



Co-funded by  
the European Union



# Potere alle Comunità con *la Citizen Science*

**Strumenti per monitorare l'impatto dell'industria  
fossile e promuovere il cambiamento**



*Illustrations by Storyset*



## ERICA – Environmental monitoRIng through Civic engAgement

Il progetto ERICA è una collaborazione tra l'Università Erasmus di Rotterdam, l'Università di Barcellona, l'Università Adam Mickiewicz, Source International, l'Associazione Europea per la Democrazia Locale (ALDA), Cova Contro e Social IT. Il progetto ha ricevuto finanziamenti dal programma dell'Unione Europea Erasmus+ 2023 nell'ambito dell'accordo di sovvenzione n. 2023-1-NL01-KA220-ADU-000154929.

Pubblicato online a maggio 2025

**Coordinato e curato** da Rachele Ossola (Source International).

**Formato** da Eleonora Tassan, Michele Maistrelli e Rosalia Giuga (Social IT).

**Autori:** Rachele Ossola, Diana Alonso, Flaviano Bianchini, Karolina Dziubata-Smykowska, Laura Grassi, Marek Jaskólski, Aleksandra Lis-Plesińska, Clara Masetti, Gorka Muñoa, Martí Orta-Martínez, Lina Pita, Lorenzo Pellegrini, Neus Roig, Giorgio Santoriello e Francesca Savoldi.

**Revisionato** da Alice Lazzarin, Alessia Marzotto e tutti gli autori.

**Tradotto** da Sofia Farina e Rachele Ossola (Source International).

Questo documento è da citare come: R. Ossola, D. Alonso, F. Bianchini, K. Dziubata-Smykowska, L. Grassi, M. Jaskólski, A. Lis-Plesińska, C. Masetti, G. Muñoa, M. Orta-Martínez, L. Pita, L. Pellegrini, N. Roig, G. Santoriello, and F. Savoldi (2024), *Potere alle Comunità con la Citizen Science – Strumenti per monitorare l'impatto dell'industria fossile e promuovere il cambiamento*. Progetto ERICA, <https://www.ericaproject.eu/>

Questo documento è disponibile online al link:  
<https://www.ericaproject.eu/project/#ebooklet>

Tutte le figure sono state create da Rachele Ossola, Eleonora Tassan, Michele Maistrelli e Rosalia Giuga e possono essere riutilizzate con la dovuta attribuzione.

Questo progetto ha ricevuto finanziamenti dal programma Erasmus+ 2023 dell'Unione Europea ai sensi della convenzione di sovvenzione n. 2023-1-NL01-KA220-ADU-000154929. Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.



# Indice

---

<b>Indice</b>	<b>2</b>
<b>1. Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>2. Cosa sono i combustibili fossili e come vengono estratti?</b>	<b>6</b>
2.1. Cosa sono i combustibili fossili?	7
2.2 Petrolio e gas – Estrazione e lavorazione	9
2.2.1 Estrazione	9
2.2.2 Lavorazione del petrolio – Raffinazione	10
2.2.3 Lavorazione del petrolio – Impianti petrolchimici	12
2.3 Carbone – Estrazione e lavorazione	12
<b>3. Qual è l'impatto ambientale dell'industria dei combustibili fossili?</b>	<b>14</b>
3.1 Quali sono gli inquinanti emessi dalle industrie dei combustibili fossili?	15
3.1.1 Panoramica per matrice ambientale	15
3.1.2 Panoramica per tipo di combustibile fossile e fase del processo	18
3.2 Quanto sono pericolose queste sostanze?	22
3.2.1 Effetti sulla salute umana – a quali inquinanti dobbiamo prestare attenzione?	22
3.2.2 Standard e linee guida di qualità ambientale: a quali concentrazioni dobbiamo preoccuparci?	25
<b>4. Quali sono gli strumenti che i cittadini possono utilizzare per monitorare la salute del loro ambiente?</b>	<b>31</b>
4.1 Strumenti per il monitoraggio dell'aria	35
4.1.1 Sensori commerciali a basso e medio costo	35
4.1.2 Sensori fai-da-te	36
4.1.3 Campionatori commerciali e fai-da-te	37
4.1.4 Altri approcci	39
4.2 Strumenti per il monitoraggio dell'acqua	40



4.2.1 Kit commerciali a basso costo	40
4.2.2 Sensori commerciali a basso costo	41
4.2.3 Altri approcci	41
<b>5. Come usare i dati per stimolare un cambiamento</b>	<b>43</b>
5.1 Cos'è la <i>actionable knowledge</i> ?	44
5.2 Come è possibile <i>attivare</i> i dati ambientali per creare un cambiamento?	45
<b>6. Alcuni esempi per farsi ispirare, in Europa e nel mondo</b>	<b>48</b>
6.1 Il complesso petrolchimico di Tarragona	50
6.1.1 Il problema	50
6.1.2 Le iniziative	51
6.1.3 I risultati	52
6.2 La raffineria Sarlux	53
6.2.1 Il problema	53
6.2.2 L'iniziativa	54
6.2.3 I risultati	54
6.3 Estrazione di carbone in Polonia	55
6.3.1 Il problema	55
6.3.2 L'iniziativa e i risultati attesi	56
6.4 Esempi virtuosi al di fuori dell'Europa	57
6.4.1 Vietare il <i>gas flaring</i> in Ecuador	58
6.4.2 Migliorare le pratiche di estrazione del carbone in Myanmar	59
<b>7. Riferimenti selezionati e letture consigliate</b>	<b>62</b>
Sezione 2	63
Sezione 3	63
Sezione 4	64
Sezione 5	65
Sezione 6	65



Illustrations by Storyset



# 1. Introduzione

---



L'industria dei combustibili fossili è diventata sempre più centrale per l'equilibrio geopolitico e lo stile di vita moderno: abbiamo bisogno di gas naturale per riscaldare le nostre case, di benzina per guidare le nostre auto e di plastica per quasi tutto. Nonostante i significativi progressi nella legislazione ambientale e nelle tecniche industriali che hanno caratterizzato gli ultimi decenni, l'estrazione e la lavorazione di petrolio, gas e carbone continuano ad essere attività altamente inquinanti anche nei paesi sviluppati. Le comunità che vivono vicino agli impianti di combustibili fossili – che si trovino nelle aree più remote dell'Amazzonia ecuadoriana o nei porti più trafficati d'Europa – devono sopportare odori fastidiosi, degrado ambientale, problemi di salute e i conseguenti gravi impatti sulla società locale.

Negli ultimi due decenni, la *citizen science* (o scienza partecipata) è emersa come uno strumento potente per raccogliere dati scientifici, al contempo educando e responsabilizzando i partecipanti. La *citizen science* coinvolge persone comuni nella definizione degli obiettivi del progetto, nella raccolta e analisi dei dati e nella condivisione dei risultati – esistono diversi livelli di coinvolgimento che si adattano al tempo, agli interessi e alle esigenze dei partecipanti. Questo approccio partecipativo alla scienza è già stato utilizzato da migliaia di comunità per raccogliere prove indipendenti sul degrado ambientale, sostenere campagne dal basso, interagire con politici e istituzioni, avviare indagini accademiche e sensibilizzare la società locale.

In questo contesto, [ERICA](#) – Environmental monitoRING through Civic engAgement – si propone di educare i cittadini che vivono vicino alle industrie di combustibili fossili, rendendoli in grado di svolgere monitoraggi ambientali indipendente e utilizzare queste informazioni per creare un cambiamento positivo. Questo progetto ERASMUS+ coinvolge istituzioni accademiche ([Erasmus University Rotterdam](#), [l'Università di Barcellona](#) e [l'Università Adam Mickiewicz](#)), organizzazioni non governative e della società civile ([Cova Contro](#),



[Source International](#) e [L'Associazione Europea per la Democrazia Locale \(ALDA\)](#)), partner tecnici ([Social IT](#)) e gruppi di interesse nei siti pilota di Tarragona (Spagna), Val d'Agri (Italia) e nella regione mineraria di Konin (Polonia). Attivo da novembre 2023 a novembre 2026, il progetto produrrà materiale educativo gratuito sul monitoraggio partecipativo, applicando i vari strumenti in iniziative di scienza partecipata nei tre siti pilota.

Questo e-booklet – primo risultato del progetto – raccoglie strumenti e buone pratiche per realizzare iniziative di *citizen science* che massimizzino il cambiamento sociale, focalizzandosi sull'estrazione e la lavorazione di gas naturale, petrolio e carbone in Europa. La pubblicazione è il frutto di un'approfondita revisione della letteratura condotta dai partner durante il primo anno di progetto e costituisce il punto di partenza per lo sviluppo della metodologia formativa e della piattaforma di e-learning ERICA.

Il booklet è articolato in sette parti. Dopo l'introduzione, la [Sezione 2](#) fornisce informazioni di base sui combustibili fossili – cosa sono e come vengono lavorati. La [Sezione 3](#) analizza i principali inquinanti emessi durante la loro estrazione e lavorazione, gli impatti sulla salute umana e l'ambiente, e la legislazione europea e le linee guida esistenti per proteggerci. La [Sezione 4](#) presenta una panoramica sugli strumenti e le tecnologie a basso prezzo adatti ad iniziative di *citizen science* atte a misurare gli impatti ambientali delle industrie dei combustibili fossili. La [Sezione 5](#) descrive buone pratiche per massimizzare la quantità di *conoscenza praticabile* (“*actionable knowledge*”) prodotta nei progetti di scienza partecipata. Infine, la [Sezione 6](#) presenta esempi virtuosi di progetti che si sono svolti o si stanno svolgendo in comunità colpite dallo sfruttamento dei combustibili fossili. Le pubblicazioni, i libri, i siti web più rilevanti da cui abbiamo tratto informazioni sono incorporati come collegamenti ipertestuali o elencati nella [Sezione 7](#).



Illustrations by Storyset



## 2. Cosa sono i combustibili fossili e come vengono estratti?

---



Questa sezione offre una panoramica sui concetti di base relativi a petrolio, gas e carbone: cosa sono, come si formano e come vengono lavorati a livello industriale. Oltre a fornire conoscenze di base, queste informazioni aiutano a comprendere gli impatti ambientali associati a ciascuna fase della lavorazione – e a spiegare perché, ad esempio, i residenti intorno al complesso petrolchimico di Tarragona sono preoccupati per le emissioni di 1,3-butadiene ([Sezione 6.1](#)) ma non per la conducibilità dell'acqua fluviale, che invece rappresenta la principale preoccupazione dei cittadini dell'area mineraria dell'Alta Slesia ([Sezione 6.3](#)). I riferimenti bibliografici di questo capitolo si trovano nella [Sezione 7](#).

## 2.1. Cosa sono i combustibili fossili?

I combustibili fossili sono materiali ricchi di carbonio che si accumulano nel sottosuolo attraverso il processo geologico di decomposizione degli organismi morti. A seconda del tipo di organismi e delle condizioni di trasformazione, i combustibili fossili si presentano in forma gassosa, liquida o solida e sono noti rispettivamente come gas naturale, petrolio e carbone. Sebbene la loro composizione chimica possa variare anche in modo significativo, queste sostanze contengono tutte carbonio (insieme a idrogeno, zolfo, ossigeno e azoto) e rilasciano calore quando vengono bruciate.

**Gas naturale e petrolio** si formano generalmente insieme, anche se in un dato giacimento uno dei due risulta spesso predominante. Entrambi hanno origine dal plancton che popolava i mari caldi e poco profondi milioni di anni fa. Dopo la morte, il plancton si è depositato sul fondale oceanico ed è stato progressivamente ricoperto da sedimenti. Con il passare del tempo, il calore e la pressione hanno trasformato questi depositi prima in kerogene e poi in petrolio. Il petrolio è poi diffuso lentamente all'interno di rocce porose fino ad essere intrappolato da strati impermeabili, formando così un

giacimento (Figura 1, in alto). I giacimenti hanno sempre una composizione eterogenea e includono sia gas (ad esempio, metano) che liquidi (idrocarburi e acqua). Come vedremo in seguito (Sezione 2.2.1), l'acqua presente nei giacimenti rappresenta uno degli scarti principali del processo di estrazione del petrolio.

Il **carbone** si è formato nelle foreste paludose durante il periodo Carbonifero, tra 300 e 350 milioni di anni fa. Alberi morti sono caduti nelle paludi, dove la mancanza di ossigeno ne ha impedito la decomposizione. Con il passare del tempo, questi alberi si sono trasformati prima in torba e poi in diverse tipologie di carbone: lignite, carbone sub-bituminoso, carbone bituminoso e antracite (Figura 1, in basso). Oltre al carbonio, il carbone contiene anche zolfo, il cui contenuto risulta un fattore cruciale sia per il processo di lavorazione che per il suo impatto ambientale. Il carbone contiene inoltre piccole quantità di metano e altri composti organici volatili, che vengono rilasciati in atmosfera durante il processo di estrazione.



Source: <https://www.yaclass.in/p/science-cbse/class-8/coal-and-petroleum-18085/different-types-of-natural-resources-4963/re-5b0f4cd9-5f99-4128-98d4-5dcace8dfc25>

**Figura 1** Schema della formazione di gas naturale, petrolio e carbone.



## 2.2 Petrolio e gas – Estrazione e lavorazione

### 2.2.1 Estrazione

Dopo la scoperta di un giacimento petrolifero, gli ingegneri scavano un primo pozzo per valutare la qualità e la quantità degli idrocarburi presenti. Se i risultati sono favorevoli, viene costruito un impianto di estrazione, ovvero una serie di pozzi progettati per estrarre petrolio (o gas) in modo efficiente. Il funzionamento dell'impianto dipende dalla composizione della miscela di idrocarburi e dalla fase di estrazione.

Nella fase iniziale di estrazione, l'alta pressione sotterranea spinge gas e petrolio "naturalmente" verso la superficie. Questo metodo permette di estrarre fino al 90% del gas naturale e il 30% del petrolio presente inizialmente nel giacimento. Nella seconda fase, gas e acqua vengono iniettati nei pozzi per recuperare un ulteriore 10-15% del petrolio totale. L'ultima fase prevede l'uso di emulsioni e solventi chimici, che vengono pompati nel sottosuolo per estrarre un altro 10-15% del petrolio presente inizialmente.

Una volta estratto, il materiale grezzo viene stabilizzato e inviato ad una raffineria tramite oleodotti o via mare. Il processo di stabilizzazione prevede la separazione dei liquidi dal gas, seguita dalla rimozione dell'acqua (disidratazione), dell'idrogeno solforato (desolforazione) e dei sali (desalinizzazione). Il gas rimosso contiene metano e idrocarburi leggeri e può essere trattato per la vendita o eliminato tramite **combustione in torcia** (Box 1). La disidratazione produce **acque reflue** ricche di sali, idrocarburi, metalli pesanti, radionuclidi e – se derivanti dalla terza fase di estrazione – solventi organici ed emulsionanti. Queste acque reflue vengono trattate e generalmente re-iniettate nel sottosuolo.



