T. e divieto di nomina di consulenti d'ufficio - 3.5 Modalità di svolgimento delle attività del C.C.T. - 3.6 Natura delle determinazioni del C.C.T. - 3.7 Condizioni di «incompatibilità funzionale» e «sanzioni» - 4. CRITICITÀ 4.1 Mancata istituzione del C.C.T.: *quid iuris?* - 4.2. La natura delle determinazioni - 5. Conclusioni.

1. Il Collegio Consultivo Tecnico quale punto di raccordo di interessi contrapposti: raffronto con l'istituto europeo

Il Decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76 recante «*Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale*» (In Gazz. Uff. n. 178 del 16.07.2020, Suppl. ord. n. 24) prevede, nel Titolo I, Capo I («*Semplificazioni in materia di contratti pubblici*»), alcune novità in tema di contratti pubblici, funzionali ad incentivare gli investimenti pubblici nel settore delle infrastrutture e dei servizi pubblici, nonché a far fronte alle ricadute economiche negative a seguito delle misure di contenimento e dell'emergenza sanitaria globale del COVID-19, che ha avuto un impatto negativo rilevante soprattutto sui progetti di appalto in esecuzione, determinando in molti casi il blocco dei cantieri.

Il «*Decreto Semplificazioni*» (d.l. n. 76/2020) ha stabilito, in via transitoria e fino al 31 luglio 2021 – termine esteso fino al 31 dicembre 2021 con la legge di conversione 11.09.2020, n. 120 (In Gazz. Uff. n. 228 del 14.09.2020, Suppl. ord. n. 33), ed ulteriormente differito al **30 giugno 2023** dall'art. 51, comma 1, lettera e), decreto-legge n. 77 del 2021 – un intervento sistematico finalizzato a una semplificazione in materia di contratti pubblici e edilizia. In tale ottica il Collegio Consultivo Tecnico (anche solo C.C.T.), il quale trova il suo «antenato» nell'istituto dell'arbitrato, dovrebbe porsi come un punto di raccordo tra i complessi e contrapposti interessi delle imprese e delle stazioni appaltanti pubbliche.

Come noto gli operatori privati mirano ad ottenere una definizione del procedimento nella fase esecutiva del contratto nel minor tempo possibile, atteso che protrarre la controversia sul lungo periodo significa per l'impresa non poter programmare gli investimenti (e per la collettività subire il danno causato dal blocco dell'opera pubblica, che non viene portata a termine nei tempi previsti). Spinta di segno opposto è rappresentata, invece, dalla diffidenza della P.A. verso l'arbitrato, spesso identificato con un possibile rischio di responsabilità per danno erariale che grava sul dipendente pubblico.

Concorre a completare il complesso quadro degli interessi in gioco la diffidenza dell'opinione pubblica, sensibile alla denuncia di abusi e distorsioni nell'applicazione pratica dell'istituto dell'arbitrato e delle risoluzioni alternative delle controversie.

Il C.C.T. non è nuovo nel nostro ordinamento, l'istituto richiama il c.d. «*Dispute Review Board*» di derivazione anglosassone.

Le *Dispute Board Rules* (introdotte dall'International Chamber of Commerce) contengono all'art. 4 la disciplina del c.d. «*Board*». Esso emette raccomandazioni circa le controversie che siano eventualmente insorte tra le parti, le quali non sono tenute ad attenersi alle indicazioni del Board, ma devono manifestare il loro eventuale dissenso con una comunicazione scritta, altrimenti le indicazioni del C.C.T. diventano vincolanti, non solo in relazione alla specifica controversia risolta, ma anche per il futuro.

La natura di lodo contrattuale *ex art. 808 ter c.p.c.* del C.C.T. italiano si allontana dalla esperienza internazionale del Dispute Board, ove le determinazioni, vincolanti o meno per le parti, oltre ad essere sempre ricorribili mediante azione giudiziaria – come essenziale elemento di garanzia per tutti gli interessi in gioco – possono avere valenza propedeutica rispetto al giudizio ordinario o arbitrale.

