



Ricerca e ambiente: un'alleanza strategica per il futuro del territorio

Prof. Mariachiara Zanetti

Vicerettore per le Politiche Territoriali, Nazionali ed Europee del
Politecnico di Torino



Piano Strategico del Politecnico di Torino

“Il nostro Ateneo si proporrà come interlocutore istituzionale con la Commissione Europea, i Ministeri, le Regioni e i Comuni, operando con un nuovo modello di relazione, coordinato e organizzato, per presidiare contesti tematici e offrire i propri saperi interdisciplinari e un approccio technology & science based per lo sviluppo di azioni anche a supporto di politiche, normative e regolamenti.” **(Attività Tech4Policy)**

ACCORDO QUADRO DI COOPERAZIONE ISTITUZIONALE ARPA PIEMONTE

POLITECNICO DI TORINO RINNOVATO NEL 2025 per 5 anni



Piano Strategico del Politecnico di Torino

Definizione ambiti di Tech4Policy: Energia, CRM e aspetti ambientali, AI, Lavori Pubblici, Landscape&Cultural Heritage, Automotive, Aerospazio, Cyber Security, Osservazioni della Terra

Progetto referenti: 16 referenti del Politecnico di Torino + 2 Vicerettori nei diversi ambiti.



Supporto della ricerca alle attività di pianificazione della qualità dell'aria



Verso una pianificazione più efficiente

La nuova Direttiva UE 2024/2881 sulla qualità dell'aria introduce diverse novità riguardanti i piani regionali di qualità dell'aria (PRQA).

1. Rafforzamento del ruolo dei piani

Obiettivo esplicito: ridurre al minimo il periodo di superamento dei limiti (più stringente rispetto al passato)

2. Maggiore integrazione con altre politiche

Piani coerenti con altri strumenti di pianificazione (energia, clima, trasporti, industria, etc.)



2018



2024

Causes



Emissions

Different pollutants



Chemical transformation



Formation

Impact of weather and topography



Dispersion and concentration

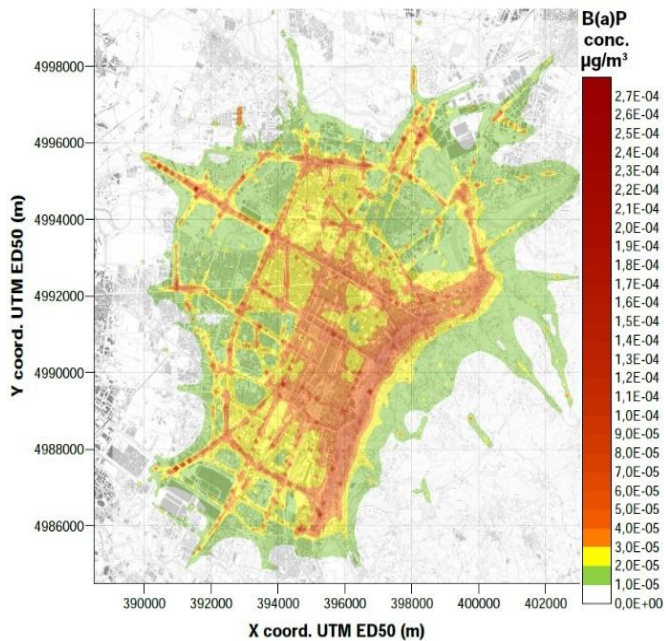
Exposure





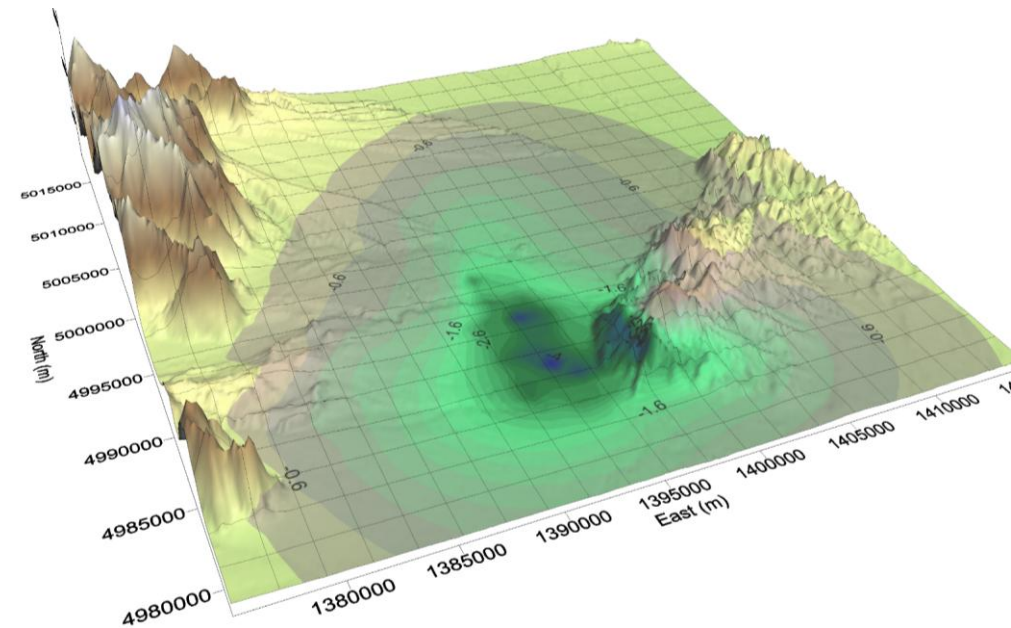
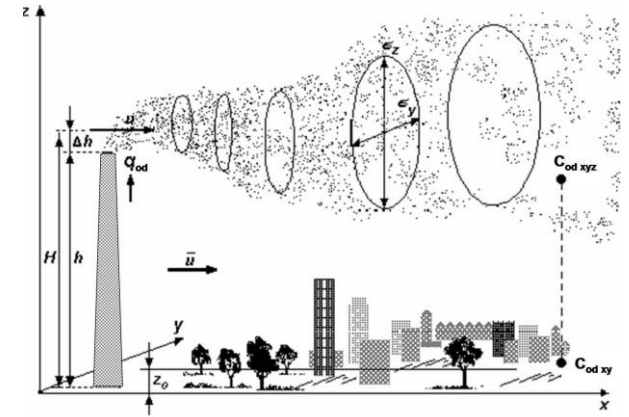
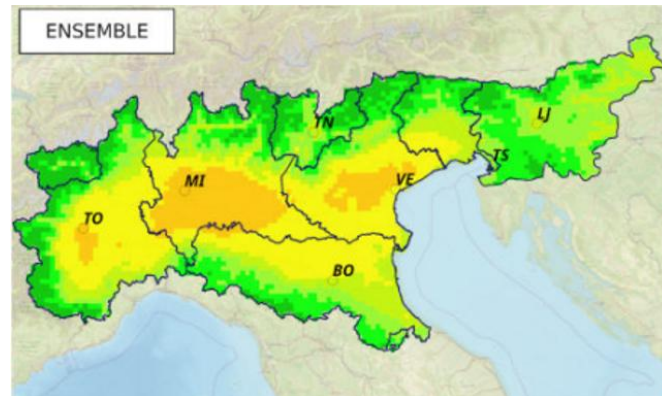
Verso una pianificazione più efficiente

La nuova Direttiva UE 2024/2881 sulla qualità dell'aria introduce diverse novità riguardanti i piani regionali di qualità dell'aria (PRQA).