### **Box 1.** La combustione in torcia (*gas flaring*) e i suoi impatti ambientali

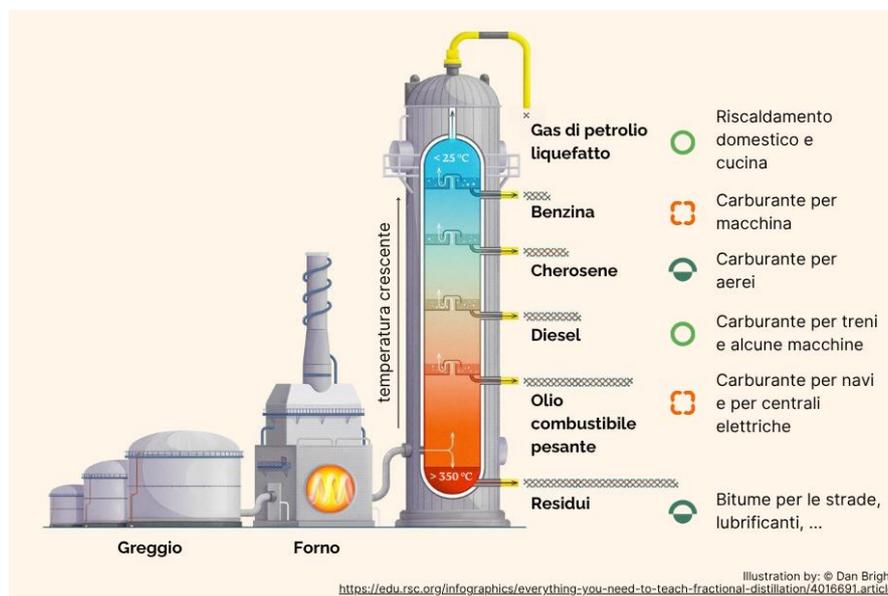
La combustione in torcia (*gas flaring* in inglese) è una pratica controversa che consiste nel bruciare il gas che viene rilasciato durante l'estrazione del petrolio invece di trattarlo o trasportarlo – questo perché non tutte le aziende hanno le infrastrutture necessarie per trattare i gas che sono sempre presenti nei giacimenti insieme agli idrocarburi liquidi (Figura 1, in alto). In modo controllato, tutti gli impianti di estrazione utilizzano la combustione in torcia (o lo sfiato) come misura di sicurezza per evitare pericolosi accumuli di pressione. La combustione in torcia trasforma il gas di scarto in CO<sub>2</sub>, contribuendo a circa l'1% del riscaldamento globale. Tuttavia, rilasciare il gas senza bruciarlo è ancora peggiore: il metano, il principale gas presente nei giacimenti, è un gas serra molto più potente della CO<sub>2</sub>. La combustione in torcia emette inoltre inquinanti come il carbonio nero (*black carbon*, un componente del particolato atmosferico) e il biossido di zolfo, peggiorando la qualità dell'aria e contribuendo all'acidificazione del suolo e delle acque. Infine, questa pratica rappresenta uno spreco di risorse naturali: se raccolti, i 150 miliardi di m<sup>3</sup> di gas bruciati in torcia ogni anno potrebbero soddisfare il fabbisogno energetico dell'intero continente africano. Nel 2015, la Banca Mondiale ha lanciato un pledge per eliminare completamente questa pratica entro il 2030, ma gli sforzi per raggiungere questo obiettivo risultano ad ora insufficienti.

## 2.2.2 Lavorazione del petrolio – Raffinazione

Dopo l'estrazione e il pretrattamento, il greggio viene inviato alle raffinerie, che lo trasformano in una ricca varietà di prodotti. Il processo di raffinazione inizia riscaldando il greggio fino a 400°C alla



base di una torre di raffinazione (Figura 2). Man mano che il petrolio si riscalda, i suoi componenti evaporano e salgono. Quando raggiungono un'altezza corrispondente alla loro temperatura di condensazione, si raffreddano e vengono raccolti. Questo processo – chiamato frazionamento degli idrocarburi – separa gruppi di idrocarburi in base al loro punto di ebollizione, una proprietà che dipende dal numero di atomi di carbonio. Gli idrocarburi leggeri, come il propene e il butene, vengono raccolti sotto forma di gas nella parte superiore della torre, mentre quelli più pesanti rimangono nella parte inferiore e vengono ulteriormente separati in carburanti, lubrificanti e altri prodotti. Dopo il frazionamento, tutte le miscele risultanti subiscono ulteriori processi chimici come il cracking, l'alchilazione e il reforming, che ne modificano la composizione chimica e li trasformano in prodotti utilizzabili.



**Figura 2** Frazionamento del petrolio greggio in una torre di raffinazione. Le varie frazioni vengono raccolte e successivamente lavorate per ottenere carburanti, materie prime e altri prodotti di uso quotidiano.

Poiché il processo di lavorazione del petrolio greggio richiede molta energia, le raffinerie di solito dispongono di una loro **centrale elettrica**, che funziona con combustibili liquidi e gassosi e con i sottoprodotti del processo di raffinazione. Come negli impianti di estrazione, anche nelle



raffinerie possono essere presenti unità di **combustione in torcia** per motivi di sicurezza.

### 2.2.3 Lavorazione del petrolio – Impianti petrolchimici

Dopo la raffinazione, i prodotti a base di petrolio possono essere inviati a un impianto petrolchimico per ulteriori lavorazioni. Questi impianti utilizzano qualsiasi materia prima derivante dai combustibili fossili per produrre una vasta gamma di prodotti: plastiche, gomme, tessuti, medicinali e pesticidi. Poiché le opzioni sono molte, è difficile fornire una descrizione generale del processo e degli impatti ambientali attesi.

Poiché sfruttano i prodotti finali della raffinazione, i grandi impianti petrolchimici sono spesso situati vicino alle raffinerie, come nel caso di Tarragona ([Sezione 6.1](#)) e Marsiglia.

## 2.3 Carbone – Estrazione e lavorazione

Il carbone può trovarsi vicino alla superficie terrestre o in profondità. I giacimenti superficiali vengono sfruttati utilizzando metodi come le miniere a cielo aperto, le miniere “a contorno” o l'estrazione tramite rimozione della cima della montagna. Al contrario, il carbone presente sottoterra viene estratto mediante il mining a lungo raggio o il mining a stanze e pilastri. In generale, l'estrazione sotterranea richiede più personale e presenta un rischio professionale maggiore rispetto all'estrazione superficiale: negli Stati Uniti, è uno dei lavori più pericolosi che si possano fare.

Dopo l'estrazione, il carbone viene frantumato e ridotto in dimensioni adatte ad essere bruciato. La maggior parte del carbone, specialmente se ricca di zolfo, deve essere lavato con acqua o solventi chimici prima della lavorazione. Questo lavaggio può rimuovere fino al 40% dello zolfo inorganico, riducendo la quantità di anidride solforosa rilasciata durante la combustione ma generando **acque reflue**. Se non gestite



correttamente, queste acque possono danneggiare l'ecosistema a causa della loro acidità, dell'elevato contenuto di metalli pesanti e, spesso, della loro elevata conduttività. Le acque reflue vengono anche generate quando le acque sotterranee invadono la miniera durante gli scavi (ad esempio, [Sezione 6.3](#)). Oltre all'acqua, la lavorazione del carbone produce grandi quantità di **rifiuti solidi** che devono essere smaltiti correttamente – i rifiuti di carbone possono andare in auto-combustione e produrre drenaggio acido (ad esempio, [Sezione 6.4.2](#)). Alcuni di questi impatti persistono oltre la durata della miniera, richiedendo una completa dismissione e bonifica a termine del contratto di concessione.

Nella fase finale del processo, il carbone viene bruciato per generare elettricità. Questo step viene spesso effettuato in una centrale termoelettrica situata nelle vicinanze della miniera per ridurre i costi di trasporto. Rispetto al gas e al petrolio, la combustione del carbone tende a produrre maggiori quantità di particolato e a rilasciare più metalli pesanti, in particolare mercurio. Il residuo di combustione, noto come **cenere volante** (*fly ash*), è anch'esso ricco di metalli pesanti e deve essere smaltito adeguatamente per evitare danni all'ambiente.



Illustrations by Storyset



### 3. Qual è l'impatto ambientale dell'industria dei combustibili fossili?

---



## 3.1 Quali sono gli inquinanti emessi dalle industrie dei combustibili fossili?

Sebbene gli impatti *globali* dei combustibili fossili in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> siano noti a tutti, le comunità che vivono vicino agli impianti di estrazione e lavorazione devono affrontare un ulteriore insieme di preoccupazioni ambientali e sanitarie. Questa sezione riassume i principali inquinanti che ci si può aspettare nelle vicinanze di queste strutture. Questa panoramica si basa sull'Inventario delle Emissioni di Inquinanti Atmosferici EMEP/EEA (edizione 2023; [EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook](#)) e sulle discussioni emerse durante gli incontri con i focus group; si riferisce principalmente agli inquinanti emessi durante le operazioni regolari, non gli incidenti. Gli incidenti rilasciano tutti gli inquinanti di cui parleremo ma in concentrazioni significativamente più elevate, con effetti drammatici e duraturi sulle comunità locali. Oltre a sostanze chimiche specifiche, tutte le attività di estrazione e lavorazione comportano anche impatti ambientali più ampi, come il cambiamento del microclima, la riduzione dei livelli delle acque sotterranee e superficiali, la deformazione del suolo e le frane.

### 3.1.1 Panoramica per matrice ambientale

L'estrazione e la lavorazione dei combustibili fossili **impattano principalmente l'aria**, anche se possono danneggiare anche i corpi idrici e gli ecosistemi terrestri.

I **composti organici volatili** (COV) sono i principali inquinanti atmosferici *specifici* delle industrie dei combustibili fossili. I COV sono sostanze chimiche contenenti carbonio e che si trovano principalmente in forma gassosa a temperatura e pressione ambiente – nonostante alcuni composti possano finire anche in acqua e nel suolo. Metano, benzene, toluene e idrocarburi policiclici aromatici (IPA) appartengono tutti a questa categoria (**Box 2**). Fasi specifiche



della raffinazione del petrolio e della combustione del carbone rilasciano anche gas contenenti zolfo come il **biossido di zolfo** ( $\text{SO}_2$ ) e l'**idrogeno solforato** ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Specifici COV e sostanze chimiche contenenti zolfo sono i principali responsabili dei **cattivi odori** frequentemente segnalati nelle aree industriali.

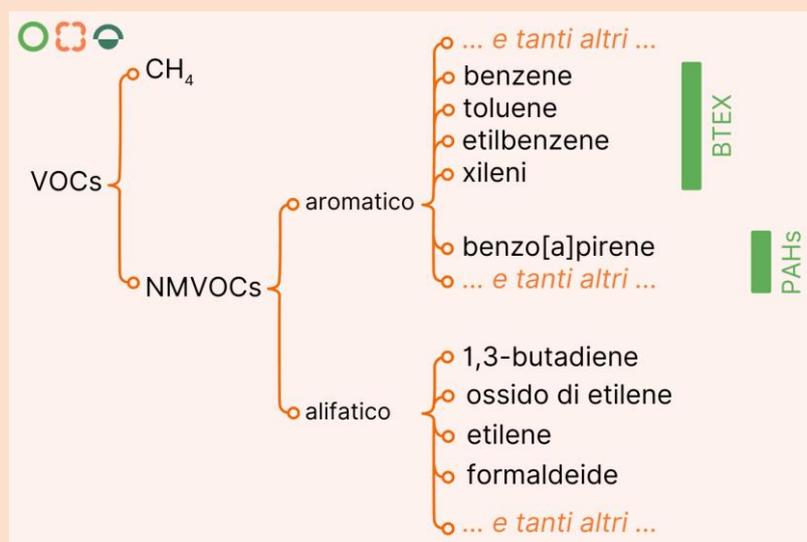
Le industrie dei combustibili fossili rilasciano anche inquinanti che in generale possiamo associare alle combustioni, come le **polveri sottili** o **particolato** (PM, dall'inglese *particulate matter*), gli ossidi di azoto ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ , indicati collettivamente come  **$\text{NO}_x$** ),  **$\text{SO}_2$** , il monossido di carbonio e la  $\text{CO}_2$ . Queste industrie emettono anche **metalli pesanti**, sia sotto forma di gas (come, ad esempio, il mercurio) che come componenti del particolato. La composizione esatta degli inquinanti dipende da fattori come il tipo di combustibile, la sua composizione chimica specifica e le caratteristiche tecniche del processo industriale (vedi la [Sezione 3.1.2](#)).

### Box 2. Cosa sono i composti organici volatili (COV)?

I composti organici – sostanze chimiche contenenti solo carbonio (C), idrogeno (H) e, talvolta, ossigeno, azoto e zolfo – comprendono migliaia di specie con una vasta gamma di proprietà. A causa di questa varietà, classificare queste molecole è molto complesso. In questa pubblicazione, definiamo i composti organici volatili (COV) come quelle molecole presenti principalmente in fase gassosa a temperatura e pressione ambientale – sebbene alcuni di questi composti possano essere trovati anche nell'acqua e nel suolo (Box 3). I COV includono il metano ( $\text{CH}_4$ ) e altri composti collettivamente noti come composti organici volatili non metanici (COVNM). I COVNM comprendono composti alifatici come il 1,3-butadiene, l'ossido di etilene, l'etilene e la formaldeide, e sostanze chimiche aromatiche come il benzene (B), il toluene (T), l'etilbenzene (E), gli



xileni (X) e gli idrocarburi aromatici policiclici (IPA) come il benzo[a]pirene. Gli idrocarburi non metanici sono un altro termine incontrato comunemente nella letteratura sull'inquinamento da petrolio, e fa riferimento a molecole composte solo da carbonio e idrogeno. Ad esempio, sono idrocarburi non metanici il 1,3-butadiene ( $C_4H_6$ ) e l'etilene ( $C_2H_4$ ), ma non l'ossido di etilene ( $C_2H_4O$ ) e la formaldeide ( $CH_2O$ ), che contengono anche ossigeno (O). Per evitare confusioni, questa pubblicazione adotta la classificazione mostrata nella Figura 3.



**Figura 3** Classificazione semplificata dei composti organici volatili adottata nell' e-booklet. Gli acronimi sono spiegati nel testo.

Le industrie dei combustibili fossili possono anche inquinare gli **ecosistemi acquatici** – tuttavia, durante le operazioni regolari, questo riguarda principalmente le acque reflue generate durante l'estrazione e la pre-lavorazione. A seconda della geologia locale, del tipo di combustibile e della fase del processo, queste acque reflue possono contenere livelli elevati di **sali** (spesso cloruro di sodio), **acidi** (principalmente acido solforico), **metalli pesanti**, **sostanze chimiche organiche** ed **elementi radioattivi** (principalmente radio). I composti organici possono derivare dal combustibile (chiamati idrocarburi totali del petrolio o TPH; vedi il **Box 3**) o dagli additivi utilizzati durante



l'estrazione del petrolio. Se non gestite correttamente, queste acque possono infiltrarsi nei corpi idrici vicini, nelle acque sotterranee e negli ecosistemi terrestri, causando significativi danni ambientali.

### **Box 3.** Cosa sono gli idrocarburi totali del petrolio (TPH)?

TPH è un altro acronimo che si riferisce a un insieme mal definito di sostanze chimiche. Come i prodotti della raffinazione del petrolio ([Sezione 2.2.2](#) e Figura 2), i TPH vengono classificati in base al numero di atomi di carbonio. Ad esempio, i "composti nella gamma della benzina" contengono da 6 a 10 atomi di carbonio, mentre i "composti nella gamma del diesel" ne contengono da 10 a 22. Questi due sottogruppi includono i BTEX (nella benzina) e gli IPA (nel diesel), sostanze chimiche che vengono rilevate *principalmente* nell'aria (come parte dei COV non metanici; vedi il Box 2), ma che si possono trovare anche nell'acqua e nel suolo.