Il C.C.T. italiano di discosta da quello previsto in ambito internazionale principalmente sotto tre aspetti: *i)* il criterio di nomina (d'accordo tra le parti, ma anche separatamente) non garantisce il clima di collaborazione e fiducia tipico del predetto istituto; *ii)* la mancanza di specifiche disposizioni in tema di incompatibilità e possibile reiterazione dell'incarico; *iii)* aumento dei costi per il pubblico erario (in caso di nomina del presidente da parte del M.I.T., Regioni o Città metropolitane).

2. Quadro normativo di riferimento

L'istituto del C.C.T. deve essere considerato in relazione agli artt. 209 e 210 del decreto legislativo n. 50/2016 (c.d. "Codice dei contratti pubblici") disciplinanti il giudizio arbitrale per la risoluzione delle controversie, su diritti soggettivi, insorte durante l'esecuzione dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture, concorsi di progettazione e di idee, comprese quelle conseguenti al mancato raggiungimento dell'accordo bonario.

Il legislatore ha previsto, dunque, la scelta della via arbitrale come facoltativa.

Il modello di arbitratore istituzionale è obbligatoriamente amministrato dalla Camera arbitrale per i contratti pubblici insediata presso l'ANAC e previamente autorizzato dall'organo di governo dell'amministrazione, cioè dalla parte appaltante.

Il C.C.T. era stato introdotto con l'art. 207, d. lgs. 50/2016 con un'originaria natura transattiva. La norma è stata poi abrogata con il d.lgs. 56/2017 (c.d. decreto correttivo) alla luce delle critiche mosse dall'Anac e Consiglio di Stato (applicabili a parere di chi scrive anche al Collegio Consultivo Tecnico odierno).

In particolare, secondo il Consiglio di Stato (v. Parere n. 855/2016) criticabile risultava l'estremamente vago ambito oggettivo di applicazione dell'istituto, riferito, con un'espressione alquanto atecnica dalla norma, alle "dispute di ogni natura suscettibili di insorgere nel corso dell'esecuzione del contratto", nonché la sua confondibilità con l'accordo bonario. Per questo il supremo Consesso della Giustizia amministrativa aveva richiesto la soppressione della norma.

Secondo l'ANAC tale strumento di risoluzione delle controversie configurava una "sorta di arbitratore libero" e, come tale, poteva interferire sui compiti e sulle funzioni della Camera arbitrale e aggirare [...], "nella sostanza, il criterio di delega di cui alla lett. aaa) secondo cui l'arbitrato nei contratti pubblici può essere solo amministrato" (v. la Relazione del Presidente dell'Autorità Nazionale Anticorruzione del 30.03.16).

Un timido intervento in materia di C.C.T. era già stato previsto dal D.L. 18 aprile 2019, n. 32 il c.d. "Decreto Sblocca cantieri" (coordinato con la Legge di conversione 14 giugno 2019, n. 55) nel quale il C.C.T. era stato previsto come facoltativo ed a tempo determinato fino all'entrata in vigore del regolamento unico.

Lo Sblocca cantieri aveva stabilito, a norma dell'articolo 1, commi 11-14, una forma opzionale di C.C.T., configurato come un meccanismo di assistenza preventiva con collegio di tre membri per una celere risoluzione di eventuali controversie sorte durante la fase esecutiva del contratto.

Il D.L. Semplificazioni, prevedendo espressamente l'abrogazione dei commi da 11 a 14 dell'articolo 1 del D.L. 18 aprile 2019 ha inteso regolare *ex novo* la natura e la disciplina sistematica del C.C.T. conferendo allo stesso, come si specificherà nel prosieguo, natura di lodo contrattuale.