3. Uso obbligatorio di modellistica e dati avanzati
Modellizzazione e simulazioni diventano strumenti centrali per:

- valutare scenari
- supportare i piani
- individuare superamenti





Verso una pianificazione più efficiente

Novità metodologiche

Rispetto al passato (D.Lgs. 155/2010), i nuovi PRQA dovranno essere:

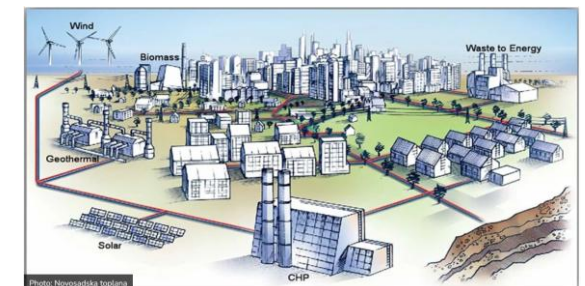
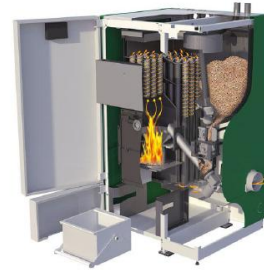
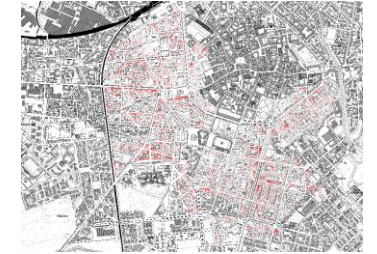
Più tempestivi ⇒ azioni per ridurre i superamenti nel minor tempo possibile

Basati su scenari modellistici ⇒ uso sistematico di modelli previsionali e simulazioni

Integrati ⇒ coordinati con: piani energia-clima, piani mobilità sostenibile, politiche industriali

Misurabili ⇒ con indicatori chiari di efficacia

Coordinati ⇒ dalla roadmap nazionale ai singoli cittadini





Azioni innovative efficienti e misurabili

◆ Mobilità avanzata

elettrificazione trasporti
mobilità intelligente e digitale
combustibili alternativi

◆ Energia-clima-aria

decarbonizzazione
efficienza energetica

◆ Modellistica predittiva

sistemi previsionali qualità aria
scenari “what-if” per decisioni rapide

◆ Pianificazione urbana innovativa

rigenerazione urbana
riduzione isole di calore



◆ Agricoltura e zootecnia

limitazione precursori
azioni di sistema

◆ Attività produttive

applicazione delle Best Available Techniques
implementazione AI

◆ Informazione e partecipazione

open data
coinvolgimento cittadini



Il contributo di PoliTO alla pianificazione

PoliTO si occupa del costante monitoraggio dei piani di qualità di dell'aria Europei, tramite:

- Ricerca di azioni innovative
- Valutazione di fattibilità tecnica ed economica
- Individuazione di barriere normative

Atmospheric Pollution Research

www.atmospolres.com

Current air quality plans in Europe designed to support air quality management policies



Improving Air Quality

Strategies and measures for air quality plans

Air Implementation Pilot

Lessons learnt from the implementation of air quality legislation at urban level



Ricerca innovativa sulla mobilità sostenibile: CARS@PolITO

Politecnico di Torino

Center for Automotive Research and Sustainable Mobility

Center for Automotive Research and Sustainable mobility

Utilizzo di combustibili alternativi a basse emissioni
(Hydrogenated Vegetable Oil – HVO)



Test Bench for conventional, hybrid and electric vehicles dedicated to the experimental characterization

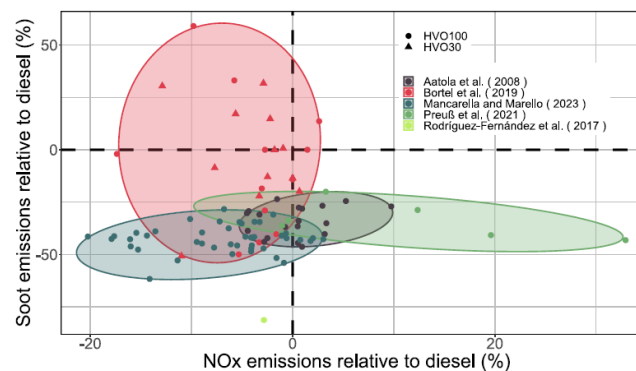
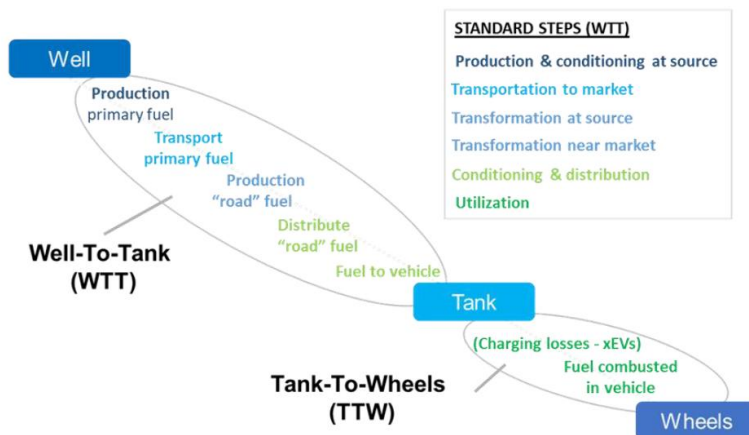
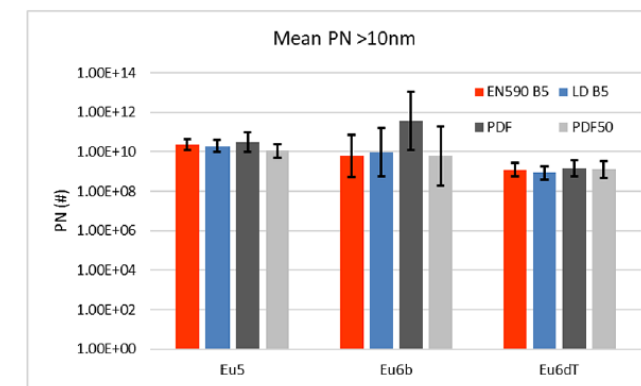


Fig. 6. NO_x-soot tradeoff compared to diesel across different studies with HVO (data from [39,49-52]).