### 3.1.2 Panoramica per tipo di combustibile fossile e fase del processo

Sebbene i processi di estrazione e lavorazione dei combustibili fossili rilasci delle miscele relativamente costanti e caratteristiche di inquinanti, ogni tipologia di combustibile e fase di trattamento ha una "impronta" di emissione unica. Comprendere l'origine di questa "impronta" può aiutare i cittadini a identificare le sostanze a cui dare priorità nelle loro iniziative di monitoraggio comunitario.

La [Figura 4](#) (in alto) evidenzia i principali inquinanti atmosferici rilasciati durante **l'estrazione e la lavorazione del petrolio e del gas naturale**. I **COV** derivanti dalle perdite di gas, dallo sfiato, dal trattamento delle acque reflue e dalla stabilizzazione del greggio risultano le principali emissioni in aria nella fase di estrazione. Negli impianti che adottano pratiche di *gas flaring*, si possono aspettare

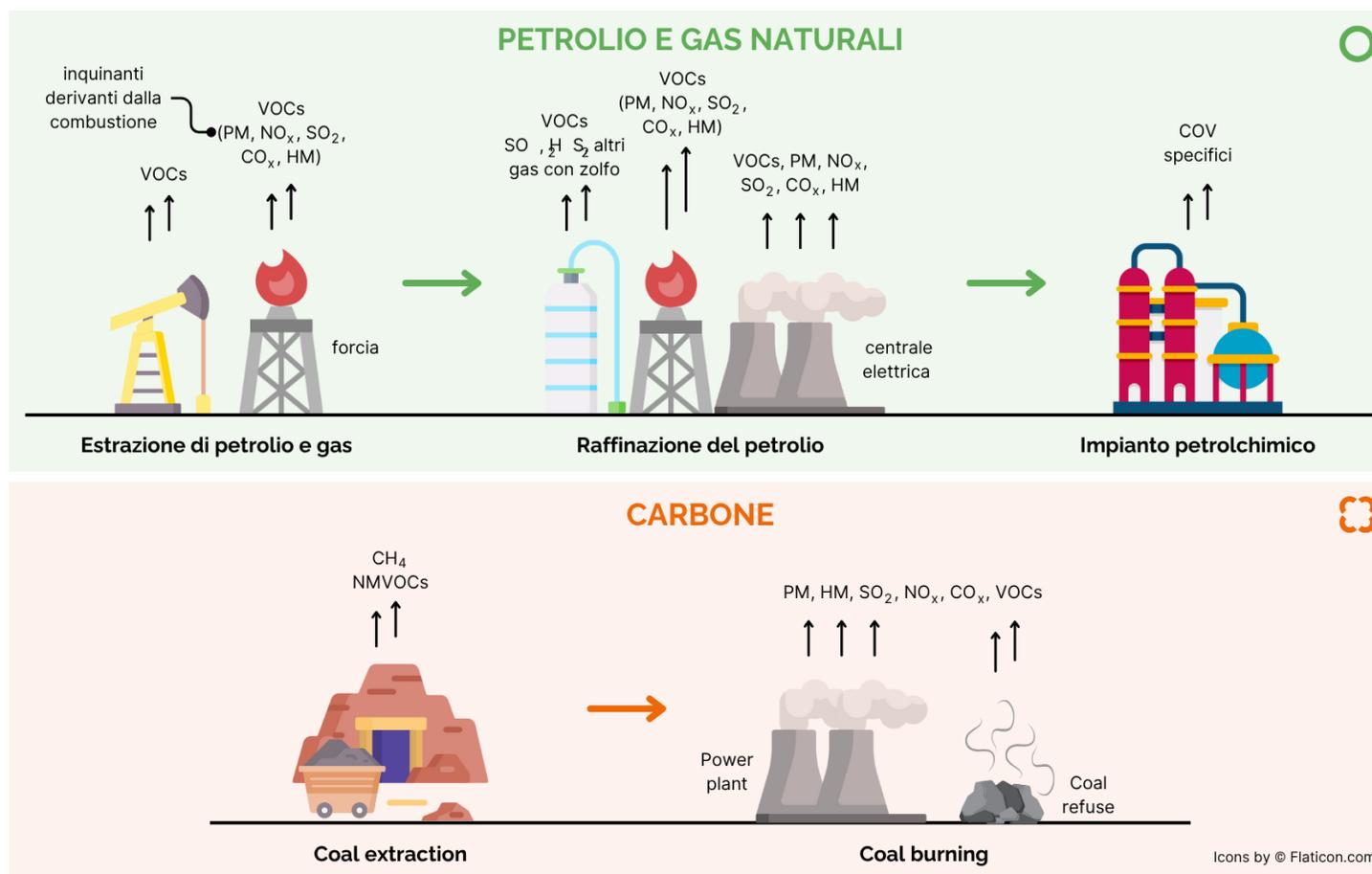


ulteriori **emissioni legate alla combustione** – quindi particolato, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, monossido di carbonio, CO<sub>2</sub> e combustibili non bruciati o parzialmente bruciati (quindi altri COV). Vengono rilasciati anche metalli pesanti *specifici*: per il petrolio, principalmente vanadio e nichel; per il gas naturale, principalmente mercurio e arsenico. Allo stesso modo, le raffinerie emettono COV e inquinanti associati alla combustione in torcia, oltre a composti contenenti zolfo (derivanti dalla desolforazione) e inquinanti legati alla combustione (derivanti dalla centrale elettrica della raffineria). I composti contenenti zolfo includono **SO<sub>2</sub>**, **H<sub>2</sub>S** e composti organici come i mercaptani. Le emissioni degli **impianti petrolchimici** dipendono dalle caratteristiche del processo specifico e sono quindi difficili da generalizzare. Si possono cercare i **COV** come gruppo; tuttavia, ogni processo ha un'impronta unica che può aiutare a individuare l'unità emittente – ad esempio, la produzione di plastica polietilene può rilasciare etilene, il materiale di partenza. Durante le operazioni regolari, la gestione impropria delle acque reflue è un problema che si riscontra principalmente durante l'estrazione e la prelavazione del greggio.

Mentre lo sfruttamento del petrolio e del gas influisce principalmente sulla qualità dell'aria locale, l'estrazione e la lavorazione del carbone hanno un impatto ambientale più complesso (Figura 4, in basso). La maggior parte delle emissioni atmosferiche legate allo sfruttamento del carbone provengono dalla sua **combustione** nelle centrali elettriche, che si trovano spesso in prossimità dei siti di estrazione. Rispetto al petrolio e al gas, la combustione del carbone rilascia più **particelle e metalli pesanti** – oltre a tutti gli altri inquinanti legati alla combustione. Il processo di estrazione in sé rilascia solo metano e altri COV intrappolati nelle rocce. Se i rifiuti dell'estrazione e combustione del carbone non vengono gestiti correttamente, possono andare in auto-combustione e rilasciare ulteriori inquinanti legati a questo processo (vedi [Sezione 6.4.2](#)).



L'estrazione del carbone ha anche un impatto significativo sugli **ecosistemi acquatici e terrestri** circostanti. A contatto con l'acqua, il carbone e i suoi rifiuti rilasciano **sali, acidi e metalli pesanti** – l'inquinante predominante dipende dalla composizione chimica del minerale. Ad esempio, il carbone contenente pirite (un minerale formato da ferro e zolfo) rilascia acido solforico quando entra in contatto con l'acqua, mentre i giacimenti di carbone ricchi di alogeni (come in Polonia; vedi [Sezione 6.3](#)) se bagnati formano soluzioni più salate dell'acqua di mare. Il carbone può bagnarsi durante il processo di estrazione (ad esempio, quando il minerale viene lavato), ma anche quando le miniere a cielo aperto o cumuli di rifiuti esposti alla pioggia. Se non gestito correttamente, il drenaggio risultante può danneggiare l'ecosistema a causa di un eccessivo aumento di salinità, acidità e livelli di metalli tossici.



**Figura 4** Rappresentazione schematica degli impatti ambientali dell'estrazione e della lavorazione dei combustibili fossili. Le fuoriuscite accidentali e altri incidenti non sono inclusi nello schema. Legenda: HM = metalli pesanti ("heavy metals"); CO<sub>x</sub> = ossidi di carbonio (monossido di carbonio e CO<sub>2</sub>); COV = composti organici volatili; COVNM = composti organici volatili non metanici (vedi Figura 3).



## 3.2 Quanto sono pericolose queste sostanze?

Secondo un famoso detto della tossicologia chimica, è “la dose [che] fa il veleno” – vale a dire che qualsiasi sostanza chimica può essere dannosa in grandi quantità, mentre le sostanze considerate pericolose possono essere innocue se presenti solo in tracce. Questa idea si applica anche agli inquinanti dell'industria dei combustibili fossili. Nelle prossime sezioni spiegheremo come questi inquinanti influiscano sulla salute umana ([Sezione 3.2.1](#)) e riassumeremo gli standard e le linee guida per la qualità ambientale ([Sezione 3.2.2](#)) – quei parametri che definiscono i livelli di inquinanti che possono essere considerati sicuri per la salute umana. Per semplicità, ci concentreremo sui composti più rilevanti che abbiamo identificato nelle sezioni precedenti.

### 3.2.1 Effetti sulla salute umana – a quali inquinanti dobbiamo prestare attenzione?

Gli inquinanti derivanti dallo sfruttamento dei combustibili fossili danneggiano la salute umana in molti modi: possono colpire i polmoni, il cervello e persino causare il cancro. Qui forniremo una panoramica semplificata di questi effetti, che abbiamo definito sulla base di due fonti principali. La prima è l'[Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro](#) (IARC), che ha sviluppato una classificazione in base al rischio di una sostanza di causare il cancro. In particolare, i composti del **Gruppo 1** sono cancerogeni per l'uomo, quelli del **Gruppo 2A** sono *probabili* cancerogeni, quelli del **Gruppo 2B** sono *possibili* cancerogeni e quelli del **Gruppo 3** non possono essere classificati (elenco completo [qui](#)). Abbiamo inoltre riassunto gli effetti tossicologici di ciascun inquinante sulla base dei profili dell'[Agenzia Statunitense per le Sostanze Tossiche e il Registro delle Malattie](#) (ATSDR). I profili tossicologici completi sono accessibili attraverso i collegamenti ipertestuali presenti nelle tabelle seguenti.



Nella **Tabella 1** riportiamo i rischi per la salute delle principali sostanze chimiche organiche associate all'estrazione e allo sfruttamento dei combustibili fossili. Benzene, 1,3-butadiene e ossido di etilene sono i composti più cancerogeni, seguiti dal benzo[*a*]pyrene, un tipico idrocarburo policiclico aromatico. Pur non causando necessariamente il cancro, tutti gli altri composti organici non metanici hanno effetti epatici, neurologici e sullo sviluppo. Il metano desta preoccupazione soprattutto per il suo potenziale di riscaldamento climatico: il suo impatto sulla salute umana è trascurabile alle concentrazioni che si incontrano normalmente all'aria aperta.

Inquinante	Classificazione IARC	Altri effetti sulla salute (ATSDR)
Benzene	Gruppo 1	Gastrointestinale, ematologico, immunologico, neurologico [ref]
Benzo[ <i>a</i> ]pirene	Gruppo 2A	Sviluppo, epatico, riproduttivo [tutti gli IPA; ref]
1,3-Butadiene	Gruppo 1	Sviluppo, gastrointestinale, ematologico, neurologico, riproduttivo [ref]
CH <sub>4</sub>	Gruppo 3	n.d.
Etilbenzene	Gruppo 2B	Sviluppo, epatico, neurologico, renale [ref]
Ossido di etilene	Gruppo 1	Sviluppo, endocrino, ematologico, neurologico, riproduttivo, respiratorio [ref]
Toluene	Gruppo 3	Cardiovascolare, dello sviluppo, immunologico, neurologico, respiratorio [ref]
Xileni	Gruppo 3	Cutaneo, epatico, neurologico, renale, respiratorio [ref]

**Tabella 1** *Classificazione IARC e altri effetti sulla salute per specifiche sostanze organiche legate all'estrazione e al processamento dei combustibili fossili (n.d. = non disponibile).*

Tra le sostanze rilasciate dalla combustione dei combustibili fossili, il particolato è l'inquinante più dannoso per la salute umana: può causare cancro, malattie cardiache, malattie respiratorie, problemi neurologici e aumentare il tasso di mortalità (**Tabella 2**). Elevati livelli

di anidride solforosa possono avere anche effetti respiratori, soprattutto nei bambini e nei gruppi sensibili. Come vedremo nella [Sezione 6.2](#), l'evidenza di problemi respiratori nei bambini è stata determinante nell'innescare un aggiornamento della legislazione sulle emissioni di SO<sub>2</sub> attorno alla raffineria di petrolio Sarlux.

Inquinante	classificazione IACR	Altri effetti sulla salute (ATSDR)
NO <sub>x</sub>	Gruppo 3	Nessuno <a href="#">[ref]</a>
PM <sub>2.5</sub>	Gruppo 1	Mortalità, cardiovascolari, respiratori e neurologici <a href="#">[ref]</a>
PM <sub>10</sub>	Gruppo 1	
SO <sub>2</sub>	Gruppo 3	Respiratori <a href="#">[ref]</a>

**Tabella 2** Classificazione IARC e altri effetti sulla salute per gli inquinanti atmosferici specifici della combustione. PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub> sono particelle di dimensioni comprese rispettivamente tra 1 e 2.5 µm e tra 2.5 e 10 µm.

Anche alcuni metalli pesanti possono nuocere alla salute umana (Tabella 3). Il vanadio e il nichel sono i metalli pesanti più rilevanti quando si parla di petrolio e possono essere rilasciati durante la sua combustione. Mentre il vanadio non desta preoccupazioni, alcuni composti del nichel sono cancerogeni del gruppo 1.

Inquinante	Classificazione IACR	Altri effetti sulla salute (ATSDR)
Arsenico	Gruppo 1 (I, M) Gruppo 3 (O)	Cardiovascolare, cutaneo, endocrino, gastrointestinale, ematologico, neurologico, renale, respiratorio <a href="#">[ref]</a>
Cadmio	Gruppo 1 (M, I, O)	Gastrointestinale, muscoloscheletrico, renale, respiratorio <a href="#">[ref]</a>
Cromo (VI)	Gruppo 1 (I, O) Gruppo 3 (M)	Dermatologico, gastrointestinale, ematologico, riproduttivo, respiratorio <a href="#">[ref]</a>
Piombo	Gruppo 2A (I) Gruppo 2B (M) Gruppo 3 (O)	Cutaneo, gastrointestinale, ematologico, riproduttivo, respiratorio <a href="#">[ref]</a>
Mercurio	Gruppo 2B (O) Gruppo 3 (I, M)	Cardiovascolare, sviluppo, immunologico, neurologico, renale, riproduttivo <a href="#">[ref]</a>



Manganese	n.d.	Sviluppo, neurologia, riproduzione, apparato respiratorio [ref]
Nichel	Gruppo 1 (I, O) Gruppo 2B (M)	Dermico, dello sviluppo, immunologico, respiratorio [ref]
Vanadio <sup>a</sup>	Gruppo 2B	Sviluppo, gastrointestinale, ematologico, neurologico, respiratorio [ref]

**Tabella 3** *Classificazione IARC e altri effetti sulla salute di alcuni metalli pesanti emessi durante l'estrazione, la lavorazione e la combustione di combustibili fossili (n.d. = non disponibile). La classificazione IARC viene espressa per tre categorie di composti: composti inorganici (I), composti organici (O) ed elementi metallici (M). Per il cromo, la tabella riporta solo dati sui cromati (noti anche come cromo (VI) o cromo esavalente). <sup>a</sup> La classificazione del vanadio si riferisce solo al pentossido di vanadio.*

Anche l'arsenico e il mercurio, che possono essere emessi durante la combustione del gas naturale, possono avere effetti negativi sulla salute umana: ad esempio, l'arsenico e i suoi composti inorganici causano il cancro. Anche altri metalli pesanti come il cadmio e i cromati (composti con il cromo nello stato di ossidazione più alto) sono cancerogeni.