La Disciplina del C.C.T. non è stata ricollocata nell'art. 207, d.lgs. 50/2016, ma consegnata al D.L. 76/2020 con norme a tempo: fino al 31.12.2021, il che rende l'intero quadro normativo in materia stratificato e complesso.

A rincarare la dose, quanto a stratificazione normativa, concorre anche la c.d. *Soft Law* emanata in materia, costituita da:

- Linee guida per l'omogenea applicazione da parte delle s.a. delle funzioni del C.C.T., approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici il 21.12.2020;
- Indicazioni ITACA del dicembre 2020 (recepite con atti deliberativi di Giunta da diverse Regioni quali ad esempio Toscana Basilicata Veneto);
- ANAC, Delibera 9.3.2021, n. 206;
- Supporto giuridico MIT di agosto 2020;
- Parere Comitato Tecnico Appalti Pubblici, Fondazione Ordine Ingegneri Provincia di Roma del 3.2.2021.

3. Il funzionamento del C.C.T.

3.1 C.C.T. obbligatorio e facoltativo

Ai sensi dell'art. 6, commi da 1 a 3 del d.l. n. 76/2020, convertito con modificazioni in L. n. 120/2020, fino al 30 giugno 2023 (ex art. 51, comma 1, lettera e), decreto-legge n. 77 del 2021), per i lavori di importo pari o superiore alle soglie UE (5.350.000,00 euro) è obbligatoria, presso ogni Stazione appaltante, la costituzione di un Collegio Consultivo Tecnico, prima dell'avvio dell'esecuzione, o comunque non oltre 10 giorni da tale data, con funzioni di assistenza per la rapida risoluzione delle controversie o delle dispute tecniche di ogni natura suscettibili di insorgere nel corso dell'esecuzione del contratto stesso.

La costituzione del Collegio Consultivo Tecnico è invece facoltativa per i lavori sottosoglia e nella fase antecedente all'esecuzione (rispettivamente commi 4 e 5 dell'art. 6).

Il C.C.T. ha funzioni di assistenza per la rapida risoluzione delle controversie o delle dispute tecniche di ogni natura suscettibili di insorgere nel corso dell'esecuzione del contratto stesso.

Il C.C.T., inoltre, adotta determinazioni relative alle casistiche di sospensione dei lavori previste dall'art. 5, comma 4 del d.l. n. 76/2020 (con compiti specifici differenziati in relazione alle varie ipotesi, secondo la modulazione prevista dai commi 2 e 3 dello stesso art. 5).

Il C.C.T. interviene, dunque, su due versanti:

- a) risoluzione delle controversie emergenti nel corso dell'esecuzione dell'appalto;
- b) risoluzione delle dispute tecniche di ogni natura.

Non si tratta, pertanto, di un organismo a funzione esclusivamente «tecnica», ma di un collegio con competenze interdisciplinari combinate, che possano garantire, ad esempio, la risoluzione di controversie su interpretazione di elementi contrattuali controversi emerse in corso di esecuzione.

**

3.2 Composizione del C.C.T.

Il C.C.T. è formato, a scelta della Stazione Appaltante, da tre componenti o, in caso di motivata complessità dell'opera e di eterogeneità delle professionalità richieste, da cinque componenti.

La composizione «standard» del C.C.T. è di tre componenti. La composizione «straordinaria» con cinque componenti è possibile solo quando sussistano presupposti di complessità dell'opera e (contestualmente) di eterogeneità delle professionalità richieste per affrontare le problematiche.

La composizione «straordinaria» deve essere motivata. I componenti del C.C.T. devono essere:

- a) soggetti dotati di esperienza e qualificazione professionale adeguata alla tipologia dell'opera;
- b) individuati tra ingegneri, architetti, giuristi ed economisti;
- c) con comprovata esperienza nel settore degli appalti delle concessioni e degli investimenti pubblici, anche in relazione allo specifico oggetto del contratto e alla specifica conoscenza di metodi e strumenti elettronici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture (BIM), maturata per effetto del conseguimento di un dottorato di ricerca, oppure che siano in grado di dimostrare un'esperienza pratica e professionale di almeno dieci anni nel settore di riferimento.