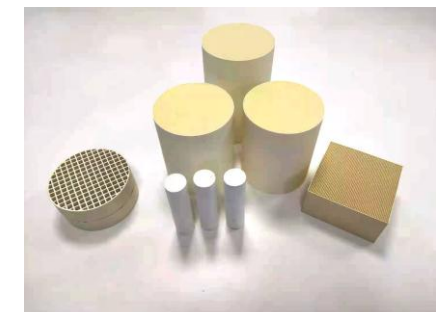
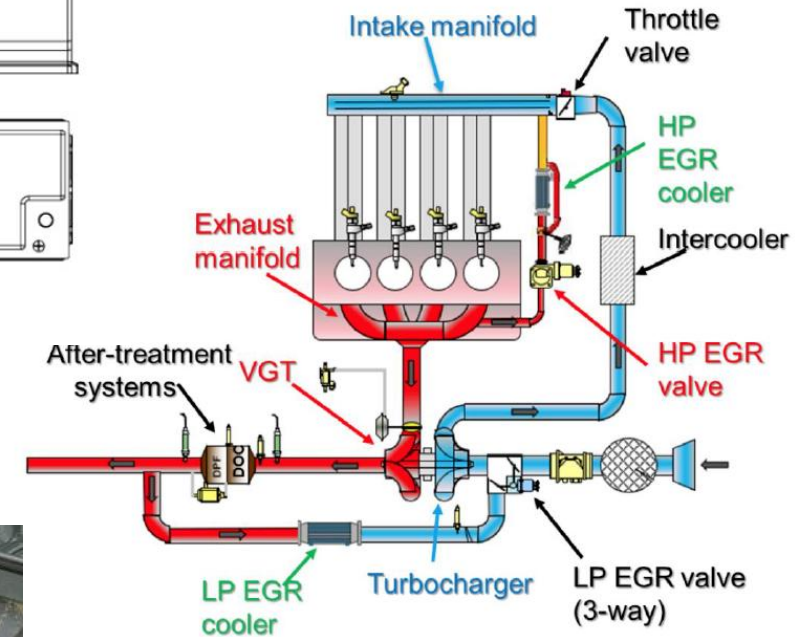
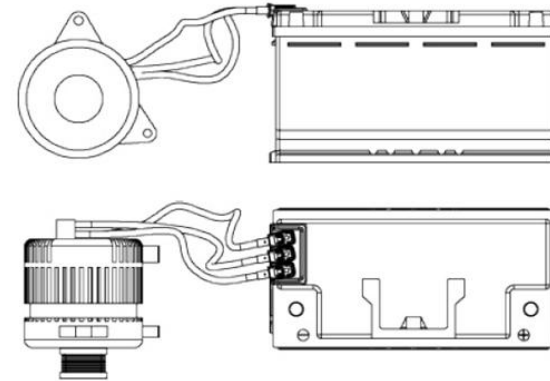




Ricerca innovativa sulla mobilità sostenibile: CARS@PolITO



- Ibridazione di veicoli diesel
- Abbattimento catalitico selettivo degli ossidi di azoto in modalità retrofit





AI = supporto centrale alla pianificazione

Intelligenza artificiale, industria e ambiente

- AI come abilitatore dell'industria 4.0 e 5.0
- Ottimizzazione dei processi produttivi in tempo reale
- Riduzione di consumi energetici, emissioni e scarti
- Integrazione con sensori IoT e monitoraggio ambientale
- Da controllo ex-post a gestione predittiva

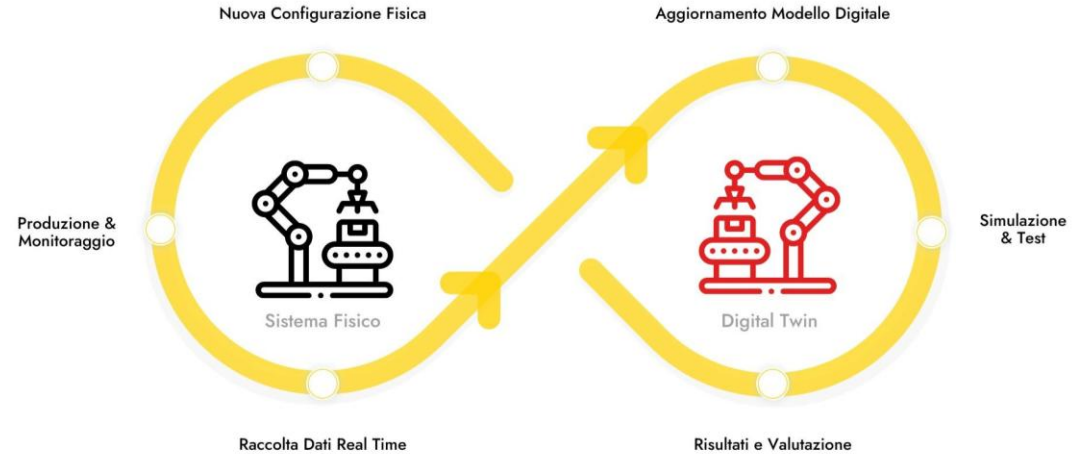
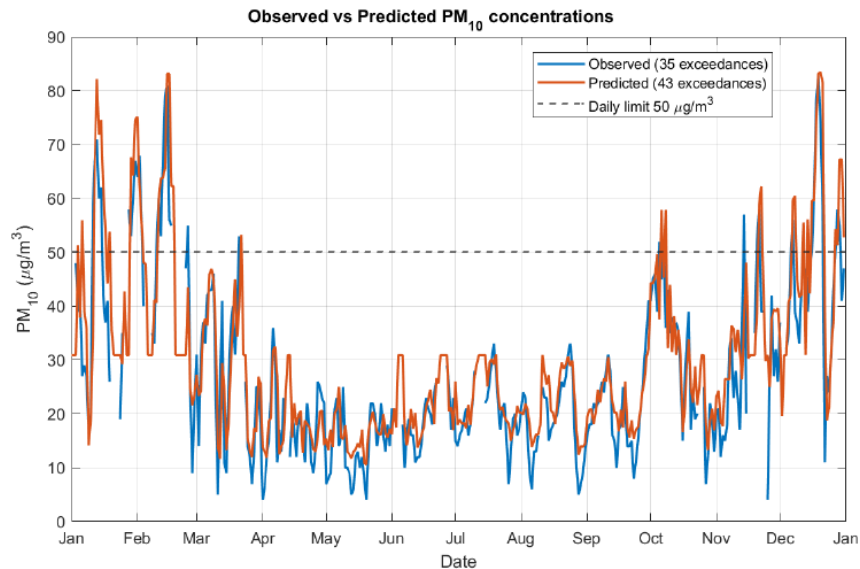