### 3.2.2 Standard e linee guida di qualità ambientale: a quali concentrazioni dobbiamo preoccuparci?

Sebbene la maggior parte degli inquinanti associati allo sfruttamento dei combustibili fossili – e alle attività umane in generale – abbia un impatto sulla salute umana, puntare a un ambiente completamente incontaminato non è realistico. Tuttavia, tutti hanno il diritto di vivere in un luogo sicuro, pulito e sano, il che rende essenziale definire quali livelli di inquinanti possano essere considerati “accettabili”.

A seconda della matrice ambientale e dei criteri di valutazione, si possono utilizzare diversi riferimenti per definire il significato di “accettabile”. Un primo riferimento sono le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), raccomandazioni



flessibili e basate su dati scientifici che possono essere utilizzate per una valutazione generale dell'inquinamento. In questo opuscolo facciamo riferimento alle linee guida dell'OMS sugli [inquinanti atmosferici](#) e sulla [qualità delle acque ricreative](#). Gli standard di qualità ambientale rappresentano un secondo set di valori di riferimento. Diversamente delle linee guida dell'OMS, gli standard di qualità ambientale stabiliscono limiti giuridicamente vincolanti sui livelli massimi di inquinanti, bilanciando la protezione della salute con fattori economici. Qui ci concentriamo sulla più recente [Direttiva sulla Qualità dell'Aria dell'Unione Europea](#) e sulla [Direttiva sugli Standard di Qualità Ambientale](#) sempre dell'UE, due quadri normativi che si applicano a tutti gli Stati Membri. I riferimenti completi a questi e ad altri documenti rilevanti si trovano nella [Sezione 7](#).

## Aria

La [Tabella 4](#) riassume gli standard di qualità dell'aria e le linee guida OMS per i principali inquinanti emessi durante l'estrazione dei combustibili fossili. Se non esplicitato diversamente, le concentrazioni sono espresse in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Inquinante	Concentrazione annuali in aria ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Causa il cancro?
	OMS	EU	
<b>Principali COV legati ai combustibili fossili</b>			
Benzene	1.7 <sup>a</sup>	5	*
Benzo[a]pyrene	0.012 <sup>a</sup>	0.001	
1,3-Butadiene	n.d.	n.d.	*
CH <sub>4</sub>	n.d.	n.d.	
Etilbenzene	n.d.	n.d.	
Ossido di etilene	n.d.	n.d.	*
Toluene	260 <sup>b</sup>	n.d.	
Xileni	n.d.	n.d.	
<b>Inquinanti legati alla combustione</b>			
NO <sub>2</sub>	n.d. <sup>e</sup>	200 <sup>e</sup> [18] <sup>d</sup>	
	25 <sup>c</sup>	n.d. <sup>c</sup>	
	10	40	
PM <sub>2.5</sub>	15 <sup>c</sup>	n.d. <sup>c</sup>	*



	5	25	
PM <sub>10</sub>	45 <sup>c</sup> 15	50 <sup>c</sup> 40 [35] <sup>c</sup>	*
SO <sub>2</sub>	n.d. <sup>e</sup> 40 <sup>c</sup>	350 <sup>e</sup> [24] <sup>d</sup> 125 <sup>c</sup> [3] <sup>d</sup>	
<b>Metalli pesanti</b>			
Arsenico	0.0066 <sup>a</sup>	0.006 <sup>f</sup>	*
Cadmio	0.005	0.005 <sup>f</sup>	*
Cromo (VI)	0.00025 <sup>a</sup>	n.d.	*
Piombo	0.5	0.5 <sup>f</sup>	
Mercurio	1	n.d.	
Manganese	0.15	n.d.	
Nichel	0.025 <sup>a</sup>	0.02 <sup>f</sup>	*
Vanadio	1	n.d.	

**Tabella 4** Linee guida dell'OMS per la qualità dell'aria e Direttiva UE sulla qualità dell'aria (2008/50/CE) per determinati inquinanti associati allo sfruttamento di combustibili fossili (n.d. = non disponibile). L'ultima colonna indica gli agenti cancerogeni di classe 1 secondo la classificazione IARC (Tabelle 1-3). <sup>a</sup> Livello di riferimento stimato assumendo un rischio accettabile di cancro nell'arco della vita di 1 su 100.000. <sup>b</sup> Media settimanale. <sup>c</sup> Media giornaliera. <sup>d</sup> Superamenti consentiti ogni anno o giorno. <sup>e</sup> Media oraria. <sup>f</sup> Misurato come contenuto di metalli nel PM<sub>10</sub>.

Per i singoli COV, l'Unione Europea stabilisce standard di qualità dell'aria solo per il benzene e il benzo[*a*]pirene. Altri cancerogeni di classe 1, come l'1,3-butadiene e l'ossido di etilene, sono regolamentati in alcuni paesi, ma non in Europa (si veda la [Sezione 6.1](#)) – ad esempio, l'[Ontario](#) (Canada) fissa una media annuale massima di 2 µg/m<sup>3</sup> e 0.04 µg/m<sup>3</sup> rispettivamente per l'1,3-butadiene e l'ossido di etilene. I COV come classe sono difficili da regolamentare a causa della loro eterogeneità. L'UE non ha ancora imposto limiti legali per i COV totali nell'aria, anche se dal 2016 richiede agli Stati membri di ridurre le emissioni di COV non metanici. [Alcuni paesi europei](#) hanno anche imposto soglie nazionali per i COV in ambienti chiusi. Come di ordine di grandezza di riferimento, i COV totali dovrebbero essere ≤ 300 µg/m<sup>3</sup> in ambienti chiusi e ≤ 2'000 µg/m<sup>3</sup> in prossimità di impianti industriali.

Per gli inquinanti rilasciati durante la combustione dei combustibili fossili, i limiti cambiano in base al periodo di mediazione. La normativa



europa consente inoltre di superare determinati valori giornalieri per un numero fisso di volte nel corso dell'anno. Ad esempio, per l' $\text{SO}_2$ , la Direttiva sulla Qualità dell'Aria stabilisce medie massime orarie e giornaliere di 350 e 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , rispettivamente, consentendo fino a 24 superamenti orari e 3 superamenti giornalieri all'anno. Sia l'OMS che l'UE fissano limiti annuali per l'ozono e il monossido di carbonio. Sebbene non sia direttamente correlato allo sfruttamento dei combustibili fossili, l'ozono si forma in presenza di un'elevata quantità di COV,  $\text{NO}_x$  e luce solare – condizioni che si verificano spesso durante il giorno nei pressi delle raffinerie (Figura 4). Il monossido di carbonio è un prodotto secondario della combustione e si può formare durante la combustione di petrolio, gas o carbone – ad esempio, nelle centrali elettriche situate in prossimità delle miniere di carbone o delle raffinerie.

In merito i metalli pesanti, l'UE regola l'arsenico, il cadmio, il nichel e il piombo (tutti quantificati come contenuto di metalli nel  $\text{PM}_{10}$ ). L'OMS raccomanda livelli di riferimento anche per cromo (VI), mercurio, manganese e vanadio.

Sebbene l'idrogeno solforato ( $\text{H}_2\text{S}$ ) non sia tossico alle concentrazioni che si riscontrano tipicamente nell'aria aperta (l'irritazione oculare, il primo sintomo per la salute, si verifica a 15'000-30'000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), questo composto ha un forte odore. Per evitare fastidi, l'OMS consiglia una media giornaliera massima di 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e una media di 30 minuti di 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## Acqua

La Tabella 5 riassume le concentrazioni medie annuali (in  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) di alcuni inquinanti rilevanti durante l'estrazione e il processamento dei combustibili fossili. L'elenco esclude il metano e altre specie presenti solo in aria come il particolato.

Inquinante	Concentrazione annuale nelle acque superficiali (µg/L)		Causa il cancro?
	WHO	EU	
<b>Principali COV legati ai combustibili fossili</b>			
Benzene	200	10 [50] <sup>a</sup>	*
Benzo[a]pirene	n.d.	0.00017 [0.27] <sup>a</sup>	
1,3-Butadiene	n.d.	n.d.	*
Etilbenzene	10'000	n.d.	
Ossido di etilene	n.d.	n.d.	*
Toluene	14'000	n.d.	
Xineli	6'000	n.d.	
<b>Metalli pesanti</b>			
Arsenico	200	n.d.	*
Cadmio	60	0.08 – 0.25 <sup>b</sup> [0.45 – 1.5] <sup>a,b</sup>	*
Cromo	1'000	n.d.	*
Piombo	200	1.2 [14] <sup>a</sup>	
Mercurio	n.d.	n.d. [0.07] <sup>a</sup>	
Manganese	8'000	n.d.	
Nichel	1'400	4 [34] <sup>a</sup>	*
Vanadio	n.d.	n.d.	

**Table 5** Valori di riferimento per le acque superficiali tratti dalle Linee guida dell'OMS sulla qualità delle acque ricreative e dalla Direttiva UE sugli standard di qualità ambientale (acque superficiali interne; n.d. = non disponibile). La terza colonna indica le sostanze chimiche note come cancerogene di Classe 1 secondo la classificazione IARC (Tabelle 1-3). <sup>a</sup> Concentrazione massima consentita in eventi di inquinamento a breve termine. <sup>b</sup> I valori dipendono dalla durezza dell'acqua.

Le linee guida per la qualità dell'acqua a scopo ricreativo sono disponibili per i BTEX e per diversi metalli pesanti e sono tipicamente nell'intervallo dei mg/L. Per il toluene, l'etilbenzene e lo xilene, le concentrazioni raccomandate sono superiori alla loro soglia di odore: in altre parole, l'acqua può essere sicura anche se puzza. L'OMS ha anche linee guida per la qualità dell'acqua potabile, che sono più severe (20 volte inferiori) e coprono più sostanze rispetto a quelle per le acque ricreative.

La Direttiva UE sugli standard di qualità ambientale fornisce medie annuali e limiti massimi ammissibili (per l'inquinamento a breve



termine) per alcune sostanze chimiche specifiche delle industrie dei combustibili fossili. Questa direttiva regola anche il naftalene e l'antracene, due IPA non inclusi nella [Tabella 5](#), oltre ai solventi clorurati e ad altri inquinanti prioritari.

La conducibilità e il pH non sono coperti dalla legislazione europea né dalle linee guida dell'OMS, ma sono utili indicatori di inquinamento: la loro misurazione è rapida e poco costosa e valori fuori scala sono chiari segnali di contaminazione (ad esempio, si vedano le Sezioni [6.3](#) e [6.4.2](#)). Questi due parametri hanno valori tipici che variano a seconda della geologia; in generale, le acque dolci non inquinate hanno un pH tra 6.5 e 8.5 e una conducibilità tra 50 e 1'500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Al contrario, le acque impattate dal drenaggio minerario possono avere un pH fino a 2 – 3, mentre le acque reflue industriali e l'acqua di mare hanno conducibilità superiori rispettivamente a 10'000 e 55'000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Illustrations by Storyset



**4. Quali sono gli strumenti che i cittadini possono utilizzare per monitorare la salute del loro ambiente?**

---



Uno degli obiettivi principali di ERICA è aiutare le comunità che vivono vicino alle industrie dei combustibili fossili a raccogliere informazioni affidabili sulla qualità dell'ambiente locale. Questa sezione presenta una serie di strumenti accessibili a tutti per il monitoraggio dell'aria e dell'acqua, con particolare attenzione agli inquinanti indicati nella [Sezione 3.1](#): in aria, COV, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> e altre sostanze legate alla combustione; in acqua, acidi, sali, metalli pesanti e sostanze chimiche organiche come i TPH.

Abbiamo classificato questi strumenti in base ad (1) origine e costo; e (2) approccio. Secondo il primo criterio, le tecnologie disponibili possono essere commerciali o fai-da-te (*DIY, do-it-yourself*). Gli strumenti commerciali hanno un costo basso ( $\leq 2'000$  €) o medio ( $2'000 - 30'000$  €), mentre le tecnologie fai-da-te costano generalmente meno di 2'000 € – anche se spesso non sono più economiche dei dispositivi commerciali a basso costo. Se le tecnologie a medio costo possono risultare fuori budget per i privati cittadini, possono però rappresentare una valida opzione per non-profit o ad altre organizzazioni che abbiano accesso a finanziamenti. Per quanto riguarda la raccolta dei dati, gli approcci prevedono (1) la misurazione delle concentrazioni di inquinanti, (2) la raccolta di campioni e (3) la registrazione di altri dati (ad esempio, come foto georeferenziate che mostrano chiari segni di inquinamento).

La [Tabella 7](#) fornisce una panoramica di queste tecnologie con i link ai relativi siti web; una selezione di questi strumenti è descritta in maggior dettaglio nel resto del capitolo. In generale, la maggior parte degli strumenti a basso costo e fai-da-te per l'aria rileva il particolato di varie dimensioni e talvolta i COV totali. Per l'acqua, i kit colorimetrici sono l'opzione più accessibile per acidi, metalli pesanti e altri inquinanti. La qualità dei dati è uno svantaggio generale degli approcci a basso costo: mentre le tecnologie a basso costo e fai-da-te sono eccellenti per l'educazione e la sensibilizzazione, i progetti che



richiedono dati di alta qualità dovrebbero considerare la collaborazione con università o laboratori accreditati. In questo caso, i cittadini possono ancora svolgere un ruolo attivo nel progetto raccogliendo campioni o altre tipologie di dati. Nell'ambito della giustizia ambientale, queste osservazioni apparentemente banali hanno spesso un impatto maggiore rispetto ai dati raccolti con strumenti costosi (per esempio, si veda la [Sezione 6.4.1](#)) e rappresentano strumenti potenti per avviare processi di cambiamento dal basso.

	I cittadini misurano concentrazioni			I cittadini raccolgono campioni		I cittadini raccolgono altri dati
	Commerciali		Fai-da-te	Commerciali		
	Costo basso	Costo medio		Costo basso	Fai-da-te	
ARIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Smart citizen kit</a></li> <li>• <a href="#">PurpleAir</a></li> <li>• <a href="#">Airnote</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Aeroqual S500</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">DustBox</a></li> <li>• <a href="#">Frackbox</a></li> <li>• <a href="#">airRohr</a></li> <li>• <a href="#">CanAirIO</a></li> <li>• <a href="#">Simple Air Sensor</a></li> <li>• <a href="#">Fotometro solare GLOBE</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Radiello</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Bucket Monitor</a></li> <li>• <a href="#">Strisce al rame</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odore (es., <a href="#">OdourCollect</a>)</li> <li>• Foto o ispezioni</li> <li>• Bioindicatori</li> </ul>
ACQUA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kit colorimetrici               <ul style="list-style-type: none"> <li>– <a href="#">ChemMetrics</a></li> <li>– <a href="#">SenSafe</a></li> <li>– <a href="#">Modern Water RaPID assay</a></li> <li>– <a href="#">Hanby TPH test kit<sup>a</sup></a></li> </ul> </li> <li>• <a href="#">Misuratori compatti Horiba LAQUAtwin</a></li> <li>• <a href="#">Fotometro eXact iDip</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Sonda multiparametrica Hanna</a></li> <li>• <a href="#">Analizzatore a mano UVF-500D</a></li> <li>• <a href="#">Analizzatore da laboratorio UVF-TRILOGY</a></li> <li>• <a href="#">enviroFlu-HC 500</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Sensori per l'acqua di Publiclab</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• campionatori passivi (es., <a href="#">qui</a>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un semplice contenitore</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foto o ispezioni</li> <li>• Bioindicatori</li> <li>• Immagini satellitari</li> </ul>

**Table 7** Panoramica delle tecnologie a basso prezzo per il rilevamento dell'inquinamento di aria e acqua correlato allo sfruttamento dei combustibili fossili. Le voci evidenziate sono descritte più dettagliatamente nel testo. <sup>a</sup> Un sistema simile è disponibile per il [rilevamento di TPH nel suolo](#).