La disposizione del d.l. n. 76/2020 individua quali componenti «tecnici» solo ingegneri e architetti, quindi figure in possesso di laurea e di abilitazione.

La gestione delle controversie e delle dispute tecniche comporta l'inclusione nel C.C.T. anche di giuristi (definizione molto ampia, che non comporta il riferimento ai soli avvocati) e di economisti (definizione altrettanto ampia, che non comporta il riferimento ai soli commercialisti), in ogni caso anch'essi individuabili in soggetti laureati.

Ogni componente deve essere in possesso di un dottorato di ricerca o di esperienza almeno decennale nel settore di riferimento (sia in ambito pubblico che privato).

**

3.3 Procedimento di individuazione e di nomina dei componenti del Collegio Consultivo Tecnico

I componenti del collegio possono essere scelti dalle parti di comune accordo, ovvero le parti possono concordare che ciascuna di esse nomini uno o due componenti e che il terzo o il quinto componente, con funzioni di presidente, sia scelto dai componenti di nomina di parte.

Ai sensi dell'art. 51, comma 1, lettera e), decreto-legge n. 77 del 2021 i componenti possono essere individuati anche tra il proprio personale dipendente ovvero tra persone legate alle parti da rapporti di lavoro autonomo o di collaborazione anche continuativa in possesso dei requisiti previsti dal primo periodo.

La Stazione appaltante può scegliere i componenti del C.C.T. tra suoi dipendenti (ma questi non devono ricoprire alcun ruolo con attività incidenti sull'esecuzione dell'appalto) o tra soggetti esterni (per i quali valgono gli stessi criteri di incompatibilità). In caso di scelta di comune accordo, la SA è tenuta a proporre i nominativi all'operatore economico tenendo conto dei vincoli di scelta.

La scelta dei componenti del C.C.T. da parte della SA deve avvenire nel rispetto dei principi di pubblicità, trasparen-

za, imparzialità.

Il tipo di attività svolta dal C.C.T. evidenzia l'apporto «personale» specifico dei componenti, quindi caratterizza il rapporto con la SA come rapporto di lavoro, pertanto come incarico professionale, che deve essere conferito nel rispetto dell'art. 7, commi 6 e 6-bis del d.lgs. n. 165/2001 e del regolamento sulle collaborazioni, quindi con procedura comparativa.

È possibile che la procedura di conferimento sia ottimizzata mediante la costituzione di elenchi di esperti, per varie macro-specializzazioni.

La scelta dei componenti del C.C.T. da parte della SA deve avvenire nel rispetto dei principi di pubblicità, trasparenza, imparzialità anche per quanto riguarda propri dipendenti. In tal caso è necessario che la procedura sia sviluppata nel rispetto di quanto previsto dall'art. 53 del d.lgs. n. 165/2001 e, pertanto, dai criteri per il conferimento di incarichi per attività extra-ufficio definiti dal regolamento sull'ordinamento degli uffici e dei servizi.

Nel caso in cui le parti non trovino un accordo sulla nomina del presidente entro il termine indicato al comma 1 dell'art. 5 del d.l. 76/2020, questo è designato entro i successivi cinque giorni dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti per le opere di interesse nazionale, dalle regioni, dalle province autonome di Trento e Bolzano o dalle città metropolitane per le opere di rispettivo interesse. La SA deve farsi parte attiva, unitamente all'Appaltatore, per richiedere al MIT, alla Regione o alla Città Metropolitana la designazione (tempestiva) del Presidente. In questo senso come si specificherà nel prosieguo l'istituto può comportare un aggravamento procedimentale e di costi, andando contro la *ratio* normativa per cui è stato istituito.