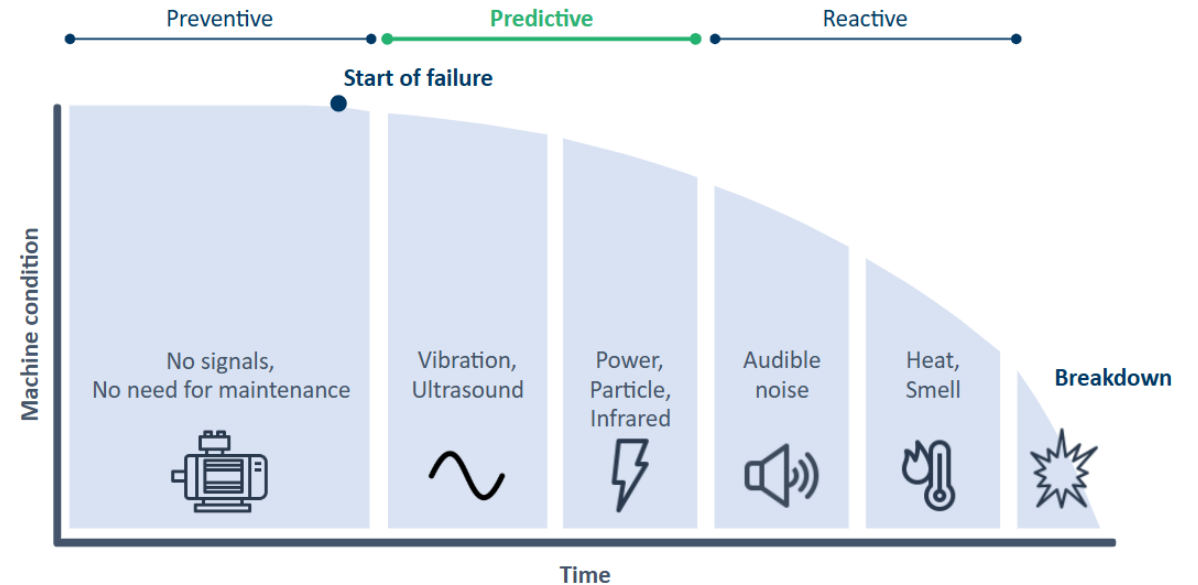
AI = supporto centrale alla pianificazione

Principali linee di ricerca PoliTO

- Predictive maintenance per ridurre guasti e sprechi
- Ottimizzazione dei processi con machine learning
- Digital twin per simulazione degli impianti
- AI per il monitoraggio e la stima delle emissioni



Machine breakdown process





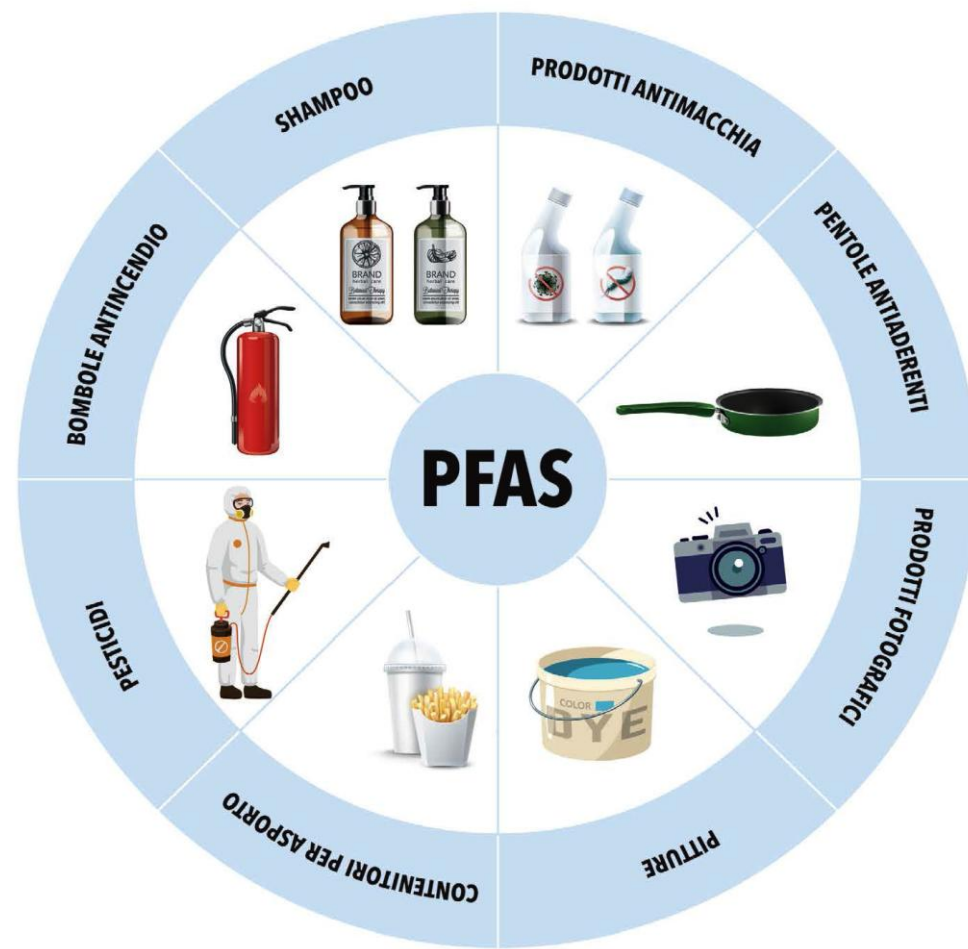
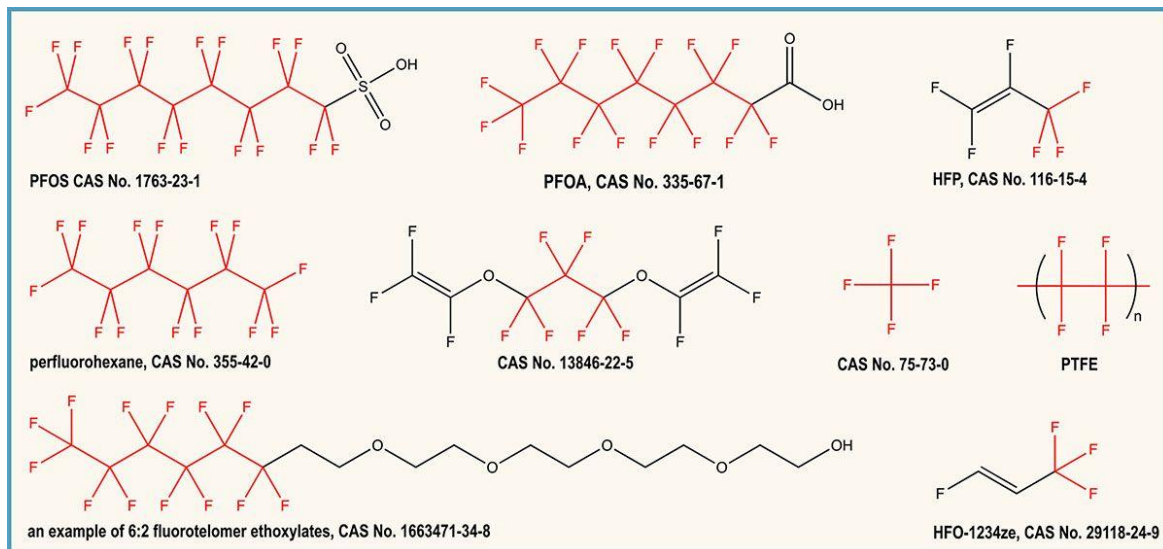
**PFAS: supporto alla ricerca
applicata per il trattamento, la
gestione e il monitoraggio**



PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio

I PFAS (sostanze per- e polifluoroalchiliche) sono composti chimici sintetici persistenti, utilizzati dal 1940 per rendere impermeabili e antiaderenti vari prodotti.

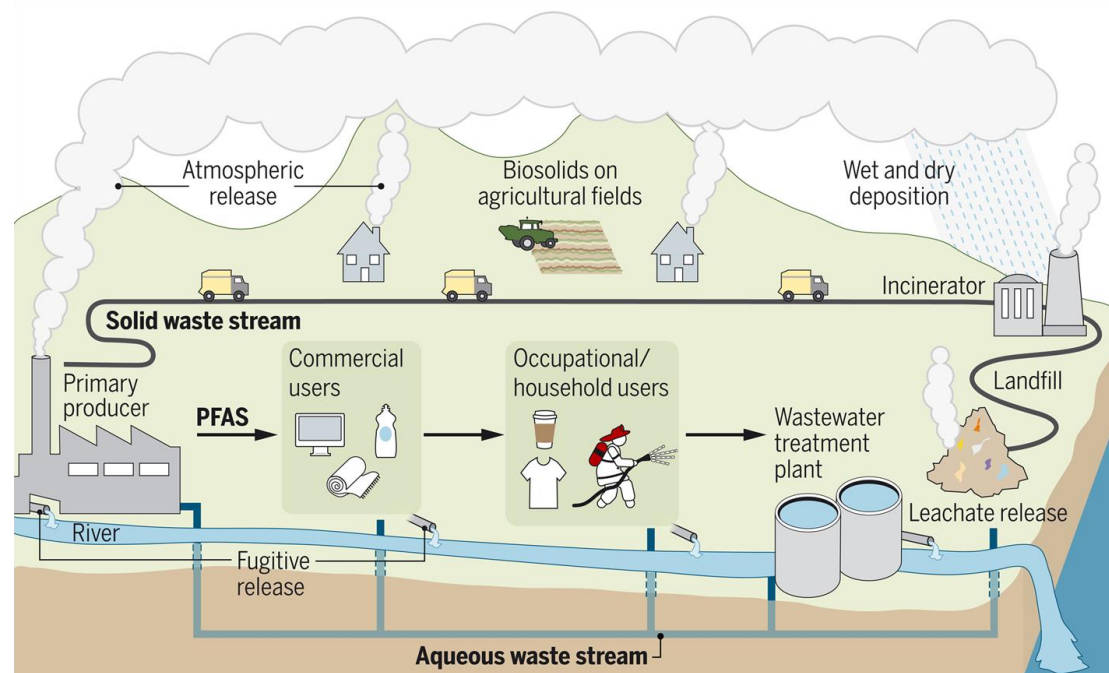
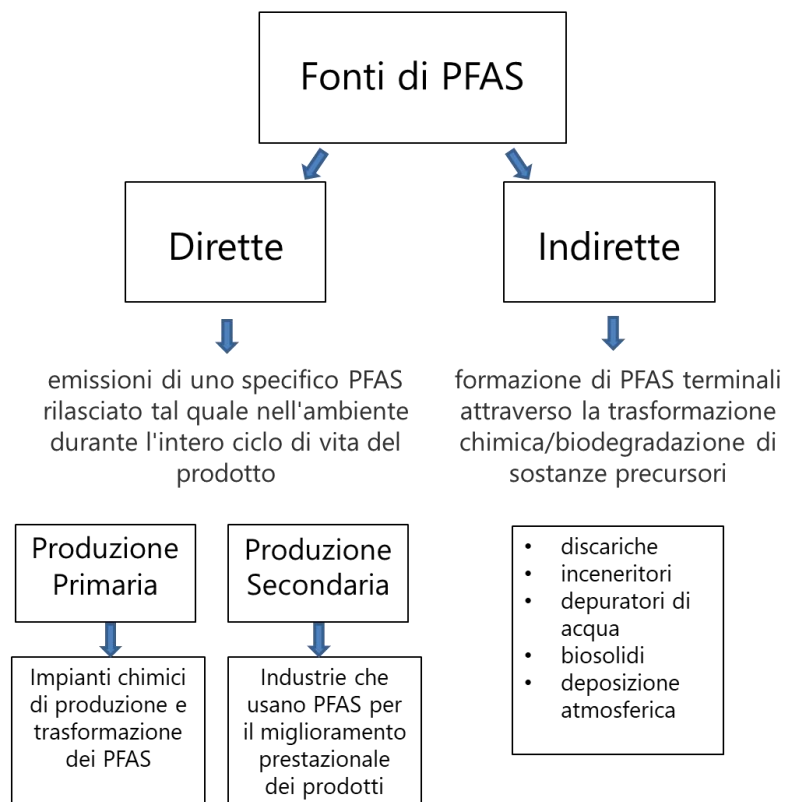
Definiti "inquinanti eterni", non si degradano facilmente, accumulandosi nell'ambiente (acque e suolo) e negli organismi viventi.





PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio

Tipologia di fonti e life cycle





PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio

Principali settori di utilizzo dei PFAS

| Settore | Tipo | Ruolo | Esempi Rappresentativi |
|---------------------------------------|----------------|---|--------------------------------------|
| Applicazioni di gas fluorurati | Non polimerici | Refrigeranti, propellenti aerosol, estinguenti e gas isolanti | HFC-134a, HFOs, PFCs |
| Trasporti | Polimerici | Sigillanti, tubi carburante e rivestimenti cavi resistenti al calore | PTFE, FKM, FFKM, FEP |
| | Non polimerici | Additivi per fluidi idraulici e refrigeranti per climatizzazione mobile | HFCs, HFOs, PFECs |
| Tessile | Polimerici | Membrane traspiranti, tessuti protettivi e finiture idrorepellenti | PTFE, PVDF, polimeri fluorurati. |
| | Non polimerici | Trattamenti superficiali antimacchia, spray impermeabilizzanti | PFOA, PFHxA, 6:2 FTS, FTOH |
| Medico e Sanitario | Polimerici | Protesi impiantabili, cateteri, blister farmaceutici e componenti per inalatori | PTFE, FEP, PCTFE, PVDF |
| | Non polimerici | Propellenti per spray nasali, mezzi di contrasto e solventi farmaceutici | HFC-134a, perfluorodecalina, SFA |
| Edilizia e Costruzioni | Polimerici | Membrane architettoniche, rivestimenti anticorrosione e isolamento | ETFE, PTFE, PVDF |
| | Non polimerici | Additivi per vernici e cemento, agenti espandenti per schiume isolanti | PFBS, fluorotelomeri, gas fluorurati |
| Lubrificanti | Polimerici | Lubrificazione solida in condizioni estreme | PTFE, PFPE |
| | Non polimerici | Additivi fluidi e inibitori di corrosione per oli speciali | PFSA, PFECs |
| Contatto alimentare | Polimerici | Rivestimenti antiaderenti per pentole e barriere per carta/cartone | PTFE, PFA, FEP, PFPE |
| | Non polimerici | Agenti antigrasso per imballaggi fast-food e ausili di produzione | 6:2 FTOH, diPAPs, GenX, ADONA |
| Applicazioni di tenuta | Polimerici | Guarnizioni e diaframmi ad alta resistenza chimica | FKM, FFKM, PTFE |
| | Non polimerici | Sigillanti fluidi e additivi per paste per filettature | PFPE, PFAAs |
| Produzione di PFAS | Polimerici | Rivestimenti anticorrosione per impianti chimici | PTFE, PFA, PVDF |
| | Non polimerici | Monomeri ed emulsionanti | GenX, ADONA, cC6O4, PFOA |
| Elettronica e Semiconduttori | Polimerici | Isolamento cavi, circuiti stampati e gestione fluidi ultrapuri | PTFE, PVDF, PFA |
| | Non polimerici | Fotolitografia, fluidi di raffreddamento e gas dielettrici | PFOS, PFBS, HFC-125, PFPE |
| Militare ed Esplosivi | Polimerici | Leganti per munizioni, protezione DPI e componenti avionici | Viton, PTFE, PCTFE |
| | Non polimerici | AFFF e modificatori di combustione per missili | PFOS, PFOA, PFCA |



PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio

PFAs principali: usi ed emissioni a livello globale

| Famiglia | PFAS | Status | Settore principale d'uso | Tonnellate emesse fino al 2015 (midpoint) | Fonte |
|----------|-------------------|------------------|---|---|-----------------------------|
| PFCA | TFA (C2) | Sotto - prodotto | Prodotto di degradazione di gas HFC/HF, pesticidi | 1.019.000* | <i>Lindley et al., 2025</i> |
| | PFBA (C4) | Sostituto | Rivestimenti per packaging, trattamento pelli, pellicole fotografiche | 316 | <i>Wang et al., 2014</i> |
| | PFOA (C8) | Legacy | Produzione di fluoropolimeri, tessuti idrorepellenti | 7.515 | <i>Wang et al., 2014</i> |
| | PFNA (C9) | Legacy | Produzione di fluoropolimeri, tensioattivo industriale | 1.045 | <i>Wang et al., 2014</i> |
| PFSA | PFHxS (C6) | Legacy | AFFF, trattamento tessuti | 571 | <i>Boucher et al., 2019</i> |
| | PFOS (C8) | Legacy | Agente bagnante in cere | 3.079 | <i>Wang et al., 2017</i> |

* Emissioni aggregate fino al 2020



PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio



I sei

ATO 1: Verbano, Cusio, Ossola, Pianura Novarese.