## 4.1 Strumenti per il monitoraggio dell'aria

### 4.1.1 Sensori commerciali a basso e medio costo

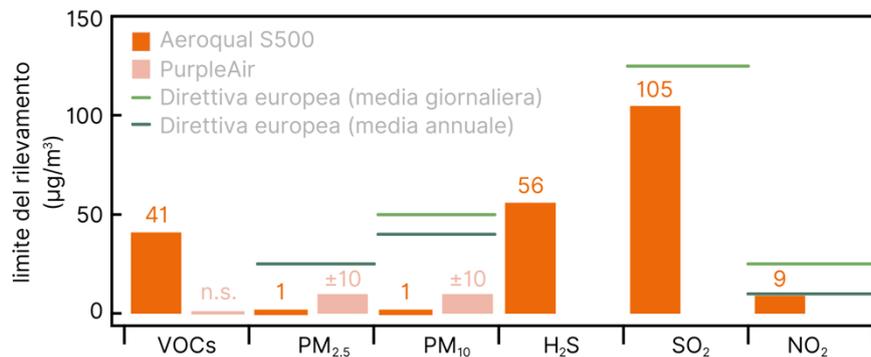
Esiste un'ampia gamma di sensori economici per il monitoraggio degli inquinanti atmosferici, compresi alcuni specifici per l'industria dei combustibili fossili. Il loro principio di funzionamento dipende dall'inquinante: ad esempio, le particelle vengono tipicamente rilevate con contatori ottici di particelle, i COV con rilevatori a fotoionizzazione, mentre NO<sub>x</sub>, ozono e monossido di carbonio vengono spesso osservati con sensori a ossido metallico o elettrochimici.

La qualità dei dati può essere un limite importante per i sensori a basso costo. Il Centro di Valutazione delle Prestazioni dei Sensori di Qualità dell'Aria ([AQ-SPEC](#)), un programma che valuta le prestazioni dei sensori al di sotto dei 2'000 dollari, è una risorsa eccellente per identificare i dispositivi adatti a ogni esigenza. Il sito di AQ-SPEC fornisce un elenco completo di prodotti classificati per fornitore e inquinante, insieme a costi, specifiche tecniche e rapporti sulle prestazioni che confrontano i sensori con i metodi di riferimento.

Tra i vari modelli disponibili, consigliamo [PurpleAir](#) e [Aeroqual S500](#). Per meno di 300 euro, PurpleAir è ampiamente utilizzato per il rilevamento in tempo reale di PM<sub>2.5</sub> ed è molto popolare nei programmi comunitari di monitoraggio dell'aria. I modelli più recenti (PurpleAir Zen, Touch e Flex) rilevano anche i COV totali utilizzando un sensore a ossido metallico. Anche se più costoso (2'100 – 2'800 €), l'Aeroqual S500 è un'ottima alternativa che consente di rilevare una gamma più ampia di inquinanti, alcuni dei quali specifici per i combustibili fossili. Cambiando la testa del sensore, questo strumento portatile può rilevare COV totali, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e particolato, con limiti di rilevamento generalmente nell'ordine delle decine di parti per miliardo (ppb) – quindi al di sotto dei valori legali stabiliti dall'Unione



Europa (Figura 5). Secondo [AQ-SPEC](#), Aeroqual S500 è una delle migliori opzioni a basso costo attualmente disponibili per i COV totali.



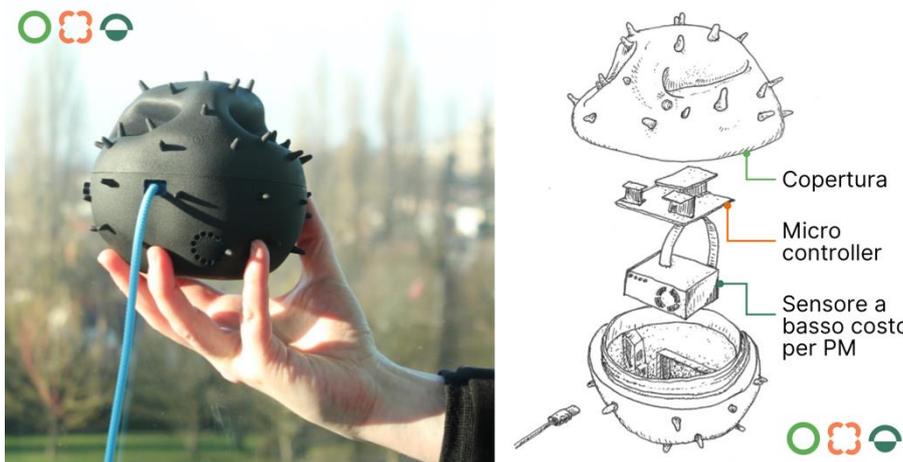
**Figura 5** Limiti di rilevamento per i due sensori di qualità dell'aria raccomandati rispetto ai valori stabiliti dalla Direttiva UE sulla qualità dell'aria 2008/50/CE (Tabella 4). Il sito web di PurpleAir non specifica i limiti di rilevamento per i COV totali (n.s.). La Direttiva UE 2008/50/CE non include i COV totali e l'H<sub>2</sub>S; per le linee guida sui livelli accettabili per queste sostanze chimiche, si veda la [Sezione 3.2.2](#). I limiti di rilevamento in ppm sono stati convertiti in µg/m<sup>3</sup> come indicato nella [Sezione 7](#).

#### 4.1.2 Sensori fai-da-te

La maggior parte dei sensori per l'aria fai-da-te sono contatori ottici di particelle racchiusi in una scatola e collegati a un sistema automatico di raccolta dati. La [DustBox](#) è un buon esempio di questa configurazione. Sviluppato dall'iniziativa [Citizen Sense](#), questo dispositivo utilizza un sensore di particolato a basso costo alloggiato in una custodia stampata in 3D e si collega al WiFi attraverso un microcontrollore (Figura 6). Sebbene il [manuale di costruzione](#) sia dettagliato e approfondito, la costruzione del DustBox richiede conoscenze in elettronica, saldatura e programmazione. Il costo totale non viene fornito, ma in base alle nostre stime si attesta a poche centinaia di euro. La Frackbox, sempre sviluppato da Citizen Sense, è un sensore pensato specificamente per misurare gli impatti del petrolio e gas naturale. La [Frackbox](#) rileva i COV totali utilizzando un rilevatore a fotoionizzazione a basso costo, insieme a NO<sub>2</sub>, ozono e dati meteorologici. I limiti di rilevamento sono di 9 µg/m<sup>3</sup> per l'NO<sub>2</sub> e 20 µg/m<sup>3</sup> per i COV totali, proprio come l'Aeroqual S500 (Figura 5). Al



momento, questo dispositivo è ancora un prototipo e non sono disponibili istruzioni dettagliate per la sua costruzione.



**Figura 6** Immagine e schema di una DustBox 2.0. Riadattato dal materiale online di [Citizen Sense](#).

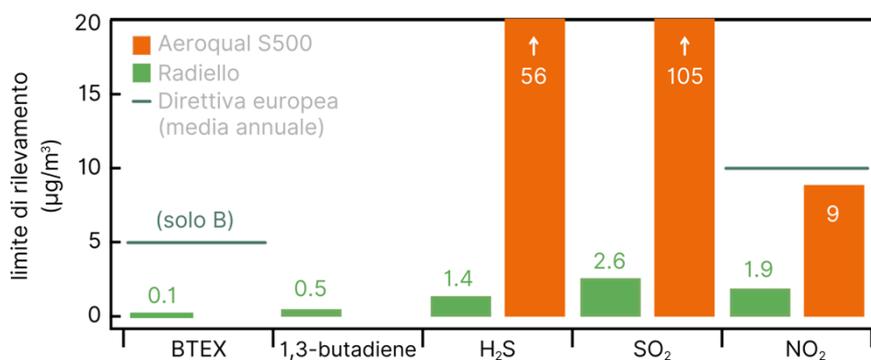
#### 4.1.3 Campionatori commerciali e fai-da-te

Come alternativa ai sensori a basso costo si può coinvolgere i cittadini nella raccolta dei campioni. I **campionatori passivi** sono particolarmente adatti per il monitoraggio dell'aria: vengono utilizzati per un periodo di tempo determinato (generalmente alcune settimane), sono leggeri e non necessitano di energia elettrica. D'altro canto, i **campionatori attivi** forzano aria attraverso un sacchetto di raccolta per un periodo più breve (di solito un'ora) e generalmente necessitano di elettricità. Dopo la raccolta, entrambi i tipi di campionatori vengono inviati a laboratori accademici o certificati, che analizzano il campione con metodi standard. Ad esempio, singoli COV possono essere rilevati con il [metodo standard EPA TO-15](#), che consente di misurare 97 inquinanti atmosferici al di sopra di 0.5 ppb (circa  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Costi e limiti di rilevamento variano a seconda del laboratorio, degli inquinanti e del metodo utilizzato.

Sia i campionatori commerciali che quelli fai-da-te sono adatti ad iniziative di *citizen science*. Con un costo di 400 – 600 euro per 20 unità (inclusa l'analisi chimica), [Radiello](#) è un'opzione conveniente se si



dispone di fondi. Questa azienda italiana offre vari modelli adatti a diversi inquinanti ed esigenze di campionamento. Per esempio, [Source International](#) ha utilizzato i campionatori Radiello per monitorare l'idrogeno solforato intorno all'impianto petrolifero COVA in Val d'Agri, mentre i [ricercatori dell'Università](#) Politecnica della Catalonia hanno usato dispositivi analoghi per misurare livelli di base di 1,3-butadiene intorno al complesso petrolchimico di Tarragona ([Sezione 6.1](#)). Rispetto a sensori come l'Aeroqual S500 ([Sezione 4.1.1](#)), i campionatori Radiello hanno limiti di rilevamento molto più bassi ([Figura 7](#)), ma richiedono tempi di installazione più lunghi (da decine di ore a giorni) e forniscono solo i livelli medi di concentrazione in quel periodo.



**Figura 7** Confronto tra i limiti di rilevamento di Radiello e di Aeroqual S500 rispetto alla Direttiva UE sulla qualità dell'aria 2008/50/CE (Tabella 4). Dei quattro BTEX, la Direttiva UE regola solo il benzene (B). I riferimenti per questi numeri sono riportati nella [Sezione 7](#).

Il [Bucket Monitor](#) è un esempio di campionatore attivo fai-da-te per i COV e le sostanze volatili contenenti zolfo. Sviluppato negli anni '90 da residenti californiani preoccupati per l'inquinamento degli impianti petrolchimici, è approvato dall'Agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente per il monitoraggio partecipativo della qualità dell'aria (per esempio, si veda la [Sezione 6.4](#)). Il Bucket Monitor è costituito da un secchio da 20 L contenente un sacco di Tedlar da 5 L. L'aria viene raccolta utilizzando una pompa da campeggio (alimentata a batteria) o da bicicletta e il campione viene inviato al laboratorio entro 24 – 72



ore dalla raccolta. Ogni secchio costa circa 75 € (escluse le analisi) ma richiede tempi di raccolta più brevi rispetto ai campionatori passivi, rendendolo un metodo efficace per rilevare picchi di inquinamento.

#### 4.1.4 Altri approcci

Esistono altri metodi a basso costo che le comunità possono utilizzare per raccogliere prove della scarsa qualità dell'aria. I cattivi odori sono una causa comune di azioni locali, come si è visto a Tarragona ([Sezione 6.1](#)) e a Sarroch ([Sezione 6.2](#)). Poiché gli odori possono avere cause varie – non solo raffinerie di petrolio e impianti petrolchimici – sono già state sviluppate piattaforme dedicate alla mappatura partecipativa dei cattivi odori. [OdourCollect](#) e [Smell My City](#) (disponibile solo negli Stati Uniti) sono due esempi di questi strumenti. Sviluppato nell'ambito del progetto europeo [D-NOSES](#), OdourCollect consente agli utenti di registrare la posizione, il tipo, l'intensità e la durata degli odori in qualsiasi parte del mondo. D-NOSES ha anche lanciato l'[Osservatorio Internazionale degli Odori](#) per condividere conoscenze, storie e buone pratiche sull'inquinamento da odori.

I cittadini possono inoltre scattare foto georeferenziate di eventi di inquinamento o condividere le loro opinioni sulle attività industriali locali. Quando questi dati vengono raccolti su una mappa, il processo viene chiamato [“mappatura partecipata”](#). La mappatura partecipata delle attività di *gas flaring* nell'Amazzonia ecuadoriana è un esempio lampante della potenza e dell'efficacia di questo approccio apparentemente banale ([Sezione 6.4.1](#)).

Infine, il **biomonitoraggio** offre un modo coinvolgente di valutare la qualità dell'aria mentre si impara a conoscere la biodiversità locale. Biomonitoraggio significa monitorare la presenza e la salute di organismi che sono molto sensibili all'inquinamento – ad esempio, alcune specie di piante e licheni. L'iniziativa Citizen Sense ha sviluppato

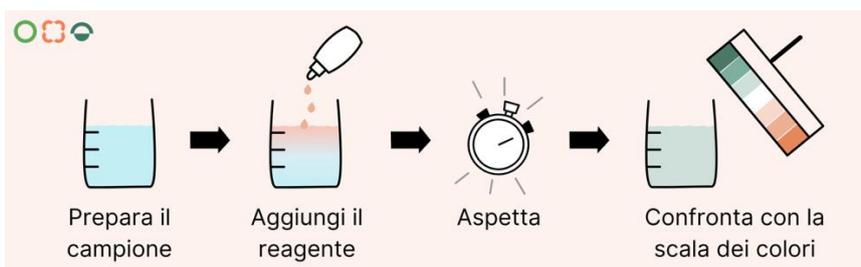


un toolkit di “[fitosensori](#)” che contiene risorse e linee guida per rilevare l'inquinamento atmosferico utilizzando le piante – ad esempio, numerose specie di piante sono sensibili all'[ozono](#): negli Stati Uniti, esiste un'intera rete di “[Ozone Gardens](#)”. Allo stesso modo, a Marsiglia, il progetto di *citizen science* [VOCE](#) ha coinvolto i cittadini nella [valutazione della qualità dell'aria](#) sulla base della biodiversità dei licheni e la crescita e fioritura di piante del genere *Petunia* ([Sezione 6](#)).