**

3.4 Compenso dei componenti del C.C.T. e divieto di nomina di consulenti d'ufficio

In base a quanto stabilito dall'art. 5, comma 7 del d.l. n. 76/2020, i componenti del C.C.T. hanno diritto a un compenso a carico delle parti e proporzionato al valore dell'opera, al numero, alla qualità e alla tempestività delle determinazioni assunte. In mancanza di determinazioni o pareri ad essi spetta un gettone unico onnicomprensivo.

Il compenso deve essere definito in accordo tra le parti, per evitare discrasie tra i componenti. In caso di ritardo nell'assunzione delle determinazioni è prevista una decurtazione del compenso stabilito in base al primo periodo da un decimo a un terzo, per ogni ritardo.

Il compenso è liquidato dal collegio consultivo tecnico unitamente all'atto contenente le determinazioni, salva la emissione di parcella di acconto, in applicazione delle tariffe richiamate dall'articolo 9 del decreto-legge 24 gennaio 2012, n. 1, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 marzo 2012, n. 27, aumentate fino a un quarto.

I compensi dei membri del collegio sono computati all'interno del quadro economico dell'opera alla voce spese impreviste.

Il comma 7 dell'art. 6 del d.l. n. 76/2020 stabilisce che non è ammessa la nomina di consulenti tecnici d'ufficio. I componenti del Collegio Consultivo Tecnico, in quanto esperti nei settori di riferimento, devono assolvere a tutte le funzioni richieste dagli articoli 5 e 6 dello stesso decreto, senza poter contare su ausili esterni.

Tale elemento determina, per le SA e gli OE, la scelta di esperti da inserire nel C.C.T. con un significativo livello di competenza e di esperienza.

**

3.5 Modalità di svolgimento delle attività del C.C.T.

Nell'adozione delle proprie determinazioni, il collegio consultivo può operare anche in videoconferenza o con qualsiasi altro collegamento da remoto e può procedere ad audizioni informali delle parti per favorire, nella risoluzione delle controversie o delle dispute tecniche eventualmente insorte, la scelta della migliore soluzione per la celere esecuzione dell'opera a regola d'arte.

Il collegio può altresì convocare le parti per consentire l'esposizione in contraddittorio delle rispettive ragioni.

Per l'operatività del collegio è richiesta l'interazione contestuale (come per tutti i collegi), che può aversi anche non in presenza.

Le attività istruttorie relative alle varie problematiche emerse in corso di esecuzione dell'appalto possono essere sviluppate anche singolarmente o per micro-gruppi, ma le attività di confronto con le parti (SA e OE appaltatore) e di formalizzazione delle decisioni devono essere svolte dal collegio nel suo «plenum».

Le decisioni devono essere formalizzate mediante determinazioni (quindi mediante atti espressi, poi recepiti dalla SA e dall'OE appaltatore nell'ambito del rapporto contrattuale).

**

3.6 Natura delle determinazioni del C.C.T.

Come accennato *supra* (v. par. 1), le determinazioni del C.C.T. hanno la natura del lodo contrattuale previsto

dall'articolo 808 *ter* del Codice di procedura civile, salva diversa e motivata volontà espressamente manifestata in forma scritta dalle parti stesse.

Il lodo deve essere quindi definito in forma espressa, sulla base della previsione contenuta nel contratto di appalto, regolativa del C.C.T. e dei suoi compiti. Le parti possono, con disposizione espressa per iscritto, stabilire che, in deroga a quanto disposto dall'articolo 824 *bis*, la controversia sia definita dagli arbitri mediante determinazione contrattuale.

Il lodo contrattuale è annullabile dal giudice competente secondo le disposizioni del libro I:

- 1) se la convenzione dell'arbitrato è invalida, o gli arbitri hanno pronunciato su conclusioni che esorbitano dai suoi limiti e la relativa eccezione è stata sollevata nel procedimento arbitrale;
- 2) se gli arbitri non sono stati nominati con le forme e nei modi stabiliti dalla convenzione arbitrale;
- 3) se il lodo è stato pronunciato da chi non poteva essere nominato arbitro a norma dell'articolo 812;
- 4) se gli arbitri non si sono attenuti alle regole imposte dalle parti come condizione di validità del lodo;
- 5) se non è stato osservato nel procedimento arbitrale il principio del contraddittorio. Al lodo contrattuale non si applica l'articolo 825.