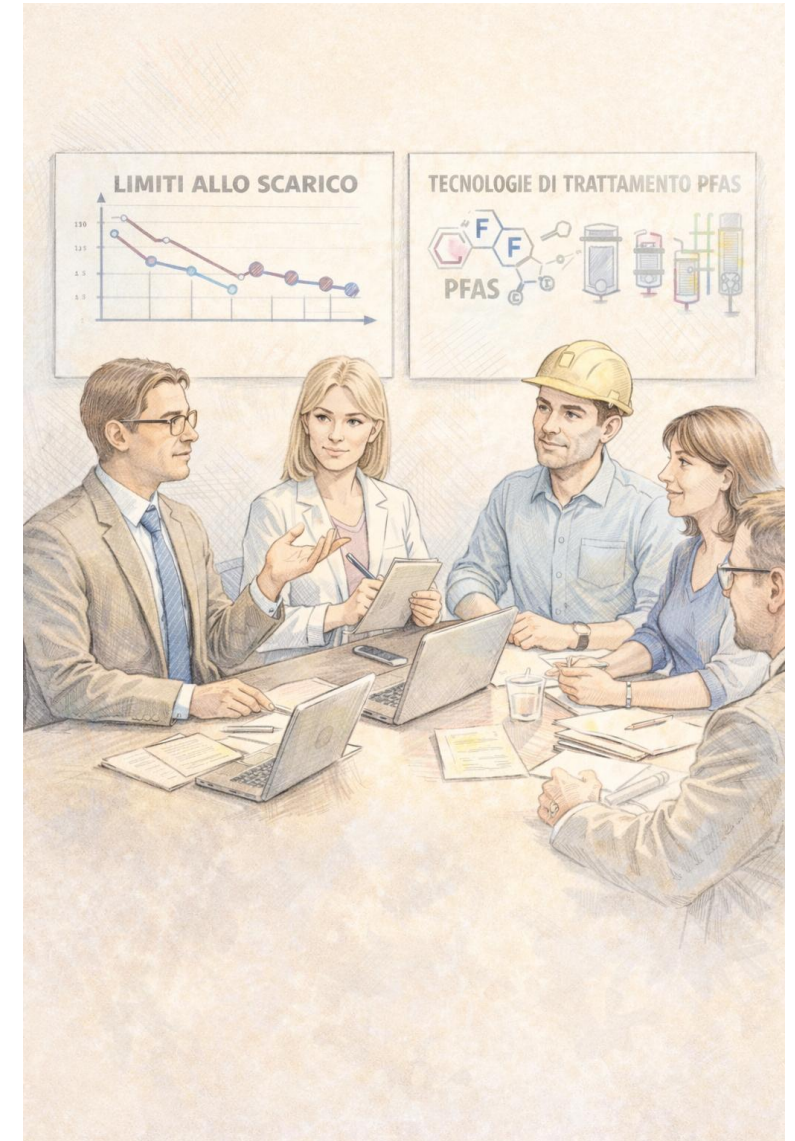
ATO 2: Biellese, Vercellese, Casalese

ATO 3: Torinese.

ATO 4: Cuneese.

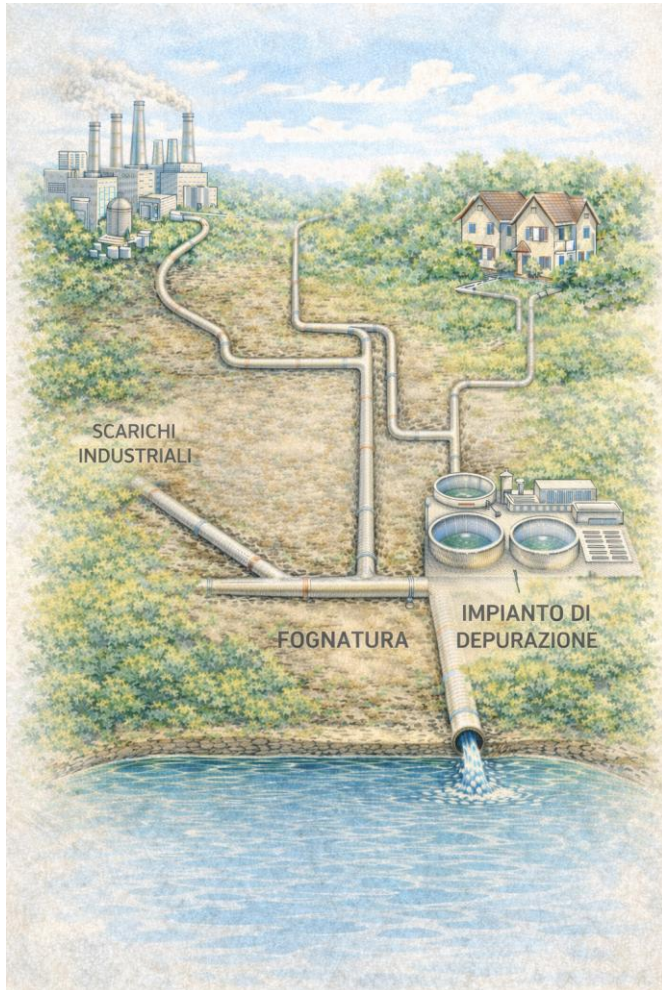
ATO 5: Astigiano, Monferrato.

ATO 6: Alessandrino





PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio



BILANCIO DI MASSA

Diagram of a plant (Impianto) with mass flow variables: Q_{in} , C_{in} , Q_{out} , C_{out} , E_{em} (Emissioni), and C_{acc} (Accumulo).

Bilancio generale:

$$\sum m_{in} - \sum m_{out} + G - L = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

$m = Q \cdot C$
 $Q =$ portata (m^3/h)
 $C =$ concentrazione (mg/L)

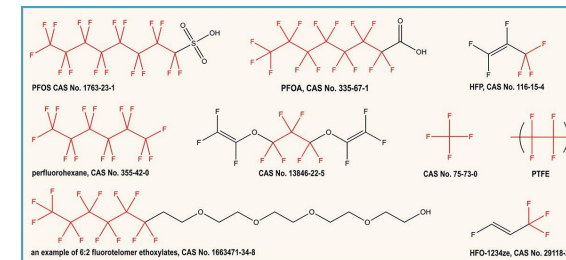
Steady-state: $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 0$

$$Q_{in} \cdot C_{in} = Q_{out} \cdot C_{out} + E$$

$\eta_{rimozione} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \cdot 100 = 33,3\%$

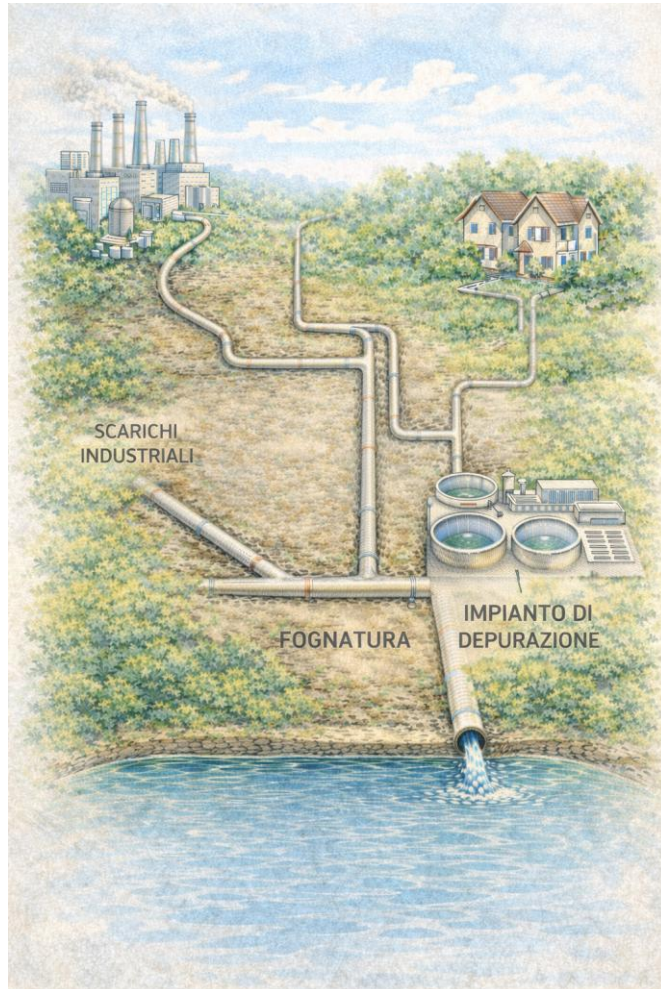
| Flusso | Q (m^3/h) | C (mg/L) | m (g/h) |
|-----------|---------------|--------------|-------------|
| Ingresso | 120 | 0,15 | 18,0 |
| Uscita | 100 | 0,10 | 10,0 |
| Emissioni | 5 | 0,20 | 1,0 |