## 4.2 Strumenti per il monitoraggio dell'acqua

### 4.2.1 Kit commerciali a basso costo

I kit colorimetrici sono la scelta migliore per testare l'acqua in modo semi-quantitativo e qualitativo e sono ampiamente utilizzati in vari programmi di monitoraggio partecipativo (come il [Freshwater Watch](#)). Sono intuitivi e veloci da usare. Costano in genere tra i 50 e i 200 € per 30–100 test e possono essere acquistati sia da fornitori generici (come [Sigma Aldrich](#)) che da ditte specializzate (come [ChemMetrics](#) e [SenSafe](#)). I kit funzionano aggiungendo un reagente al campione (o immergendo una striscia reattiva nel campione). Dopo una breve attesa, il colore del campione (o della striscia) viene confrontato con una carta di riferimento che mette in relazione il colore a range di concentrazione ([Figura 8](#)). Per alcune sostanze, i kit sono disponibili in diversi intervalli di concentrazione, con limiti di rilevamento che variano ma si attestano generalmente nell'ordine delle parti per milione (ppm).



**Figura 8** Principio di funzionamento di un kit colorimetrico che utilizza reagenti liquidi.



La maggior parte dei kit è in grado di rilevare indicatori generali di qualità delle acque come il pH e i metalli solubili – tra cui arsenico, cromo, manganese e piombo. Alcuni prodotti sono stati progettati per inquinanti industriali come H<sub>2</sub>S e sostanze organiche – ad esempio, alcuni prodotti di ChemMetrics sono in grado di rilevare [solfuri](#) e [fenoli](#) in acqua. Esistono anche opzioni più costose specifiche per gli idrocarburi derivanti dal petrolio: il [Modern Water RaPID Assay](#) e l'[Hanby TPH Test Kit](#). Il primo quantifica il totale di BTEX/TPH in acqua utilizzando un test immunologico a particelle magnetiche e fornisce un risultato in meno di 60 minuti. Il secondo è un'opzione più qualitativa che prevede l'estrazione del campione con un solvente organico e il confronto del colore dell'estratto con una scala cromatica. Entrambi i kit sono disponibili anche per il suolo.

#### 4.2.2 Sensori commerciali a basso costo

I sensori commerciali a basso costo misurano principalmente semplici parametri di qualità dell'acqua come il pH e la conducibilità. Tra i tanti, consigliamo i [misuratori compatti Horiba LAQUAtwin](#) e il [fotometro eXact iDip](#). Per poche centinaia di euro, Horiba offre misuratori tascabili per pH, conducibilità, potenziale di ossido-riduzione e specifici ioni. Allo stesso prezzo, il fotometro eXact iDip quantifica i metalli e altri inquinanti, tra cui solfuri e cianuro di idrogeno, oltre ai parametri generali della qualità dell'acqua. Questo dispositivo funziona come un kit colorimetrico (Figura 8), ma utilizza un fotometro per quantificare con precisione il cambiamento di colore – quindi le concentrazioni.

#### 4.2.3 Altri approcci

Come per l'aria, l'**ispezione visiva** georeferenziata e le **fotografie** sono valide alternative a basso costo per il monitoraggio partecipativo della



qualità dell'acqua. Ad esempio, [Public Lab](#) descrive un metodo per distinguere tra pellicole batteriche naturali e inquinamento da petrolio, un approccio che può aiutare a localizzare l'acqua contaminata. Anche l'iniziativa Good Karma Project ([Sezione 6.1](#)) ha coinvolto i residenti a segnalare l'inquinamento da pellet di plastica su una [mappa online](#). Il **biomonitoraggio** è un'ottima opzione anche per gli ecosistemi acquatici: ad esempio, l'associazione francese VOCE ha organizzato attività di monitoraggio con il club subacqueo locale per valutare l'impatto del complesso petrolchimico di Marsiglia sulla [biodiversità marina](#).



*Illustrations by Storyset*



## **5. Come usare i dati per stimolare un cambiamento**

---



I progetti di *citizen science* sullo sfruttamento dei combustibili fossili sono spesso avviati per stimolare un cambiamento nelle operazioni industriali, nelle normative politiche e nella società civile. Le conoscenze acquisite in questi contesti acquistano quindi una dimensione che va oltre a puri scopi accademici: questi dati possono restituire potere ai cittadini, sostenendo le comunità locali nelle battaglie legali e aiutando a risolvere i conflitti ambientali. In questa sezione introduciamo e spieghiamo il concetto di *conoscenza praticabile* (“*actionable knowledge*”), offrendo inoltre suggerimenti concreti su come trasformare i progetti di scienza partecipata in opportunità concrete per apportare cambiamenti reali nelle società locali.

### 5.1 Cos'è la *actionable knowledge*?

Il termine ***conoscenza praticabile*** (o “*actionable knowledge*”, in inglese) si riferisce alle intuizioni e alle informazioni generate dalla ricerca scientifica che creano le condizioni per un cambiamento positivo nella società. In altre parole, significa tradurre dati scientifici in informazioni utilizzabili nei dibattiti pubblici, nell'educazione e nelle campagne di sensibilizzazione, contribuendo così a orientare i processi decisionali e a rafforzare il ruolo attivo dei cittadini nella vita pubblica.

A differenza della ricerca accademica, l'efficacia dell'*actionable knowledge* dipende da un complesso intreccio di fattori – non è sufficiente che i professionisti raccolgano dati in modo tecnicamente corretto. Affinché i progetti generino un cambiamento reale nella società, è essenziale che siano chiaramente collegati ad applicazioni concrete e che coinvolgano fin dall'inizio i membri della comunità e i decisori politici. È inoltre cruciale che vengano adottati diversi meccanismi di finanziamento, consentendo a garantire una sostenibilità a lungo termine del progetto e un partenariato attivo tra tutti gli attori coinvolti. Coinvolgere *tutti i possibili interessati* nella



pianificazione del progetto, nella raccolta e nella validazione dei dati è infatti fondamentale per realizzare una vera e propria **“democrazia della conoscenza”** – ovvero per produrre informazioni legittimate da una pluralità di soggetti della società civile, non solo dalle “autorità della conoscenza” (ad esempio, le istituzioni accademiche). Coinvolgere le comunità locali nella raccolta dei dati attraverso metodi vari – *qualunque tipo* di dato, non solo le concentrazioni di inquinanti! – rappresenta anche una forma di **“giustizia cognitiva”**, in quanto riconosce e valorizza sistemi di conoscenza storicamente svalutati o ignorati, come quelli delle popolazioni indigene (ad esempio, i nativi americani).

Per essere efficace, *l' actionable knowledge* deve tenere conto della complessità dei problemi che cerca di risolvere e della varietà dei dati coinvolti. In questo contesto, **gestire correttamente l'incertezza** è fondamentale. L'incertezza dei dati deve essere chiaramente definita e comunicata a tutti gli attori – alcuni studiosi hanno persino suggerito di organizzare attività per sviluppare una "sensibilità all'incertezza". Almeno in parte, l'incertezza deve anche essere accettata. Questo obiettivo può essere raggiunto adottando un **approccio scientifico "post-normale"**, in cui l'incertezza è riconosciuta come un fattore determinante nella conoscenza relativa a questioni complesse come l'ambiente e la salute. L'incertezza può anche essere mitigata adottando alcune delle strategie descritte nella prossima sezione.

## 5.2 Come è possibile *attivare* i dati ambientali per creare un cambiamento?

Questa sezione riassume le migliori pratiche per massimizzare la produzione di *actionable knowledge* nei progetti di scienza partecipata. Queste pratiche rientrano in due categorie: possono essere pratiche **socio-tecniche** – quindi relative a miglioramenti



tecnologici e cambiamenti organizzativi – o **socio-politiche** – incentrate invece su norme sociali, sul comportamento e sulla politica.

Le migliori pratiche socio-tecniche includono tre azioni chiave (Figura 9, lato sinistro).

1. Migliorare la **comunicazione e la visibilità del progetto** utilizzando piattaforme esistenti, interagendo con i media di comunicazione (sia tradizionali che moderni) e organizzando riunioni faccia a faccia per favorire le interazioni interpersonali.
2. **Collegare i risultati del progetto ad obiettivi politici** coinvolgendo i decisori politici nella progettazione e allineando i risultati con le priorità politiche.
3. Garantire l'**accuratezza dei dati** attraverso la formazione e il supporto da parte di professionisti.

Le migliori pratiche socio-politiche si concentrano su tre temi principali (Figura 9, lato destro).

1. Definire la **migliore modalità di partecipazione dei cittadini** – progetti con un maggiore coinvolgimento dei cittadini hanno maggiori probabilità di generare *conoscenza praticabile*.
2. Adottare un **approccio orientato alla giustizia**, garantendo ad ogni cittadino accesso a conoscenze pertinenti e puntando a realizzare una "democrazia della conoscenza".
3. Fare in modo che **i dati siano socialmente solidi** includendo le conoscenze tradizionali, assicurandosi che i dati siano co-prodotti e gestendo l'incertezza in modo adeguato.



## SOCIO-TECNICO

### 1. Rafforzare la visibilità e la comunicazione

**1.1** Creare un portale informativo online sulla citizen science, comprensivo di una base di conoscenze sulle iniziative in tutta Europa, argomenti trattati, strumenti e risorse.

**1.2** Comunicare in modo trasparente le metodologie utilizzate e rispettare le buone pratiche.

**1.3** Promuovere la disponibilità dei dati di citizen science su piattaforme aperte, esistenti o nuove, e garantire che i meccanismi ufficiali di rendicontazione possano accettare e integrare questi dati.

**1.4** Coinvolgere con successo i media tradizionali (giornali, TV) e i divulgatori scientifici; utilizzare reti e piattaforme di social media.

**1.5** Organizzare incontri in presenza che favoriscano l'interazione sociale e valorizzino il successo.

### 2. Collegare i risultati con le priorità politiche

**2.1** Prendere di mira i quadri politici ambientali a diversi livelli. Rendere esplicite le relazioni tra i progetti di citizen science, i temi del Green Deal e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile.

**2.2** Aumentare la consapevolezza dei decisori politici, in particolare delle autorità locali, sull'importanza dei risultati della citizen science – ad esempio, organizzando eventi di matchmaking per promuovere lo scambio e il trasferimento di conoscenze.

### 3. Qualità dei dati come accuratezza

**3.1** Fornire formazione e risorse sulle metodologie di gestione della qualità dei dati e sugli standard di buone pratiche.

**3.2** Illustrare come è stata raggiunta l'affidabilità dei dati, al fine di ottenere fiducia e allinearsi ai requisiti normativi e di monitoraggio ambientale da parte dei governi.



## SOCIO-POLITICAL

### 4. Definire la modalità appropriata di partecipazione

**4.1** Riconoscere la modalità migliore di coinvolgimento dei cittadini considerando i quattro livelli definiti da Haklay (2013): crowdsourcing, distributed intelligence, scienza partecipativa, partecipazione estrema.

**4.2** Utilizzare modalità di scienza fortemente partecipativa ("estrema") nelle controversie ambientali per consentire alle comunità colpite dall'inquinamento di far sentire la propria voce.

### 5. Adottare approcci orientati alla giustizia

**5.1** Abbracciare la giustizia della conoscenza — garantendo che tutte le comunità, in particolare quelle emarginate o maggiormente colpite da problemi ambientali, abbiano accesso alle conoscenze scientifiche e tecniche pertinenti, considerando l'esistenza di diversi sistemi di conoscenza.

**5.2** Puntare a raggiungere la democrazia della conoscenza attraverso la validazione delle conoscenze pubbliche nel dominio pubblico.

### 6. Qualità dei dati come robustezza sociale

**6.1** Rafforzare la legittimità dei dati coinvolgendo un numero più ampio di persone nella discussione delle conoscenze (non solo quelle con accreditamento istituzionale), e formando comunità di pari estese (ad esempio, giurie cittadine, focus group, consensus conference).

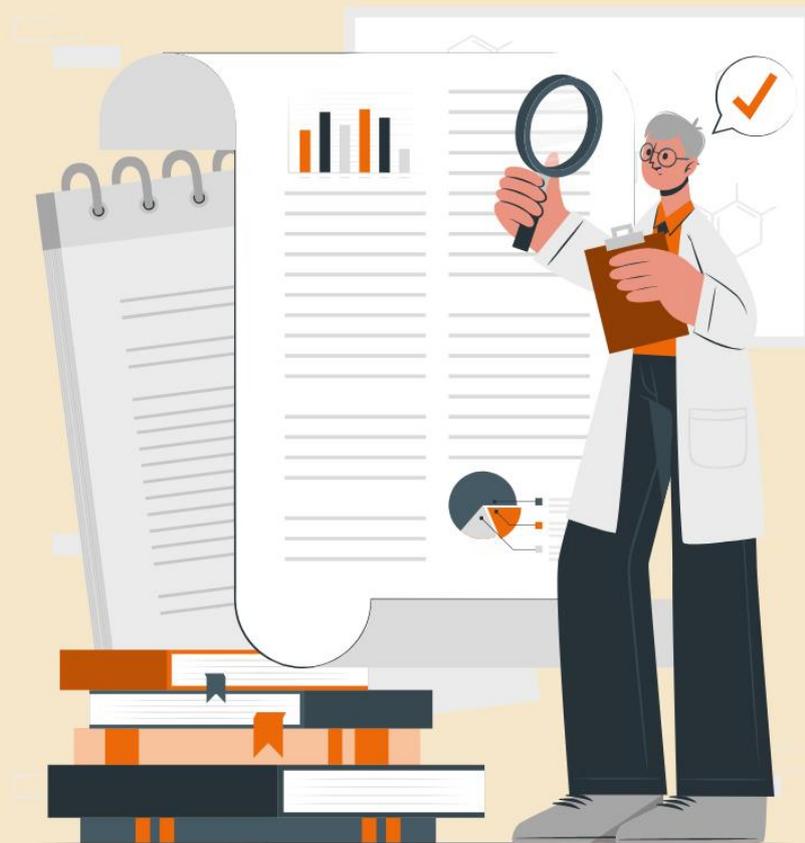
**6.2** Co-produrre conoscenza includendo una pluralità di prospettive legittime e un dialogo inclusivo.

**6.3** Adottare strategie per costruire la credibilità implementando diverse tecniche nelle varie fasi del progetto, dando priorità alla formazione, alla consulenza scientifica, alla pubblicazione e all'uso gestionale.

**6.4** Dimostrare che i cittadini coinvolti nel monitoraggio possiedono un livello di formazione ed esperienza tale da poter essere definiti esperti.

**6.2** Gestire l'incertezza riconoscendo la complessità della co-produzione della conoscenza e promuovendo una "sensibilità all'incertezza" attraverso una serie di attività, come ad esempio seminari che coinvolgono le parti interessate.

**Figura 9** Riepilogo delle pratiche socio-tecniche e socio-politiche per massimizzare la produzione di actionable knowledge nei progetti di scienza partecipata.