Salva diversa previsione di legge, le determinazioni del collegio consultivo tecnico sono adottate con atto sottoscritto dalla maggioranza dei componenti, entro il termine di quindici giorni decorrenti dalla data della comunicazione dei quesiti, recante succinta motivazione, che può essere integrata nei successivi quindici giorni, sottoscritta dalla maggioranza dei componenti.

In caso di particolari esigenze istruttorie le determinazioni possono essere adottate entro venti giorni dalla comunicazione dei quesiti. Le decisioni sono assunte **a maggioranza**.

L'art. 6, co. 3, così come modificato dall'art.51, comma 1, lettera e), del decreto-legge n. 77 del 2021, prevede inoltre che quando il provvedimento che definisce il giudizio corrisponde interamente al contenuto della determinazione della collegio consultivo, il giudice esclude la ripetizione delle spese sostenute dalla parte vincitrice che non ha osservato la determinazione, riferibili al periodo successivo alla formulazione della stessa, e la condanna al rimborso delle spese sostenute dalla parte soccombente relative allo stesso periodo, nonché al versamento all'entrata del bilancio dello Stato di un'ulteriore somma di importo corrispondente al contributo unificato dovuto. Resta ferma l'applicabilità degli articoli 92 e 96 del codice di procedura civile.

L'inosservanza delle determinazioni del collegio consultivo tecnico viene valutata ai fini della responsabilità del soggetto agente per danno erariale e costituisce, salvo prova contraria, grave inadempimento degli obblighi contrattuali.

L'osservanza delle determinazioni del collegio consultivo tecnico è causa di esclusione della responsabilità del soggetto agente per danno erariale, salvo il dolo.

**

3.7 Condizioni di «incompatibilità funzionale» e «sanzioni»

Ogni componente del collegio consultivo tecnico non può ricoprire più di cinque incarichi contemporaneamente e comunque non può svolgere più di dieci incarichi ogni due anni.

In caso di ritardo nell'adozione di tre determinazioni o di ritardo superiore a sessanta giorni nell'assunzione anche di una sola determinazione, i componenti del collegio non possono essere nuovamente nominati come componenti di altri collegi per la durata di tre anni decorrenti dalla data di maturazione del ritardo.

Il ritardo ingiustificato nell'adozione anche di una sola determinazione è causa di decadenza del collegio e, in tal caso, la stazione appaltante può assumere le determinazioni di propria competenza prescindendo dal parere del collegio.

La costituzione obbligatoria del C.C.T. comporta, in tal caso, l'avvio di un processo per la nomina di un nuovo collegio consultivo tecnico.

4. CRITICITÀ

4.1 Mancata istituzione del C.C.T.: *quid iuris?*

Limitatamente al Collegio obbligatorio (sopra soglia), la norma del decreto Semplificazioni prevede le modalità di costituzione del C.C.T. senza fare però alcun riferimento alle conseguenze di un ritardo o di una mancata costituzione dello stesso.

Ove il Collegio non venga istituito per mancato accordo o avvenga in ritardo non è prevista infatti una sanzione ma l'art. 6, co. 3, prevede che: «*L'inosservanza delle determinazioni del Collegio Consultivo Tecnico viene valutata ai fini della responsabilità del soggetto agente per danno erariale e costituisce, salvo prova contraria, grave inadempimento degli obblighi contrattuali*»

Per l'operatore economico ciò si traduce in inosservanza dell'obbligo di leale collaborazione idoneo a giustificare la risoluzione del contratto.

4.2. La natura delle determinazioni

A mente dell'art.6, co. 3, decreto Semplificazioni, le determinazioni del C.C.T. hanno la natura di lodo contrattuale *ex art. 808 ter c.p.c.*, salva diversa e motivata volontà espressamente manifestata in forma scritta dalle parti stesse (la norma non chiarisce in quale momento debba essere manifestata tale motivata volontà. Potrebbe ritenersi che tale volontà sia da definirsi prima della formalizzazione delle determinazioni).

I provvedimenti assunti dal collegio hanno valenza negoziale e di fatto integrano le pattuizioni del contratto siglato tra le parti. A rafforzare questa tesi vale quanto previsto dalla norma «*l'inosservanza delle determinazioni è valutata ai fini della responsabilità per danno erariale e costituisce, salvo prova contraria, grave inadempimento degli obblighi contrattuali*» (v. comma 3)

La valenza della decisione costituisce il **fulcro dell'istituto**, che lo differenzia dagli altri strumenti previsti per la soluzione anticipata delle controversie, accordo bonario *in primis* che, proprio per la mancata vincolatività nei confronti delle parti, ha perso attrattiva nel proprio utilizzo. Le integrazioni operate sul contratto dalle determinazioni implicano la modifica dell'accordo, il mancato rispetto delle stese naturalmente si traduce in violazione del contratto.

L'osservanza delle determinazioni da parte della s.a. costituisce causa esclusione da responsabilità per danno erariale, salvo il dolo.

Ciò comporta, dunque, una deroga al divieto gravante sulla P.A. di avvalersi dell'arbitrato irrituale o libero per la risoluzione delle controversie derivanti dai contratti di appalto pubblico (Cass. civ., 7759/2020; Cass. civ., 28533/2018).

Secondo la giurisprudenza la formazione della volontà contrattuale della P.A. non può essere delegata a terzi estranei giacché il perseguimento dell'interesse pubblico verrebbe affidato a soggetti sottratti a ogni controllo.

Al riguardo, vale chiarire che con l'arbitrato rituale, le parti hanno inteso demandare agli arbitri una funzione sostitutiva di quella del giudice: deroga alla competenza del giudice ordinario che ha natura eccezionale.

Con l'arbitrato irrituale, le parti hanno inteso demandare agli arbitri la soluzione di determinate controversie in via negoziale come apprezzamenti tecnici (Cass. civ., Sez. II, 28.6.2000, n. 8788). A sostegno e a favore della scelta operata dal legislatore (natura di lodo contrattuale) si potrebbe rilevare che il procedimento ne gioverebbe in termini di celerità.

Aspetti problematici di tale scelta, tuttavia, sono i seguenti.

i) L'impugnazione del lodo irrituale è strettamente limitata (vizi di cui all'art. 808 *ter* c.p.c.: es. vizi di nomina o mancanza requisiti).

ii) Si pongono dubbi di compatibilità con il diritto dell'Unione e con la Costituzione in relazione ai limitati mezzi di impugnazione (il lodo irrituale è impugnabile dinanzi al Tribunale ma sulla base dei soli vizi indicati nell'art 808 *ter* c.p.c. mentre non parrebbe applicabile l'art. 1349 c.c. impugnazione per manifesta iniquità o erroneità della determinazione del terzo).

iii) Le determinazioni del collegio non appaiono impugnabili per motivi di fatto e di diritto con una forte compressione del diritto di difesa.

5. Conclusioni

La prassi applicativa dell'istituto (proiettata, ad oggi, sino al 30 giugno 2023) ci dirà come superare le evidenziate criticità e i dubbi operativi, auspicando comunque interventi delle Autorità regolatorie (MIT, Anac) nonché un significativo utilizzo del Collegio Consultivo tecnico, che può rappresentare un significativo banco di prova dei saperi tecnici e giuridici finalizzati alla definizione (e anche alla prevenzione) dei contenziosi negli appalti di lavori ed opere pubbliche.