Bilancio OK ✓





PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio



Tecnologie di trattamento dei PFAS

1. **Separare** i PFAS dall'acqua
2. **Accumulare / concentrare** i PFAS in una fase
3. **Distruggere** i PFAS (defluorinazione / mineralizzazione)

| Separazione / Accumulo | Distruzione |
|--|---|
| Adsorbimento su carboni attivi (GAC, PAC) | Ossidazione avanzata (AOP) |
| Tecnologie a membrana (NF, RO) | Processi di riduzione avanzata (ARP) |
| Resine a scambio ionico | Trattamenti termici (es. incenerimento, plasma) |
| Foam fractionation (schiume) | Processi elettrochimici |



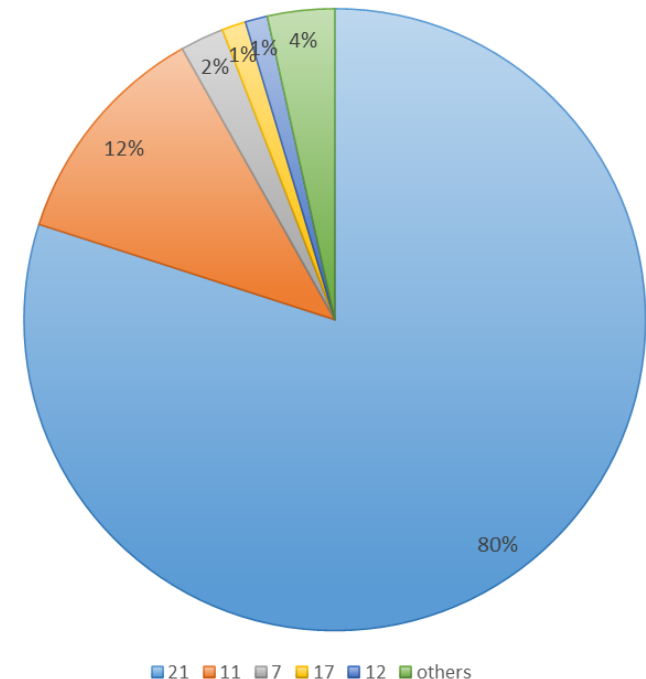
PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio

Esempio Impianto Castiglione Torinese

Contributo di PFOS all'impianto degli scarichi industriali

- Il grafico mostra la distribuzione del carico di PFOS per tipologia di attività, calcolato nello scenario middle bound (MB).
- Il settore trattamento rifiuti (codice 21) risulta nettamente predominante, contribuendo a circa l'80% del carico industriale totale di PFOS. Segue il settore del trattamento superficiale dei metalli (codice 11) con circa il 12%.

carico PFOS per tipo di settore (MB)





PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio

Data del provvedimento:

20 marzo 2026

(Determinazione Dirigenziale n. DD 1335)

Oggetto del provvedimento

Autorizzazione unica (PAUR) per un impianto di ossidazione termica dei fanghi di depurazione con recupero energetico presso SMAT Castiglione Torinese

Motivazione del progetto

criticità nella gestione dei fanghi
riduzione dipendenza da smaltimenti esterni
recupero energetico e maggiore autosufficienza

Esito finale

Giudizio positivo di compatibilità ambientale
rilascio PAUR e AIA
impatti ritenuti compatibili con misure di mitigazione e monitoraggio





PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio

Principali criticità istruttorie:

- comportamento e abbattimento dei PFAS nei processi di ossidazione termica
- impatto odorigeno e misure di mitigazione associate





PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio

Coordinamento delle attività tecnico-scientifiche di supporto a Smat e relative all'istruttoria interdisciplinare per il rilascio del Provvedimento Autorizzatorio Unico per il progetto denominato "Realizzazione ed esercizio di una nuova unità impiantistica di ossidazione termica dedicata alla valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione delle acque reflue urbane prodotti dall'impianto Centralizzato di Castiglione Torinese



tbf partner

tecno habitat
società di ingegneria





PFAS: supporto alla ricerca applicata per il trattamento, la gestione e il monitoraggio



| Campionamenti e bilanci di massa | | Fango in ingresso | Sostanza secca media in ingresso all'impianto | Fango in ingresso | Somma PFAS fanghi | Gas di scarico al camino (dry,11%) | Somma PFAS al camino | Efficienza di abbattimento o al camino |
|----------------------------------|----------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------|--|
| U.M. | | t TQ/h | [ss %] | t ss/h | µg/kg | Nm ³ /h | ng/Nm ³ | % |
| Data | Ore di campionamento | Valore medio | Valore medio | Valore calcolato | valore medio | Dati impianto | Valore calcolato | Valore calcolato |
| 09/10/2024 | 9:50-13:00 | 11.6 | 28.9 | 3.35 | 32.09 | 26244 | 176.31 | 95.70 |
| 09/10/2024 | 13:01-16:10 | 11.8 | 22.5 | 2.66 | 32.96 | 24939 | 23.21 | 99.34 |
| 27/11/2024 | 10:00 -13:00 | 11.1 | 26.7 | 2.97 | 38.6 | 23508 | 1.59 | 99.97 |
| 27/11/2024 | 13:30-16:30 | 10.9 | 26.6 | 2.90 | 35.4 | 24016 | 2.09 | 99.95 |
| 28/11/2024 | 9:00-12:00 | 11.1 | 26.9 | 2.99 | 29.0 | 27730 | 4.50 | 99.86 |
| 28/11/2024 | 12:30-15:30 | 12.0 | 28.4 | 3.411 | 31.0 | 23165 | 5.86 | 99.87 |



Conclusioni

L'accordo Quadro di Cooperazione Istituzionale tra Arpa Piemonte e Politecnico di Torino è sicuramente strategico per il futuro del Territorio tenendo anche conto dell'estrema variabilità delle condizioni strutturali e infrastrutturali del periodo,

BUON LAVORO A TUTTI NOI !!!