*Illustrations by Storyset*



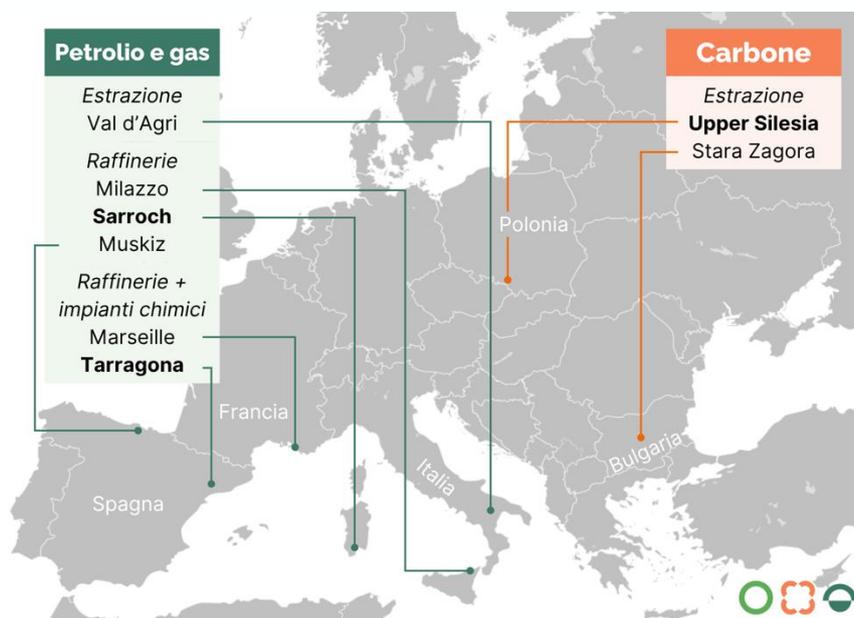
## **6. Alcuni esempi per farsi ispirare, in Europa e nel mondo**

---



Questa sezione conclusiva descrive i progetti di *citizen science* avviati da cittadini preoccupati dall'impatto dello sfruttamento dei combustibili fossili nelle loro comunità. Queste iniziative hanno coinvolto i cittadini a diversi livelli e hanno tutte avuto successo, anche se in modi differenti: sebbene solo alcune abbiano portato a cambiamenti tangibili, tutte le iniziative hanno contribuito a sensibilizzare e educare le comunità locali o hanno aiutato a raccogliere le prime prove di un inquinamento non ancora identificato dalle autorità. Queste esperienze hanno evidenziato l'importanza di includere tutti – responsabili politici, membri della comunità e accademici – nella raccolta dati e di contestualizzare le conoscenze. Alcuni dei progetti di maggior successo si sono basati su osservazioni apparentemente semplici e scontate – come la segnalazione di odori sgradevoli o episodi di *gas flaring* – sottolineando ulteriormente come la conoscenza diretta in possesso degli abitanti di un certo territorio possa essere preziosa quanto dati scientifici ottenuti con strumenti sofisticati e costosi.

La nostra analisi ha individuato 8 progetti europei di scienza partecipata sull'estrazione e il processamento dei combustibili fossili, la maggior parte dei quali si è concentrata attorno a grosse raffinerie e impianti petrolchimici nell'Europa occidentale (Figura 10).



**Figure 10** Sedi delle iniziative europee di scienza partecipata sull'estrazione e la lavorazione dei combustibili fossili. I progetti descritti più dettagliatamente nel testo sono evidenziati in grassetto; si veda la [Sezione 7](#) per maggiori dettagli sulle altre iniziative riportate nella figura.

Di seguito, analizzeremo in dettaglio solo tre casi studio: quello relativo al complesso petrolchimico di Tarragona ([Sezione 6.1](#)); quello sulla raffineria Saras in Sardegna ([Sezione 6.2](#)); e quello sulle miniere di carbone in Polonia ([Sezione 6.3](#)). La [Sezione 6.4](#) conclude questo capitolo con alcuni esempi virtuosi al di fuori dell'Europa – che speriamo possano fungere da ulteriore spunto a future iniziative di giustizia ambientale dal basso.

## 6.1 Il complesso petrolchimico di Tarragona

### 6.1.1 Il problema

Tarragona, sulla costa spagnola del Mediterraneo settentrionale, ospita il più grande complesso petrolchimico dell'Europa meridionale. Operativo dagli anni '60, il complesso comprende circa 30 aziende e si estende su oltre 1'200 ettari. Repsol è una delle aziende principali, e possiede una raffineria e diversi impianti petrolchimici. Carburanti e materie plastiche sono i principali beni prodotti a Tarragona.



In aggiunta ad alcuni grossi disastri ambientali – come lo scarico di acque reflue tossiche nel fiume Francolí (2008) e la fuoriuscita di 40'000 tonnellate di nafta nelle falde acquifere (2013) –, i residenti lamentano da tempo il persistente cattivo odore intorno al complesso industriale. A seguito di una fuoriuscita di pellet di plastica nel 2018, è cresciuta anche la preoccupazione per l'inquinamento da microplastiche lungo il tratto costiero adiacente all'impianto.

### 6.1.2 Le iniziative

Nel 2008, alcuni residenti delle comunità vicine al complesso petrolchimico hanno creato [Plataforma Cel Net](#), un'organizzazione della società civile che si è posta come obiettivo la raccolta di dati indipendenti sulla qualità dell'aria locale. Con il supporto di altre organizzazioni, nel 2014 Plataforma Cel Net ha commissionato uno studio all'Università Politecnica della Catalogna, che ha rilevato più di 200 COV non metanici in campioni di aria raccolti attorno al complesso petrolchimico. La presenza di inquinanti come l'1,3-butadiene e l'ossido di etilene ha destato particolare preoccupazione in quanto cancerogeni ma non ancora regolamentati in Europa ([Sezione 3.2](#)).

Questi risultati hanno portato a delle [campagne](#) di sensibilizzazione dal basso come “Something smells bad” (“Qualcosa puzza”), “Saps què respires?” (“Sai cosa respiri?”) e “Tu també ho respires” (“Lo respiri anche tu”) organizzate da Plataforma Cell Net in collaborazione con [GEPEC-EdC](#), il gruppo di studio per la Protezione dell'Ecosistema Catalano e [La Canonja3](#). Anche [Enginyeria Sense Fronteres](#), il gruppo catalano di Ingegneri Senza Frontiere, ha organizzato attività simili. Nel complesso, queste iniziative hanno promosso ulteriori campagne di raccolta di dati, sensibilizzato l'opinione pubblica e sostenuto la definizione di nuove normative. L'università locale ha inoltre condotto ulteriori studi sulla qualità dell'aria per identificare i COV non metanici



responsabili del cattivo odore e altre sostanze tossiche non regolamentate per contribuire a individuare le aziende responsabili di queste emissioni.

Dopo una fuoriuscita di pellet di plastica nel 2018, la non-profit [Good Karma Project](#) ha lanciato [MEDPELLETS](#), un'iniziativa di scienza partecipata che si propone di comprendere le dinamiche dell'inquinamento da pellet di plastica nel Mediterraneo occidentale. Il progetto è svolto con il supporto della comunità locale di surfisti.

### 6.1.3 I risultati

Sebbene gli sforzi di Plataforma Cel Net e dei suoi collaboratori siano stati fondamentali per sensibilizzare gli stakeholder locali sul problema, il loro lavoro è ben lontano dall'essere concluso. Un successo parziale è arrivato nel 2015 con la creazione di un Comitato Territoriale per la Qualità dell'Aria, un organismo che include cittadini, associazioni della società civile, amministrazioni, centri di ricerca e aziende e si propone di creare un nuovo sistema di controllo, regolamentazione, prevenzione e protezione all'interno dell'area petrolchimica. Tuttavia, dato che molti COV non metanici non sono ancora regolamentati, il Comitato ha per ora faticato ad ottenere risultati concreti.

Nel 2023, il Parlamento Catalano ha approvato una mozione per aumentare i punti di monitoraggio dell'aria nell'area intorno al complesso petrolchimico e per includere l'1,3-butadiene agli inquinanti da monitorare. Altri successi includono l'installazione di due stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria in tempo reale a [El Morel](#) e dei sensori per le perdite di benzene nei dintorni del complesso; la formazione del [Gruppo di Qualità dell'Aria di Tarragona](#), un'iniziativa guidata dall'industria per finanziare studi sulla qualità dell'aria; e il lavoro del [Colectivo Ronda](#), che ha portato Repsol in



tribunale per aver fatto ammalare un lavoratore di cancro. Nel corso degli anni, la stessa industria ha anche mostrato una certa capacità di autoregolamentazione, come dimostrato dalla significativa diminuzione delle emissioni di 1,3-butadiene nel corso degli anni (diminuzione del 40 – 80% dal 2013). Ad ora, Plataforma Cel Net sta ancora premendo per ottenere una regolamentazione formale per l'1,3-butadiene e l'ossido di etilene, che non sono ancora inclusi nella normativa europea e nazionale ([Sezione 3.2.2](#)).

In merito alle microplastiche, i dati raccolti da Good Karma Project hanno stimolato ulteriori ispezioni nelle aziende locali, con conseguenti sanzioni e l'avvio di procedimenti per negligenza. Nella proposta per la prossima legislazione sui rifiuti, il Parlamento della Catalogna ha incluso anche una sezione sulla gestione dei pellet di plastica. Se approvata, questa disposizione conferirebbe alla Catalogna un ruolo pionieristico in Europa nell'affrontare il problema delle microplastiche.

## 6.2 La raffineria Sarlux

### 6.2.1 Il problema

Attiva dal 1965, Saras S.p.A. gestisce la raffineria Sarlux a Sarroch (Sardegna), una delle più grandi d'Europa. La raffineria produce gas di petrolio liquefatto (GPL), benzina, nafta, gasolio e carburante per aviazione, principalmente per il mercato italiano e spagnolo. Sarlux ha una storia di disastri ambientali e impatti cronici che associazioni locali come Donne Ambiente Sardegna e Sardegna Pulita denunciano da anni. Nei primi anni 2000, condizioni socio-politiche ottimali consentito a questi sforzi di concretizzarsi in un progetto coeso.



## 6.2.2 L'iniziativa

Nel 2006, la municipalità di Sarroch, in collaborazione con le Università di Firenze e Cagliari, ha lanciato il progetto "[Sarroch Ambiente e Salute](#)". Lo spunto all'iniziativa è giunto da uno studio del 2006 realizzato dall'Università di Firenze, dove si dimostrava una maggiore incidenza di alcuni tipi di cancro e patologie respiratorie nei residenti nell'area adiacente alla raffineria Sarlux. Tra le possibili cause, lo studio ha identificato l'inquinamento locale dell'aria come una delle cause determinanti queste patologie. Durante la prima fase dell'iniziativa (2006 – 2008), i partner hanno organizzato delle attività di disseminazione, pubblicato delle linee guida sulle patologie respiratorie nei bambini e portato avanti due studi epidemiologici sui bambini e la qualità dell'aria. La municipalità ha inoltre acquistato una stazione mobile di monitoraggio dell'aria da utilizzare nei dintorni della raffineria. Collettivamente, gli studi hanno confermato un aumento dell'incidenza di patologie respiratorie nei bambini e rafforzato la connessione tra i problemi di salute e gli alti livelli di SO<sub>2</sub>, IPA e metalli pesanti. La seconda fase del progetto è iniziata nel 2009 con ulteriori studi epidemiologici e di qualità dell'aria e con la creazione di una "biobanca", dove campioni biologici prelevati dai residenti possono essere conservati per studi futuri. La biobanca è stata aperta nel 2010 e ha operato fino al 2016.

## 6.2.3 I risultati

Durante i suoi "anni d'oro" (2006 – 2009), il progetto ha raggiunto diversi risultati significativi. Il più notevole è stato la riduzione della soglia di attenzione dell'SO<sub>2</sub> da 500 a 100 µg/m<sup>3</sup> (concentrazioni orarie), un risultato ottenuto nel 2008 durante una tavola rotonda con le autorità nazionali. Durante questo incontro, il Ministero ha anche tagliato le emissioni annuali di SO<sub>2</sub> di Sarlux da 14'000 a 7'000



tonnellate, chiedendo inoltre alla raffineria di monitorare le emissioni di PM<sub>10</sub> e installare dei filtri. Nel 2014, la municipalità ha misurato livelli di SO<sub>2</sub> consistentemente al di sotto dei limiti di legge (un risultato che è stato ottenuto ogni anno a partire dal 2009) e ha osservato una riduzione dei ricoveri ospedalieri per problemi respiratori – sebbene altre patologie siano rimaste comunque al di sopra della media regionale. Rapporti più recenti della Sarlux ([2022 – 2024](#)) e l'Università di Cagliari ([2022](#)) hanno confermato questa riduzione sostanziale dei livelli di SO<sub>2</sub>, che si attestano consistentemente al di sotto del limite imposto dallo stato italiano e dall'OMS.

Oltre ad essere stato fondamentale per aumentare la consapevolezza sugli impatti ambientali della raffineria, il progetto “Sarroch Ambiente e Salute” ha anche evidenziato quanto cruciale sia un forte supporto politico per ottenere un cambiamento. Se da un lato il coinvolgimento del Comune è stato determinante nell'avvio del progetto, lo scarso interesse delle successive amministrazioni ha senza dubbio contribuito al suo declino. Secondo una [lettera](#) di Donne Ambiente Sardegna, al 2021, non sono stati effettuati ulteriori studi epidemiologici e la biobanca è scomparsa.

## 6.3 Estrazione di carbone in Polonia

### 6.3.1 Il problema

Tra fine luglio e inizio agosto 2022, il fiume Oder in Polonia è stato interessato da un grave episodio di inquinamento che ha causato la morte di 360 tonnellate di pesci e altri organismi. Indagini condotte da esperti polacchi, tedeschi e dalle [autorità dell'UE](#) hanno tutte identificato come causa probabile di questo disastro ecologico la fioritura dell'alga tossica *Prymnesium parvum*. Secondo queste investigazioni, la proliferazione repentina di questo organismo – che prospera in acque salmastre – è stata causata da un anomalo aumento



di salinità delle acque fluviali. Sebbene non sia stato possibile identificare una singola fonte di inquinamento, tutte le indagini hanno concordato che la causa fosse in gran parte antropica.

Questo evento – il peggior disastro fluviale nella storia moderna europea – ha portato nuova attenzione sull'impatto ambientale dell'estrazione del carbone nell'Alta Salesia. In quest'area della Polonia, le miniere di carbone producono acque reflue estremamente salate: durante l'estrazione, le acque di falda penetrano nella miniera e dissolvono gli alogenuri (minerali contenenti sali facilmente solubili in acqua) che sono naturalmente presenti in questi giacimenti (si veda la [Sezione 2.3](#)). A novembre 2022, Greenpeace Polonia ha realizzato uno [studio indipendente](#) che ha evidenziato concentrazioni di sale estremamente elevate in diversi scarichi di acque reflue di miniere di carbone – non solamente nell'Oder ma anche nel Vistula, il fiume più lungo della Polonia. Durante alcune indagini sulle possibili cause dell'utilizzo di questa pratica scorretta, Greenpeace ha descritto il comportamento discutibile del governo nazionale, che ha rinnovato i permessi di diverse miniere senza richiedere una Valutazione di Impatto Ambientale. Questa scappatoia ha permesso alle aziende di continuare a operare come facevano prima degli anni '90, quando le moderne normative ambientali ancora non esistevano. Sebbene la legge polacca sia stata ora allineata alle direttive UE, le miniere che hanno rinnovato i permessi durante questa finestra temporale "favorevole" continuano a operare come 40 anni fa.

### 6.3.2 L'iniziativa e i risultati attesi

Parallelamente alle attività portate avanti dagli attivisti di Greenpeace Polonia, l'associazione polacca di pesca ha lanciato **#WPŁYWOWI**, un'iniziativa di scienza partecipata condotta in collaborazione con la banca BNP Paribas, l'azienda Expert Float e l'Università di Varsavia. Il



progetto mira a monitorare la conduttività dell'acqua del fiume utilizzando la "[AGUARD float](#)", un galleggiante per pesci che misura temperatura e la conduttività in tempo reale. Lanciata nell'aprile 2024, l'iniziativa si propone di raggiungere 2'000 persone entro dicembre 2024 – questo è il numero di galleggianti messi a disposizione nell'ambito della campagna [BNP Paribas #WPŁYWOWI](#). Finora l'iniziativa ha ottenuto un ampio sostegno mediatico, incluso quello delle piattaforme Onet Group e Noizz.pl.

Sebbene il disastro sia troppo recente per aver prodotto cambiamenti concreti, le iniziative in corso hanno grande potenziale per stimolare discussioni e cambiamenti in merito alle pratiche di estrazione del carbone in Polonia. #WPŁYWOWI sta contribuendo a educare la popolazione locale e a sensibilizzarla sull'inquinamento delle acque, un argomento che viene trattato meno spesso rispetto alla matrice aria. Allo stesso tempo, Greenpeace Polonia mantiene alta l'attenzione sulle pratiche minerarie polacche, sostenendo la necessità di valutazioni di impatto ambientale per tutte le miniere di carbone, l'implementazione di tecnologie di desalinizzazione, l'armonizzazione della legislazione e la creazione di un parco nazionale lungo il tratto meridionale del fiume Oder.

## 6.4 Esempi virtuosi al di fuori dell'Europa

Quest'ultima sezione descrive due esempi di iniziative di scienza partecipata "estrema" svoltesi al di fuori dell'Europa: in Ecuador ([Sezione 6.4.1](#)) e in Myanmar ([Sezione 6.4.2](#)). Altri esempi notevoli includono il lavoro della "[Louisiana Bucket Brigade](#)", una non-profit statunitense che ha usato il "Bucket Monitor" ([Section 4.1.3](#)) per sostenere i residenti del "Cancer Alley" in Louisiana; e "[Citizen Sense](#)", un'iniziativa accademica basata in Inghilterra che aiuta comunità sparse in tutto il mondo a monitorare la salute ambientale – ad



esempio, Citizen Sense ha sviluppato la Frackbox ([Sezione 4.1.2](#)) per aiutare i residenti vicino a [un impianto di fratturazione idraulica in Pennsylvania](#) a monitorare la qualità locale dell'aria. Oltre agli Stati Uniti, menzioniamo anche l'iniziativa nigeriana "[Media Awareness and Justice Initiative](#)", che ha svolto un ruolo chiave nella promozione della giustizia ambientale nel Delta del Niger, una delle aree più inquinate dal petrolio al mondo.

#### 6.4.1 Vietare il *gas flaring* in Ecuador

Nel 1989, l'UNESCO ha istituito la Riserva della Biosfera dello Yasuní per proteggere la biodiversità e il patrimonio culturale dell'Amazzonia ecuadoriana. Purtroppo, alcune parti della riserva si sovrappongono a giacimenti di petrolio e gas sfruttati fin dagli anni '70. La Chevron-Texaco è stata la principale azienda operante nell'area, causando grave degrado ambientale con le sue attività di estrazione. Nonostante l'azienda sia già stata citata in giudizio e dichiarata colpevole, le pratiche di estrazione della Chevron-Texaco – in particolare l'utilizzo sconsigliato del *gas flaring* o combustione a torcia ([Box 2](#)) –, destano ancora preoccupazione per il loro significativo impatto ambientale.

Il progetto di scienza partecipata [A.M.A.Z.O.N.Y.A.](#) – “Mapping gas flaring from below” – è stato lanciato in risposta a due fattori indipendenti: movimenti dal basso e il mondo accademico. Nel 2020, i ricercatori dell'Università di Padova hanno utilizzato dati satellitari per identificare le torce attive tra il 2010 e il 2017 nell'Amazzonia ecuadoriana. Questo lavoro ha rivelato siti attivi anche nella Riserva Yasuní e ha fornito prove di 34 nuovi siti, di cui 12 nel campo di Tiputini, un'area protetta. Partendo da questi risultati, A.M.A.Z.O.N.Y.A. ha coinvolto le comunità indigene e agricole del posto in un esercizio di mappatura partecipata del territorio.



Questo progetto ha perseguito diversi obiettivi, tra cui la validazione dei dati satellitari, l'identificazione di nuovi siti di combustione e la generazione di informazioni indipendenti e accessibili per la promozione della giustizia ambientale a livello locale. A.M.A.Z.O.N.Y.A. ha identificato 295 siti di *gas flaring* mai mappati in precedenza, alcuni dei quali nell'area di protezione integrale della Riserva. La comunità locale ha svolto un ruolo fondamentale nel progetto, identificando torce non visibili da mappe satellitari e riportando impatti ambientali generalmente non considerati, come danni a insetti e suolo. Oltre all'Università di Padova, A.M.A.Z.O.N.Y.A. ha coinvolto anche l'Unión de Afectados y Afectadas por las Operaciones Petroleras de Texaco e la Fundación Alejandro Labaka, un'organizzazione no-profit dedicata alla ricerca, alla promozione culturale e al supporto delle comunità indigene dell'Amazzonia settentrionale.

Nel febbraio 2020, questi risultati hanno dato il via alla campagna "¡Apaguen Los Mecheros!", che ha comportato un'azione legale al Tribunale di Nueva Loja per uno stop totale nella pratica del *gas flaring* in Ecuador. Sebbene inizialmente respinto, a gennaio 2021 il Tribunale ha accolto la proposta, concedendo alle aziende 18 mesi di tempo per chiudere tutti i siti di *gas flaring* in prossimità alle aree popolate e fino al 2030 per porre fine a tutte le attività di torcia a gas. Nonostante il successo legale, l'Ecuador [sta ancora lottando](#) per far sì che il provvedimento legale si trasformi in azioni concrete da parte delle compagnie petrolifere.

#### 6.4.2 Migliorare le pratiche di estrazione del carbone in Myanmar

Dopo la scoperta di giacimenti di carbone nell'area di Ban Chaung, nel 2011 il governo del Myanmar ha concesso alla East Star Company una licenza di 25 anni per l'estrazione di carbone. Nel 2015, i residenti



hanno iniziato a notare la presenza di cenere ardente in una grande pila di rifiuti in prossimità del sito di estrazione. Oltre all'inquinamento atmosferico causato dalla combustione, questo fenomeno ha causato un grave disagio ai residenti a causa del rischio di incendi boschivi. A seguito di ripetute segnalazioni, nel 2017 il governo ha ordinato alla East Star Company di migliorare le sue pratiche di gestione dei rifiuti. L'azienda ha risposto ricoprendo la pila di rifiuti con uno strato di un metro di terra e foglie di banana, che in poco tempo ha iniziato ad erodersi. Durante l'anno successivo, volontari locali hanno segnalato 47 casi di cenere ardente o episodi di combustione, evidenziando l'inefficacia delle azioni di bonifica intraprese dall'azienda.

All'inizio del 2019, uno scienziato della Naresuan University (Thailandia) ha coinvolto la comunità locale in un [progetto di citizen science](#) sulla gestione del rischio associato agli scarti dell'estrazione del carbone. L'iniziativa ha preso avvio nell'estate del 2019 con due indagini sul campo dove sono state raccolte evidenze di combustione lenta a terra utilizzando telecamere termiche e visive. Il team ha anche utilizzato dispositivi portatili per rilevare i gas tipicamente associati alla combustione del carbone, tra cui COV, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e monossido di carbonio. Analisi chimiche di campioni di acqua e suolo hanno inoltre confermato l'esistenza di una contaminazione da drenaggio acido, con valori di pH tra 2.3 e 3.1. ([Sezione 3.2.2](#)). Il team ha inoltre analizzato foto e resoconti di incidenti passati, risultati di campionamenti indipendenti e valutazioni sanitarie raccolte dalla popolazione locale tra il 2015 e il 2019.

Dopo aver raccolto i dati, il ricercatore ha formato i residenti sulle modalità possibili di gestione dei rifiuti dell'estrazione del carbone e ha guidato la discussione. Sebbene i residenti preferissero la cementificazione e l'estinzione degli incendi e dallo smaltimento esterno, si sono dichiarati aperti anche alla sigillatura superficiale – la



pratica scelta dell'azienda – a condizione che fosse implementato un sistema di monitoraggio ambientale a lungo termine. Questo contributo, frutto di informazioni raccolte dalla comunità, avrebbe dovuto essere trasmesso a breve all'amministrazione locale per valutare le azioni correttive intraprese da East Star Company.



*Illustrations by Storyset*



## 7. Riferimenti selezionati e letture consigliate

---



## Sezione 2

Questa sezione si basa sul materiale didattico dell'Autorità Nazionale Italiana per gli Idrocarburi ([“Conosciamo il gas e il petrolio”](#)), lo Smithsonian National Museum of Natural History ([“What are fossil fuels?”](#)), e l'Union of Concerned Scientists ([“How coal works”](#)); il libro [“Petroleum formation and occurrence”](#) (Tissot and Welte, Springer, 1987); la pubblicazione [“Petrolio e biodiversità in Val d'Agri”](#) di Diantini (2016); e la [EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook](#) (2023). Le informazioni sul *gas flaring* (Box 1) sono prese da [Facchinelli et al. \(2020\)](#), dal sito di [Earthworks](#) e dal sito della [Banca Mondiale](#).

## Sezione 3

La Sezione 3.1 è basata sulla pubblicazione [EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook](#) (2023), specificatamente sulle sezioni 1.B.1.a, 1.B.2.a.i, 1.B.2.b, 1.B.2.c e 2.B. Maggiori dettagli sulla radioattività naturale delle acque reflue si possono reperire nei seguenti documenti: [USGS Fact Sheet FS-142-99 \(1999\)](#) e [Hosseini et al. \(2012\)](#). Le informazioni presentate nei Box 2 e 3 derivano principalmente da [TPH Risk Evaluation at Petroleum-Contaminated Sites \(Capitolo 4, 2018\)](#) e dal [manuale dell'analizzatore di idrocarburi UVF-Trilogy](#).

Le linee guida per la qualità dell'aria sono tratte dai seguenti documenti: [WHO Global Air Quality Guidelines](#) (2021) e [Air Quality Guidelines for Europe](#) (seconda edizione, 2000). I valori di riferimento per i COV sono stati ottenuti dal sito dell'[Agenzia Ambientale Federale Tedesca](#) (300 µg/m<sup>3</sup>; valore indoor) e dal testo della [EU Industrial Emission Directive \(Directive 2010/75/EU\)](#) (2'000 µg/m<sup>3</sup>). Le linee guida per la qualità dell'acqua derivano dal documento [Guidelines on Recreational Water Quality, Volume 1: Coastal and Fresh Waters](#) (2021). Altri documenti utili che non sono stati utilizzati direttamente



nel testo sono [Guidelines for Drinking Water Quality](#) (4ª edizione, 2022) e [Guidelines for Drinking Water Quality: Small Water Supplies](#) (2024).

Gli standard di qualità ambientale a cui facciamo riferimento nel testo sono quelli più recenti disponibili al momento della scrittura, in particolare l'[EU Air Quality Directive](#) (Directive 2008/50/EC) e l'[Environmental Quality Standards Directive](#) (Directive 2013/39/EU). Altre normative rilevanti nell'Unione Europea a cui non facciamo esplicito riferimento includono l'[Industrial Emission Directive](#), la [Drinking Water Directive](#), la [Water Framework Directive](#), e la [Groundwater Directive](#). Per i composti non regolamentati nell'UE, rimandiamo il lettore all'Agenzia americana per la protezione ambientale (ad esempio, per l'[aria](#)), al [Canadian Council of Ministers of the Environment](#), o ad agenzie di altri stati.

Ulteriori informazioni possono essere reperite nel documento di review sugli [strumenti e delle tecnologie esistenti per il monitoraggio ambientale](#) disponibile sul sito di ERICA.

## Sezione 4

Se non fornite direttamente nel testo, ulteriori informazioni e dettagli tecnici sugli strumenti selezionati possono essere reperite nella review tecnica sugli [strumenti e delle tecnologie esistenti per il monitoraggio ambientale](#) disponibile sul sito di ERICA.

I dati relativi ai sensori Aeroqual S500 nella [Figura 5](#) sono stati ottenuti dal [sito del produttore](#). I limiti di rilevamento (LR) in ppm sono stati convertiti in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con la seguente formula:  $\text{LR } [\mu\text{g}/\text{m}^3] = \text{LR } [\text{ppm}] * \text{MW } [\text{g}/\text{mol}] * 1000 / 24.45$ , dove MW è il peso molecolare. Per i COV totali abbiamo utilizzato peso molecolare medio di 100 g/mol.



I dati di Radiello in [Figura 7](#) sono stati forniti dal produttore. I limiti di rilevabilità sono 0.05 – 0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per benzene, toluene, etilbenzene e xileni (BTEX; esposizione di 7 giorni); 0.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per 1,3-butadiene (esposizione indoor di 8 ore); 1 ppb (= 1.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) per  $\text{H}_2\text{S}$  (esposizione di 1 giorno); 1 ppb (= 2.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) per  $\text{SO}_2$  (esposizione di 7 giorni); e 1 ppb (= 1.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) per  $\text{NO}_2$  (esposizione di 7 giorni). I dati per Aeroqual S500 provengono dalla [Figura 5](#).

## Sezione 5

Le pratiche socio-politiche presentate in [Figura 9](#) sono state derivate principalmente da [Marres \(2018\)](#) (concetto di “democrazia della conoscenza”), [Visvanathan \(2005\)](#) (concetto di “giustizia cognitiva”), e da Functowicz and Ravetz ([1993](#), [2003](#); concetto di “scienza post-normale”). Altri autori rilevanti sono Barbara Allen – promotrice del progetto di scienza partecipata a Marsiglia ([Sezione 6](#)) e autrice di libri e articoli sulla *citizen science* per la giustizia ambientale (ad es., [Allen, 2003](#); [Allen, 2017](#); [Allen, 2018](#)) – e Leona F. Davis, che in una recente pubblicazione ha analizzato progetti *citizen science* che hanno prodotto un cambiamento nella società ([Davis and Ramirez-Andreotta, 2021](#)). Una lista completa dei riferimenti bibliografici si trova nella nostra [review sulle migliori pratiche per ottenere actionable knowledge](#), documento reperibile sul sito del progetto.

Le migliori pratiche socio-tecniche sono state riassunte dal documento [Best Practices in Citizen Science for Environmental Monitoring](#) (European Commission, 2020) e due pubblicazioni accademiche: [Turbè et al. \(2019\)](#) e [Hecker et al. \(2018\)](#).

## Sezione 6

Per maggiori informazioni sulle iniziative di *citizen science* nella [Figura 10](#) si consulti, per la Val d’Agri, il sito di [COVA Contro](#) e l’articolo di



[Diantini \(2016\)](#); per Muskiz, il sito web di [Coordinadora Anticoke](#); per [Marsiglia, Jeanjean et al. \(2023\)](#), il sito web di [VOCE](#) e il sito web di [EPSEAL-FOS](#). Per informazioni più dettagliate sulle iniziative citate in [Figura 10](#) e nella Sezione 6, consultare la nostra [review sulla citizen science per il monitoraggio ambientale](#) disponibile sul sito di progetto.



Co-funded by  
the European Union



# ERICA

Environmental monitoRIng  
through Civic engAgement



[www.ericaproject.eu](http://www.ericaproject.eu)



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA



UNIwersytet  
IM. ADAMA MICKIEWICZA  
W POZNAMIU



Questo progetto ha ricevuto finanziamenti dal programma Erasmus+ 2023 dell'Unione Europea ai sensi della convenzione di sovvenzione n. 2023-1-NL01-KA220-ADU-000154929. Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili.