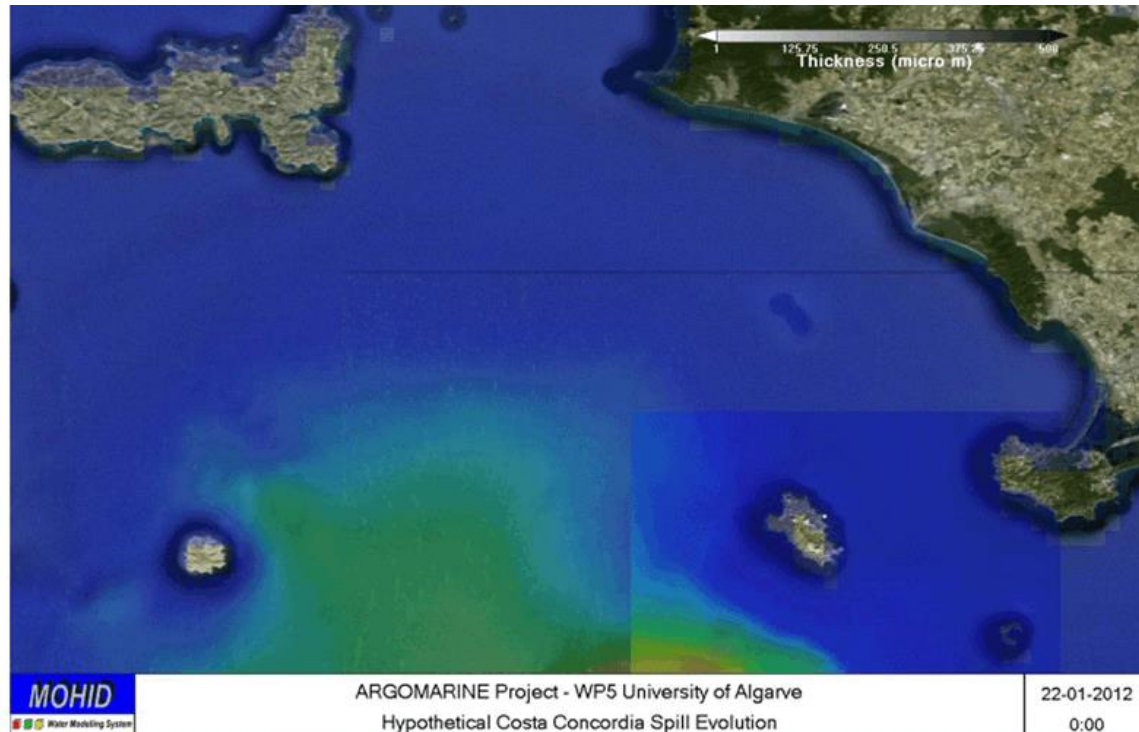




# Dinamica e Modellistica degli Inquinanti

**A.A. 2018/2019**

M.Campolo





# Inquinamento ambientale

---

Treccani: «Per inquinamento s'intende la **perturbazione degli equilibri di un ecosistema**, mentre si definisce **inquinante** una qualunque **sostanza, di origine naturale o antropica**, che non rientri nella composizione della matrice di interesse (o sia presente in essa in concentrazione nettamente superiore ai valori naturali) e **che abbia un effetto ritenuto dannoso sull'ambiente.**»

Garzanti: «**degrado** dell'ambiente **causato dall'attività umana** con l'**introduzione di sostanze** (microrganismi, rifiuti ecc.) e con le loro conseguenze (p.e. eutrofizzazione), o con la produzione di effetti (rumore, vibrazioni, radiazioni ecc.), che **alterano l'equilibrio tra l'ambiente e le specie viventi**, umanità compresa: *inquinamento atmosferico, delle acque, del suolo; inquinamento industriale, chimico, radioattivo, acustico; inquinamento da gas di scarico; inquinamento luminoso...*

art. 5 i ter t.u.a. – «**l'introduzione diretta o indiretta, a seguito di attività umana, di sostanze** ... o più in generale di agenti fisici o chimici, nell'aria, nell'acqua o nel suolo, che **potrebbero nuocere alla salute umana o alla qualità dell'ambiente**, causare il deterioramento dei beni materiali, oppure danni o perturbazioni a valori ricreativi dell'ambiente o ad altri suoi legittimi usi»



# Emissioni inquinanti: in aria

---



Buoyant plume



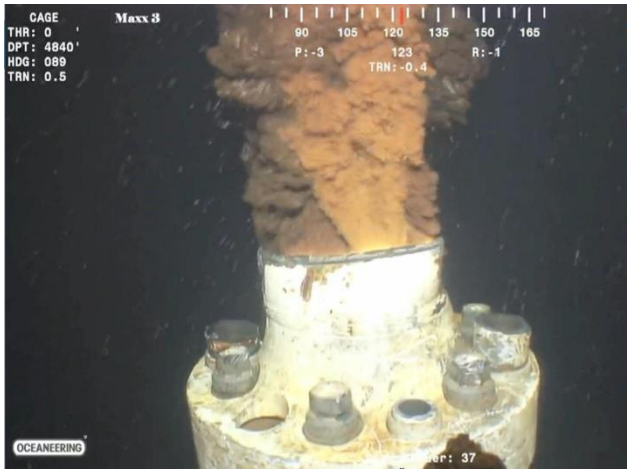
Camini industriali

Blow-out da pozzo

Heavy plume



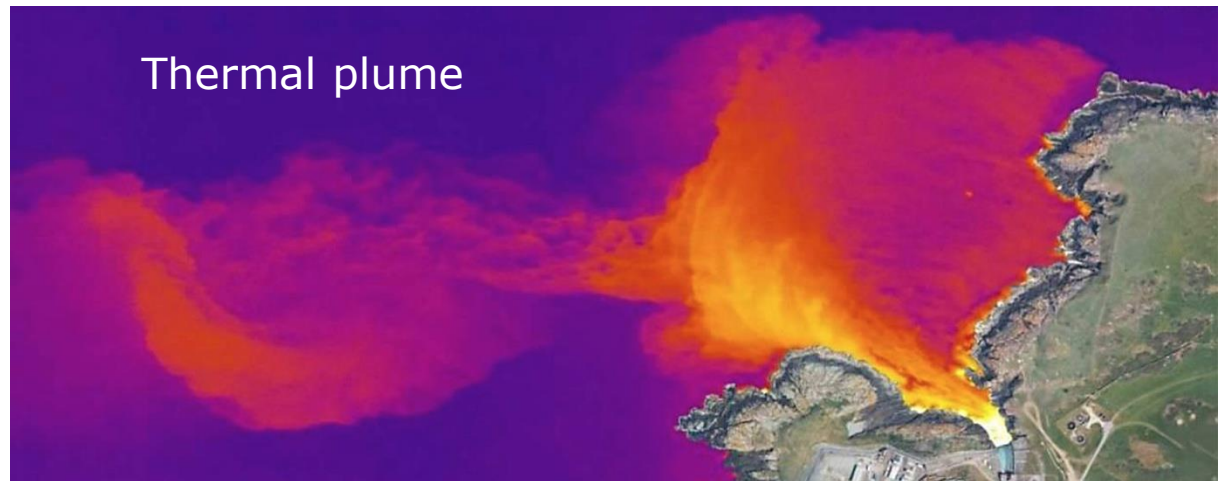
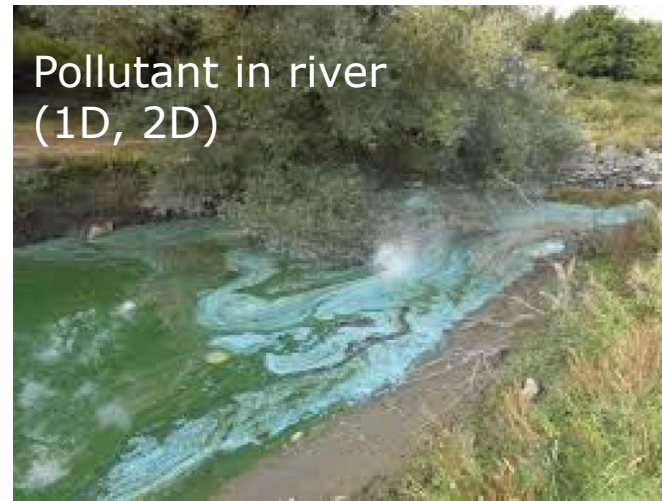
# Emissioni inquinanti: in acqua



Oil spill  
(3D)

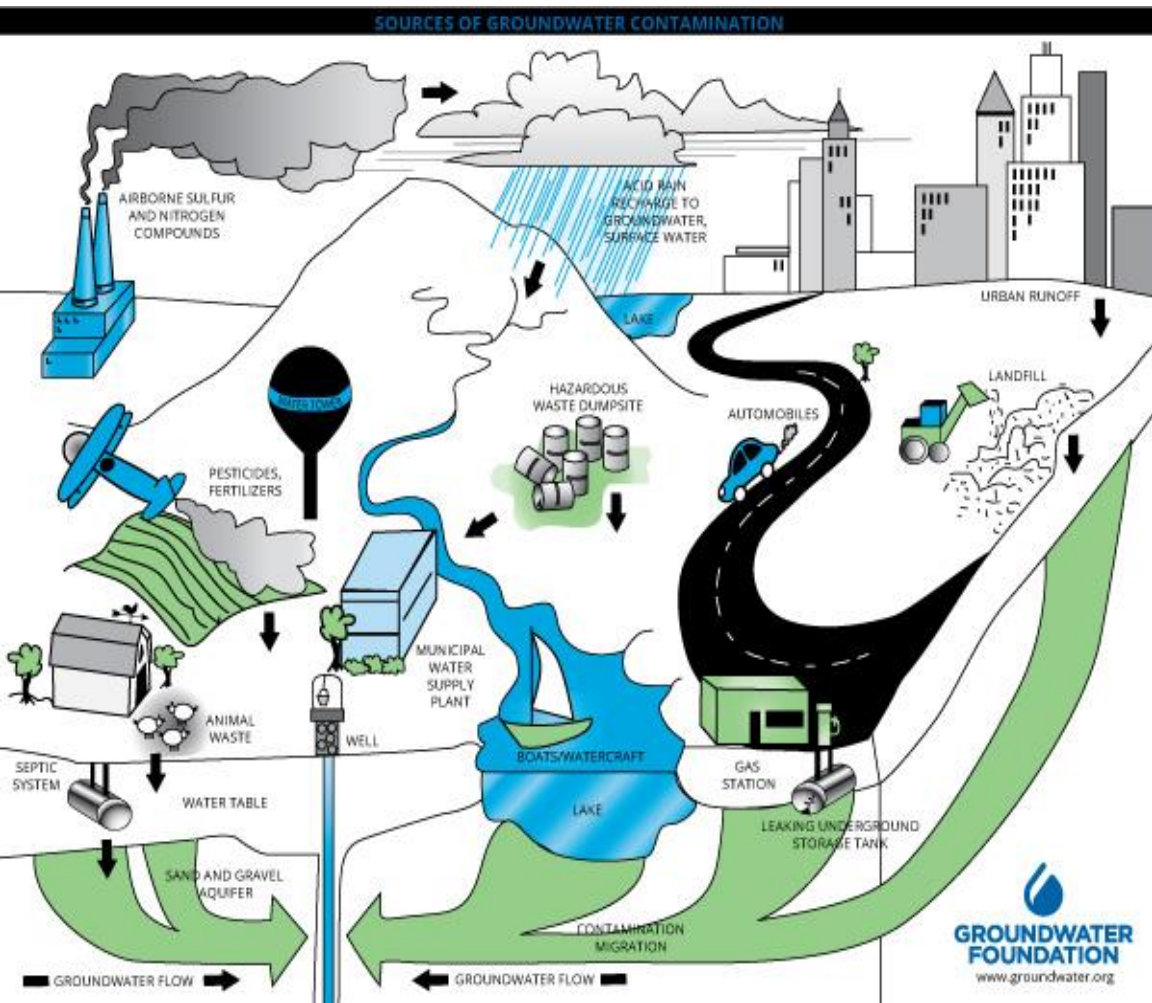


Blow-out da pozzo





# Emissioni inquinanti: nel suolo



- Ricadute inquinanti atmosferici
- Dilavamento urbano
- Discariche
- Depositi incontrollati rifiuti tossici
- Perdite da serbatoi interrati
- Perdite da sistemi trattamento
- Rifiuti animali
- Dilavamento pesticidi

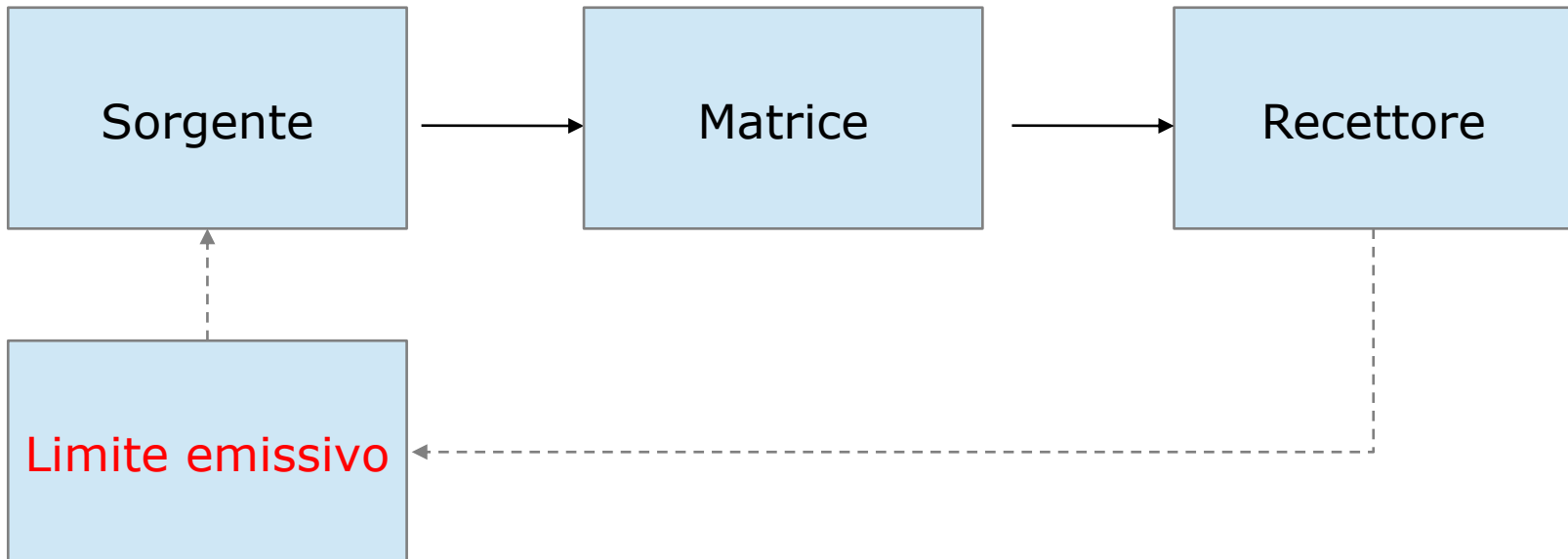


# Schema concettuale

Emissione

Trasporto/trasformazione

Esposizione



- OBJ** Prevedere il trasporto/la trasformazione di inquinanti in ambiente  
Valutare il livello di esposizione e i potenziali danni conseguenti  
Fissare limiti di emissione per controllare il rischio,  
mantenere/migliorare la qualità dell'ambiente, ...

# Evoluzione nell'approccio all'inquinamento

Pre 1960

1970

1980

## Percezione ambientale

Produzione contenuta di rifiuti  
Risorse abbondanti  
Capacità di autodepurazione illimitata

Aumento della produzione di rifiuti  
Risorse limitate  
Capacità autodepurazione non infinita

Risorse scarse  
Progressivo accumulo di inquinanti nell'ambiente  
Effetti sull'ambiente e sulla salute

## Strategia di gestione

Inquinamento indiscriminato

Controllo dell'inquinamento alla fine del processo (end of pipe)

Prevenzione/riduzione dell'inquinamento alla sorgente (cleaner production)

## Politica ambientale

assente

Contenimento emissioni per inquinanti specifici

Efficienza nel consumo delle risorse, economia circolare, riciclo, riuso

## Passive waste management (pre 1960)

“L’ambiente mette a disposizione risorse illimitate e ha una capacità infinita di assorbire e diluire gli inquinanti/i rifiuti.”

**Foul and Flee (“Sporca e spostati altrove”):** migrazione ambientale da zone degradate e poco confortevoli verso siti più ricchi di risorse a accoglienti



**Dilute and Disperse (“Diluisci e disperdi”):** gestione del rifiuto basata sulla capacità assimilative dell’ambiente naturale. Gli scarichi delle industrie vengono veicolati verso diverse matrici ambientali (fiumi, mare, suolo, atmosfera) in grado di disperdere e diluire gli inquinanti: **“the solution of pollution is dilution”**.

**Concentrate and Contain (“Concentra e confina”):** metodo ritenuto valido per la gestione dei rifiuti pericolosi da disperdere (es. tossici/nucleari). Il deteriorarsi delle strutture di contenimento/controllo determina potenziali sversamenti con costi economici e ambientali significativi.

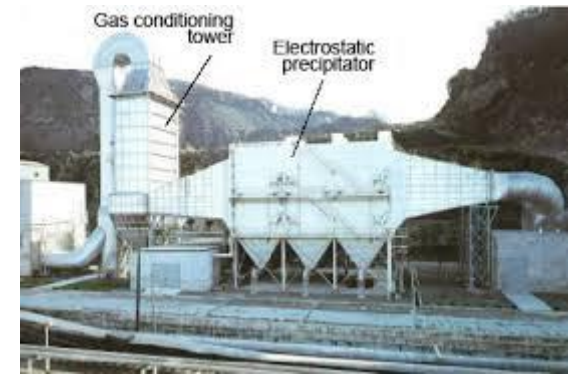




## Reactive waste management (fino al 1990)

“La capacità di dispersione/diluizione dell’ambiente è limitata: è necessario controllare/ridurre il carico inquinante immesso in ambiente”

**End of pipe (“Trattamenti al punto di scarico”):** trasferimento dell’inquinante da una fase ad un’altra; produzione di scarti secondari; costi di trattamento (impianto/operativi/manutenzione) elevate → **costo di gestione degli aspetti ambientali**



**On-site Recycle Approach (“Riciclo/riuso sul posto”):** raccolta, trattamento e riuso di materiale che andrebbe altrimenti smaltito come rifiuto. Possibilità di recuperare risorse, riducendo i costi di gestione (recupero materia + mancato smaltimento) → **opportunità di gestione degli aspetti ambientali**

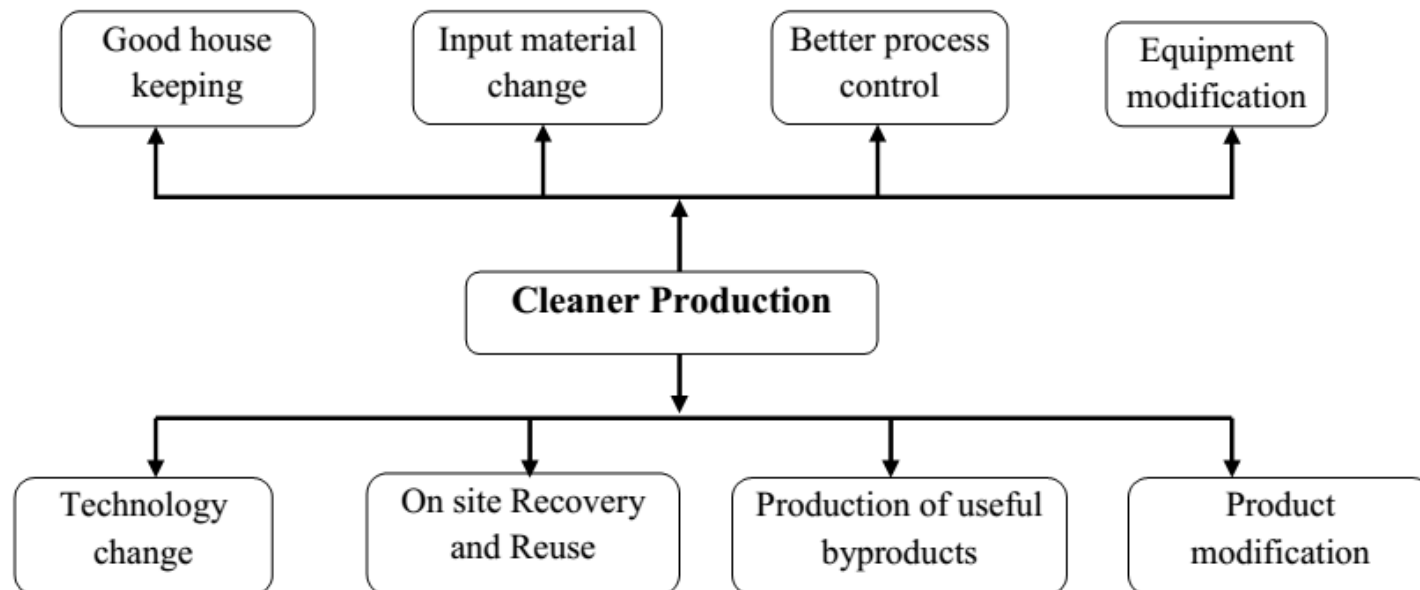
**Zero Liquid Discharge**

## Pro-active waste management (dopo 1990) → Cleaner production

“anticipare e prevenire l’inquinamento”: aumentata consapevolezza del peggioramento della qualità dell’ambiente dovuto a (i) uso sconosciuto di risorse e (ii) pratiche inappropriate di gestione delle sostanze inquinanti → Affrontare i problemi ambientali alla sorgente (prima che il rifiuto/lo scarto/l’emissione vengano generati).

Filosofia delle 3 R: Riduzione, Riuso, Riciclo

Produrre di più consumando meno (sviluppo sostenibile): meno materia prima, meno energia, meno rifiuti, meno sostanze tossiche ed emissioni di gas serra; minore impatto ambientale e maggiore sostenibilità



# Evoluzione della legislazione ambientale in Italia

## «Paleo»-legislazione

1930: Codice Penale «Rocco», art. 674 «Getto pericoloso di cose»:

*«Chiunque getta o versa, in un luogo di pubblico transito o in un luogo privato ma di comune o di altrui uso, cose atte a offendere o imbrattare o molestare persone, ovvero, nei casi non consentiti dalla legge, **provoca emissioni di gas, di vapori o di fumo**, atti a cagionare tali effetti, è punito con l'arresto fino a un mese o con l'ammenda [...]».*

1934: Regio Decreto n. 1265, art.216 Testo Unico delle leggi sanitarie:

*«Le manifatture o fabbriche che producono vapori, gas o altre esalazioni insalubri o che possono riuscire in altro modo pericolose alla salute degli abitanti sono indicate in un elenco diviso in due classi. La prima classe comprende quelle che **debbono essere isolate nelle campagne** e tenute lontane dalle abitazioni; la seconda, quelle che esigono speciali cautele per la incolumità del vicinato. [...] Chiunque intende attivare una fabbrica o manifattura, compresa nel sopra indicato elenco, deve quindici giorni prima darne avviso per iscritto al podestà, il quale, quando lo ritenga necessario nell'interesse della salute pubblica, può vietarne la attivazione o subordinarla a determinate cautele.*

1942: art.844 Codice Civile, «divieto di immissioni»:

*«Il proprietario di un fondo non può impedire **le immissioni di fumo o di calore, le esalazioni, i rumori, gli scuotimenti e simili propagazioni** derivanti dal fondo del vicino, **se non superano la normale tollerabilità**, avuto anche riguardo alla condizione dei luoghi (890, Cod. Pen. 674).»*

# Evoluzione della legislazione ambientale nel mondo, in Europa e in Italia

**1957 Trattato di Roma:** trattato istitutivo della Comunità europea. In quella fase, non fu ritenuta necessaria una politica ambientale comune: nessuna norma europea riguardante la tutela ambientale.

**1966: Legge n.615 «provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico».** Gli impianti industriali e i mezzi di trasporto sono le fonti principali di inquinamento atmosferico → regolamentare/ridurre l'emissione in atmosfera di fumi, polveri, gas, odori, ecc... **Prima legge italiana di lotta all'inquinamento**

*Nascita della sensibilità ambientalista (WWF etc).* Fino agli anni 1960 la percezione dei problemi ambientali provocati dall'attività umana di produzione e consumo era limitata quasi esclusivamente a scienziati e studiosi. Fu il ripetersi di incidenti, principalmente in mare e legati agli idrocarburi, a suscitare l'interesse generale e a condurre alla decisione di organizzare una conferenza mondiale sull'ambiente.

**1972 Conferenza ONU di Stoccolma:** “dobbiamo condurre le nostre azioni in tutto il mondo con più prudente attenzione per le loro conseguenze sull'ambiente”. La difesa e il miglioramento dell'ambiente devono diventare “uno scopo imperativo **per tutta l'umanità**”, da perseguire insieme a quelli fondamentali della pace e dello sviluppo economico e sociale mondiale.

**1972 Vertice di Parigi:** i capi di Stato o di governo degli stati membri dichiararono la **necessità di una politica comunitaria in materia di ambiente che accompagnasse l'espansione economica.**

**1976: Legge n.319 «Merli» per la tutela dell'acqua.** Ricognizione organica della regolamentazione degli impianti industriali, di quelli civili, delle fognature; introduzione dei primi criteri per la razionalizzazione dell'uso delle risorse idriche

**1980 Nairobi, Documento UNEP, IUCN e WWF «World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development»:** primo documento ufficiale internazionale sullo concetto di sviluppo sostenibile. Il risparmio delle risorse naturali alla base di un modello di sviluppo umano sostenibile, che deve rappresentare una priorità assoluta per tutti i Paesi del mondo; soluzioni concrete per attuare tale modello.

# Evoluzione della legislazione ambientale nel mondo, in Europa e in Italia

**1986: Legge n. 349, istituzione del Ministero dell'Ambiente.** Necessità di concentrare in capo ad unico organismo le attività ambientali prima frammentate tra i vari ministeri (agricoltura, marina mercantile, trasporti, industria, sanità, beni culturali, interni, ecc.). Necessità dell'esecutivo di fare i conti con le risorse ambientali prima ancora che con quelle economiche.

**1987 Summit di Tokyo, Commissione Internazionale per l'Ambiente e lo Sviluppo, "Our Common Future" o "Rapporto Brundtland":** viene definito lo sviluppo sostenibile: *"Lo sviluppo sostenibile è quello sviluppo che soddisfa i bisogni della generazione presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri"*. La protezione dell'ambiente non viene più considerata un vincolo allo sviluppo, bensì una condizione necessaria per uno sviluppo duraturo.

**1987 Atto unico europeo:** introduzione del nuovo Titolo: «Ambiente», prima base giuridica per una politica ambientale comune finalizzata a salvaguardare la qualità dell'ambiente, proteggere la salute umana e garantire un uso razionale delle risorse naturali attraverso (i) controllo ed etichettatura di sostanze chimiche pericolose, (ii) protezione delle acque di superficie, (iii) monitoraggio degli agenti inquinanti

**1988: DPR n. 203 Attuazione delle direttive CEE (80/779, 82/884, 85/203 e 84/360 )** concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a **specifici agenti inquinanti** (anidride solforosa, particelle in sospensione, piombo, biossido di azoto), e all'inquinamento prodotto da impianti industriali.

**1992 Rio de Janeiro, I conferenza mondiale ONU sull'ambiente:** pubblicazione dell'**Agenda 21** (cose da fare nel XXI secolo), un articolato "programma di azione" che costituisce una sorta di manuale per lo sviluppo sostenibile del pianeta "da qui al XXI secolo".

**1992 Bruxelles V Piano di Azione Ambientale "Per uno sviluppo durevole e sostenibile":** presentazione della nuova strategia comunitaria in materia di ambiente e delle azioni da intraprendere per uno sviluppo sostenibile, per il periodo 1992-2000. Il Piano auspica un cambiamento dei modelli di comportamento della società promuovendo la partecipazione di tutti i settori, rafforzando lo spirito di corresponsabilità che si estende all'Amministrazione Pubblica, alle imprese e alla collettività. Vengono ampliati i dispositivi per l'attuazione del programma, come strumenti legislativi, economici e finanziari.

# Evoluzione della legislazione ambientale nel mondo, in Europa e in Italia

**1993 Trattato di Maastricht:** ridefinizione degli obiettivi della politica economica comunitaria in termini di promozione di una crescita economica sostenibile e non inflazionistica nel rispetto dell'ambiente.

**1994 Aalborg, I conferenza europea sulle città sostenibili:** firma e la sottoscrizione della Carta le città con cui le regioni europee si impegnano ad attuare l'Agenda 21 a livello locale e ad elaborare piani d'azione a lungo termine per uno sviluppo durevole e sostenibile.

**1996 Lisbona, II Conferenza Europea sulle città sostenibili:** aggiornamento sul processo di attivazione della Local Agenda 21 in 35 paesi europei e valutazione dei progressi fatti con la Carta di Aalborg. Il documento prodotto dalla Conferenza è la Carta di Lisbona "Dalla Carta all'Azione" che sancisce la traduzione in azioni concrete dei principi sulla sostenibilità.

**1997 Protocollo di Kyoto:** Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC). Obbligo di operare una riduzione delle emissioni di elementi inquinanti (biossido di carbonio ed altri cinque gas serra, ovvero metano, ossido di azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo) in una misura non inferiore all'8,65% rispetto alle emissioni registrate nel 1985 nel periodo compreso tra il 2008 ed il 2012.

**1997: D. Lgs. n. 22 «Decreto Ronchi»**, recepimento delle direttive comunitarie in materia di **rifiuti**. Dallo smaltimento alla gestione dei rifiuti: i rifiuti da scarto a risorsa.

**1998 "Convenzione di Aarhus":** **sull'accesso alle informazioni, la partecipazione del pubblico** ai processi decisionali e l'accesso alla giustizia in materia ambientale. Le pubbliche amministrazioni si impegnano a ottimizzare le potenzialità dell'intera società civile attraverso azioni di sensibilizzazione ed informazione e a promuoverne il coinvolgimento nei processi decisionali.

**1999 Trattato di Amsterdam:** obbligo di integrare la tutela ambientale in tutte le politiche settoriali dell'Unione al fine **di promuovere lo sviluppo sostenibile**.

**1999: D. Lgs. n. 351**, Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente

# Evoluzione della legislazione ambientale nel mondo, in Europa e in Italia

**2000 Hannover, III Conferenza Europea sulle Città sostenibili:** bilancio sui risultati conseguiti dalla Carta di Aalborg e per concordare una comune linea d'azione nei futuri sviluppi. Il documento prodotto è L'Appello di Hannover, rivolto alla Comunità Internazionale, alle Istituzioni Europee, ai Governi nazionali e locali, ai vertici dell'Economia e della Finanza, a tutti gli attori coinvolti e coinvolgibili in processi di Agenda 21 affinché agiscano in clima di cooperazione.

**2001 Goteborg, III Conferenza ambientale UE:** Risoluzione di Goteborg, che riguarda (i) l'attuazione e gli ulteriori sviluppi della legislazione ambientale della U.E., (ii) i processi dell'Agenda 21 Regionale, (iii) il "greening" dei fondi strutturali (finanziamenti per diversificazione delle colture, mantenimento dei pascoli permanenti, mantenimento/constituzione di aree di interesse ecologico).

**2001 Bruxelles, VI Piano di Azione ambientale 2001-2010 “Ambiente 2010: il nostro futuro, la nostra scelta”:** Delinea gli obiettivi e le priorità ambientali della strategia UE per lo sviluppo sostenibile e illustra in dettaglio le misure da intraprendere. 4 aspetti fondamentali: cambiamento climatico, ambiente e salute, natura e biodiversità, gestione delle risorse naturali. Importanza di nuove forme di partecipazione di cittadini e imprese. Sottolineata l'importanza dell'integrazione delle politiche ambientali in tutte le aree politiche e si ribadisce che non può esserci protezione ambientale e sviluppo sostenibile senza un profondo cambiamento dei comportamenti che è possibile soltanto con lo strumento dell'educazione.

**2002: D.M. n. 60,** Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio.

**2004: D.M. n. 44,** Recepimento della direttiva 1999/13/CE relativa alla limitazione delle emissioni di composti organici volatili di talune attività industriali.

**2009 Trattato di Lisbona:** ruolo unitario della UE nel **combattere i cambiamenti climatici e nel garantire uno sviluppo sostenibile**. passaggio dal voto all'unanimità a quello a maggioranza qualificata. Estensione della regolamentazione ai Cambiamenti Climatici.

# Evoluzione della legislazione ambientale in Italia (e in Europa)

## Approccio particolare «Command & control»

- Limiti di emissione per inquinante specifico (PM, SO<sub>2</sub>, amianto, ...)
- Ambito normativo specifico per singola matrice ambientale (acqua, aria, suolo)
- Normativa ad hoc per particolare processo produttivo (industrie chimiche, impianti di incenerimento, ...)

## 1990 Approccio integrato - IPPC Integrated Pollution Prevention & Control

«prevenire/ridurre/controllare l'inquinamento generato dall'industria promuovendo le produzioni pulite grazie alla conoscenza approfondita del processo e degli impatti che possono essere previsti/ridotti/controllati attraverso l'uso delle migliori tecnologie disponibili (*Best Availables Technologies* - BAT)»

- ## 2000
- Dimensione globale del problema ambientale
  - Attività produttive suddivise in 6 macro categorie: attività energetiche; produzione e trasformazione dei metalli; industria dei prodotti minerali; industria chimica; gestione dei rifiuti; altre attività
  - Approccio integrato (valutazione dell'impatto su aria, acqua, suolo) nel controllo delle varie fonti di emissione e nella produzione dei rifiuti per scoraggiare il trasferimento di inquinanti da una matrice all'altra e permettere una migliore protezione dell'ambiente (riduzione dei carichi inquinanti).
- ## 2010
- Integrazione dei sistemi di controllo e prevenzione dell'inquinamento con la produzione (sistemi di gestione ambientale).
  - Collaborazione tra gestore, autorità competente, autorità di controllo e associazioni di categoria.
  - Trasparente comunicazione al pubblico.



- salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità dell'ambiente;
- protezione della salute umana;
- uso accorto e razionale delle risorse naturali;
- promozione sul **piano internazionale** di misure destinate a risolvere i problemi dell'ambiente a livello regionale o mondiale;
- promozione di uno sviluppo sostenibile;
- necessità di tener conto delle diverse situazioni regionali e delle diverse condizioni ambientali, necessità di assicurare uno sviluppo territoriale equilibrato → DIVERSIFICAZIONE, ALTA FLESSIBILITA' E ADATTAMENTO rispetto all'esecuzione di specifiche misure ambientali (deroghe temporanee o sostegno finanziario a stati che valutino eccessivamente onerosa l'esecuzione di specifiche misure ambientali, soggette a controllo comunitario; possibilità di adottare provvedimenti di maggior tutela rispetto a quanto assicurato dalla Comunità)

- **Principio di precauzione:** in caso di incertezza scientifica in merito a un rischio presunto per la salute umana o per l'ambiente derivante da una determinata azione o politica, prevale l'opzione conservativa per la tutela della salute (es. divieto per l'uso di prodotti potenzialmente pericolosi). Le misure devono essere non discriminatorie e proporzionate e vanno riconsiderate non appena si rendano disponibili maggiori informazioni scientifiche.
- **Principio dell'azione preventiva:** misure/azioni che mirino a prevenire qualsiasi effetto negativo per l'ambiente; valutare in anticipo i rischi per l'ambiente e per la salute umana; sanzioni con effetto preventivo (responsabilità civile come strumento per imporre standard di comportamento, e quindi come strumento preventivo nella disciplina del danno all'ambiente).
- **Principio della correzione, in via prioritaria alla fonte, dei danni causati all'ambiente:** contrastare gli effetti negativi sull'ambiente per evitare che questi si amplifichino
- **Principio del "Chi inquina paga":** chi provoca un danno ambientale ne è responsabile e deve quindi intraprendere le necessarie azioni di prevenzione o di riparazione sostenendone tutti i costi relativi.

DIRETTIVA (UE) 2016/2284 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO, del 14/12/2016 concernente la riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici

“Al fine di **tendere al conseguimento di livelli di qualità dell'aria** che non comportino **significativi impatti negativi e rischi significativi per la salute umana e l'ambiente**, la presente direttiva stabilisce gli impegni di riduzione delle emissioni per le emissioni atmosferiche antropogeniche degli Stati membri di **biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)**, **ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)**, **composti organici volatili non metanici (COVNM)**, **ammoniaca (NH<sub>3</sub>)**, e **particolato fine (PM<sub>2,5</sub>)** e impone l'elaborazione, l'adozione e l'attuazione di programmi nazionali di **controllo dell'inquinamento** atmosferico e il **monitoraggio** e la **comunicazione** in merito ai suddetti inquinanti e agli altri inquinanti indicati all'allegato I e ai loro effetti.”

## DIRETTIVA QUADRO (WFD) 2000/60/EC, del 23/10/2000: politica europea per la tutela delle acque superficiali, costiere, di transizione e sotterranee

Prevede: la valutazione del rischio legato alle pressioni antropiche ed agli impatti, programmi di monitoraggio, predisposizione di piani di gestione dei bacini idrografici, la progettazione e la realizzazione di programmi di misure.

Le **acque sotterranee** sono una delle componenti chiave della Water Framework Directive con l'attenzione rivolta sia agli **obiettivi qualitativi**, sia **quantitativi**. Gli obiettivi per le **acque superficiali** riguardano gli stati ecologico e chimico. Gli obiettivi relativi allo stato quantitativo hanno lo scopo di **assicurare un equilibrio tra le estrazioni e la ricarica delle acque sotterranee**. I criteri relativi allo stato chimico sono più complessi e hanno richiesto lo sviluppo di direttive "figlie" volte a chiarire i criteri per il buono stato chimico e a dare indicazioni relative alla identificazione ed inversione delle tendenze all'inquinamento (Direttiva 2006/118/CE, del 12.12.2006)

# Strategies against chemical pollution of surface waters (Commission Directives 76/464/EC, WFD 2000/60/EC and 2009/90/EC)

The regulation of chemical pollutants in water began with Directive 76/464/EC (codified as 2006/11/EC). Several substances have been regulated in specific directives (also called 'daughter' directives) in the 1980s by defining Community-wide emission limit values and quality objectives in the surface and coastal waters.

The Water Framework Directive 2000/60/EC established provision for **a list of Priority Substances** (Annex X of the Directive).

Decision 2455/2001/EC established the First list, and Directive 2008/105/EC (the Environmental Quality Standards Directive – EQSD) **set the quality standards** as required by Article 16(8) of the Water Framework Directive. Annex II to the EQSD replaced Annex X of the Water Framework Directive.

Measures against chemical pollution of surface waters include

- the selection and regulation of substances of European Union (EU)-**wide concern** (the priority substances)
- the selection by Member States of substances of **national or local concern** (river basin specific pollutants)

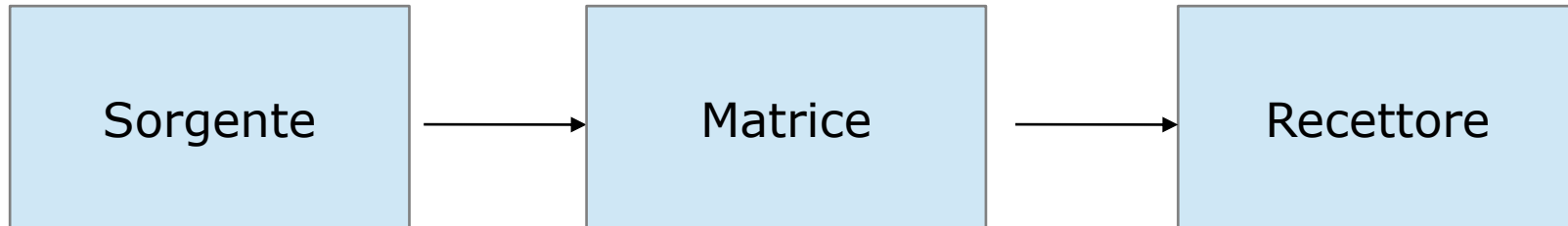
Priority substances have been selected amongst those presenting a significant risk to or via the aquatic environment at EU level. A subset of priority hazardous substances has been designed, and proposals for controls to reduce the emissions, discharges and losses of all the substances and to phase out the emissions, discharges and losses of the subset of priority hazardous substances.

In order **to improve the quality of the monitoring data** obtained under the Water Framework Directive, the Commission adopted Directive 2009/90/EC laying down **technical specifications for chemical analysis and monitoring of water status**.

Member States are required **to take actions to meet the quality standards in the EQSD by 2015** as part of chemical status. For this purpose **a programme of measures** (according to Water Framework Directive Article 11) has to become operational by 2012. The river basin specific pollutants are considered as part of ecological status.



# Schema concettuale



## Emissione:

- Identificazione
- Caratterizzazione
- Quantificazione
- Monitoraggio

→ **Misura**

## Trasporto/trasformazione:

- Analisi
- **Modellazione**
- Monitoraggio

## Esposizione:

- **Valutazione effetti**
- Valutazione rischio
- Identificazione limiti emissione

**OBJ** Protezione/Mantenimento/Miglioramento della qualità "ambientale"

**HOW** Comunicazione al pubblico



# Misurare



Discontinuous sampling

Continuous Emission Monitoring System (CEMS)



Continuous sampling



Campionamento automatico



V.Cairolì - UDINE

data di riferimento: 14/02/2018

legenda

| parametro                | data       | unità di mis. | max media oraria | ora max media oraria | sup. annui max media oraria | max media mobile | ora max media mobile | sup. annui max media mobile | media giorn. | sup. annui media giorn. | indic. super. giorn. |      |
|--------------------------|------------|---------------|------------------|----------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|-----------------------------|--------------|-------------------------|----------------------|------|
| Biossido d'azoto         | 14/02/2018 | µg/m³         | 83,0             | 20:00                | 0                           | -                | -                    | -                           | -            | -                       | ●                    | PM10 |
| Ozono                    | 14/02/2018 | µg/m³         | 79               | 15:00                | 0                           | 66               | 18:00                | 0                           | -            | -                       | ●                    | PM10 |
| Particelle sospese PM10  | 14/02/2018 | µg/m³         | -                | -                    | -                           | -                | -                    | -                           | 18           | 4                       | ●                    | PM10 |
| Particelle sospese PM2.5 | 14/02/2018 | µg/m³         | -                | -                    | -                           | -                | -                    | -                           | 14           | -                       | ●                    | PM10 |

tutta la zona

tutta la ex provincia

serie temporale



# Inquinanti Aria

- ossidi di zolfo ( $\text{SO}_2$ );
- ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ );
- composti organici volatili non metanici (COVNM)
- metano ( $\text{CH}_4$ );
- monossido di carbonio (CO);
- anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ );
- ammoniaca ( $\text{NH}_3$ );
- protossido d'azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ );
- polveri totali sospese (PTS);
- polveri con diametro inferiore ai  $10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ );
- polveri con diametro inferiore ai  $2.5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ).
- metalli pesanti (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se e Zn);
- idrocarburi policiclici aromatici (BaP, BbF, BkF, IcdP)
- ozono ( $\text{O}_3$ )

Monitoraggio di specie inquinanti prodotte in quantità "significativa" dalla specifica realtà produttiva e potenzialmente impattanti (limiti di emissione)

Monitoraggio di specie "obiettivo" identificate come significative per assicurare la qualità dell'aria ambiente (obiettivi di qualità)





# Misura diretta o indiretta?

---

## Requisiti per "quantificazione analitica"

- Sorgente convogliata
- Metodo di campionamento
- Metodo di analisi
  - campo di applicazione (misurando-matrice)
  - campo di prova
  - selettività-specificità
  - ripetibilità, riproducibilità, accuratezza
  - limite di rilevabilità (LOD)
  - limite di quantificazione (LOQ)
  - Robustezza, incertezza

## Necessità di stima indiretta

- Emissione non direttamente misurabile (es. emissioni fugitive)
- Disponibilità di fattori di emissione:

$$E = FE \times P$$

E = emissione [tonn/anno]

FE = fattore di emissione [tonn/kg prodotto]

P = Produzione [kg prodotto/anno]



# Dove e quando misurare?

---

|                | <b>alla sorgente</b>                        | <b>nell'ambiente</b>   |
|----------------|---|--|
| Una tantum     | Valutazione iniziale<br>importanza fonte    | Valutazione iniziale<br>livello qualità<br>ambiente  |
| Periodicamente | Quantità/pericolosità<br>inquinante bassa   | Stato di qualità non<br>critico/bassa<br>esposizione/basso<br>rischio                      |
| In continuo    | Quantità/pericolosità<br>inquinante elevata | Stato di qualità<br>potenzialmente<br>critico/elevata<br>esposizione/rischio<br>potenziale |



# Come misurare?

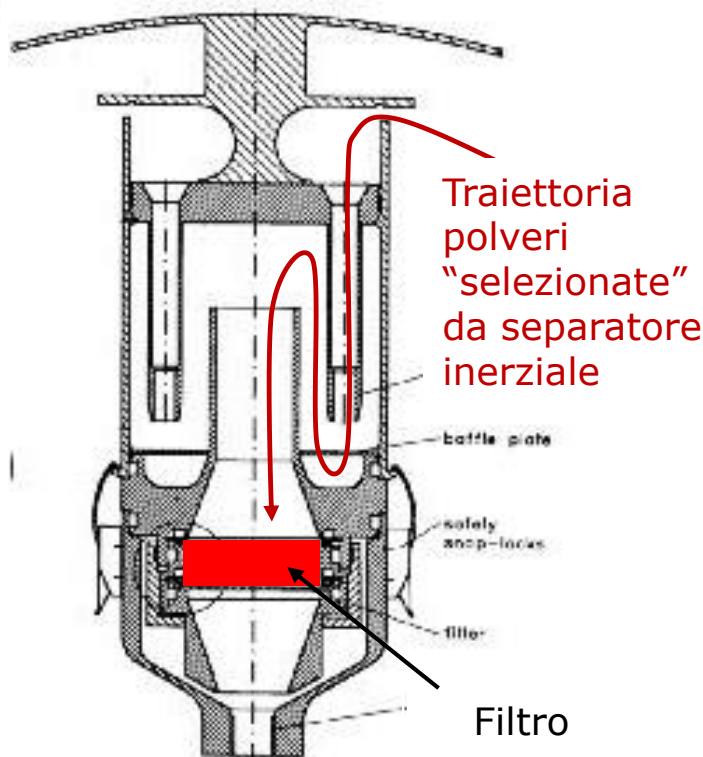
## Metodi di campionamento e analisi (PM)

---

| Settore  | Principio di misura  | Strumentazione/campionamento   | Norma                        |
|--|----------------------|--|------------------------------|
| Qualità aria (outdoor)                                   | Analisi gravimetrica | Campionatori a flusso di aspirazione costante                            | UNI EN 12341<br>UNI EN 14907 |
|  | Analisi in continuo  | Dispositivi ottici, assorbimento di raggi beta, spettrofotometria (FTIR) |                              |
| Ambiente di lavoro (indoor)                              | Analisi gravimetrica | Campionatori a flusso di aspirazione costante portatili                  |                              |
| Emissioni in atmosfera di impianti industriali (outdoor) | Analisi gravimetrica | Sistema di campionamento isocinetico                                     | UNI EN 13284<br>UNI EN 14181 |
|  | Analisi in continuo  | Dispositivi ottici, assorbimento di raggi beta, spettrofotometria (FTIR) |                              |



# Misura $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ , PTS (qualità aria)



Aspirazione  
aria  
( $Q=const$ )

1. raccolta della "frazione  $PM_{10}$ " su apposito filtro (singolo o a nastro continuo, sui cui "tratti" viene depositato il particolato).
2. successiva determinazione della massa depositata per via gravimetrica (previo condizionamento del filtro a temperatura e umidità controllata)
3. Concentrazione = massa depositata/volume di aria aspirato

Per misure da realizzare in continuo  
→ metodi equivalenti al gravimetrico (strumentazione automatica che sfrutta il principio dell'assorbimento della radiazione  $\beta$  da parte della polvere campionata: assorbimento proporzionale alla quantità di polvere presente)



# Catena di misura polveri a camino (prelievo isocinetico)

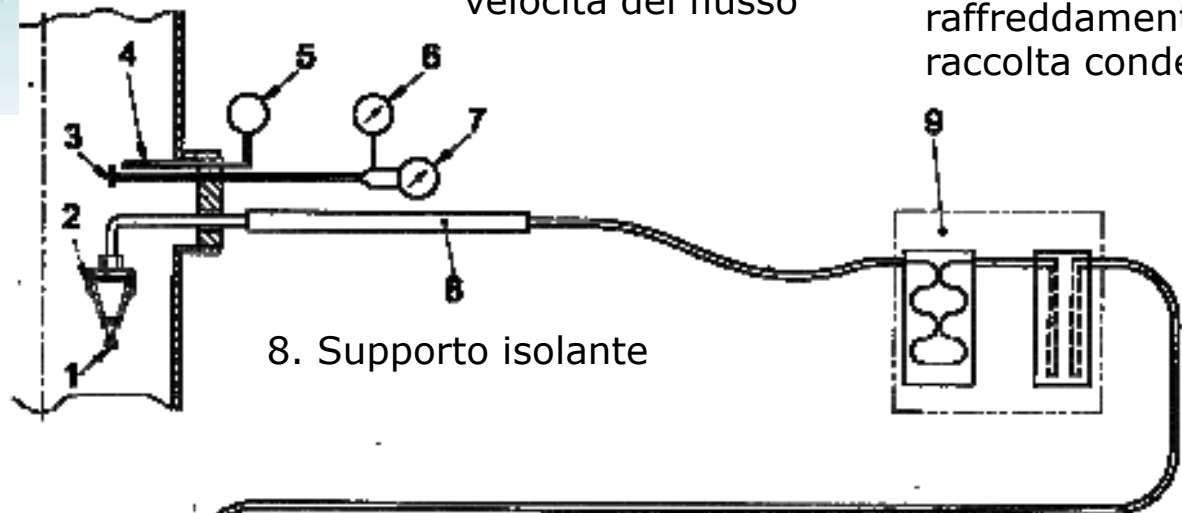


3. Tubo Pitot

4. Sensore T  
5. Indicatore T

6. Pressione statica e  
7. Pressione dinamica  
per la valutazione della  
velocità del flusso

9. Sistema di  
raffreddamento e  
raccolta condense



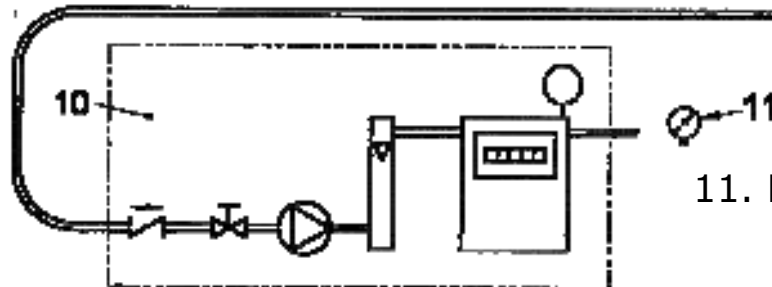
8. Supporto isolante



2. portafiltro



1. Sonda campionamento  
particelle

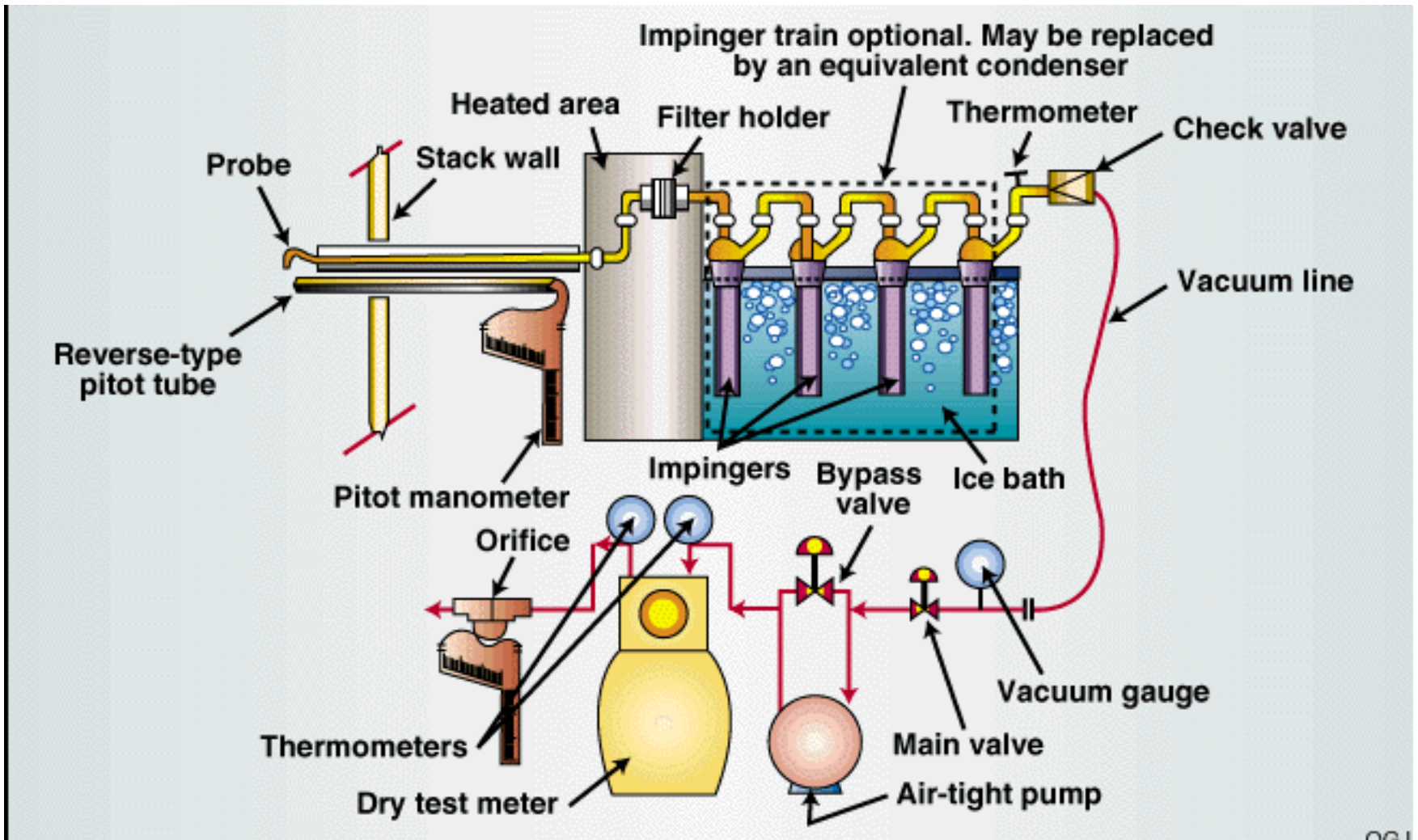


11. Manometro

10. Sistema di aspirazione  
aria (Q regolabile)



# Catena di misura polveri a camino (prelievo isocinetico)

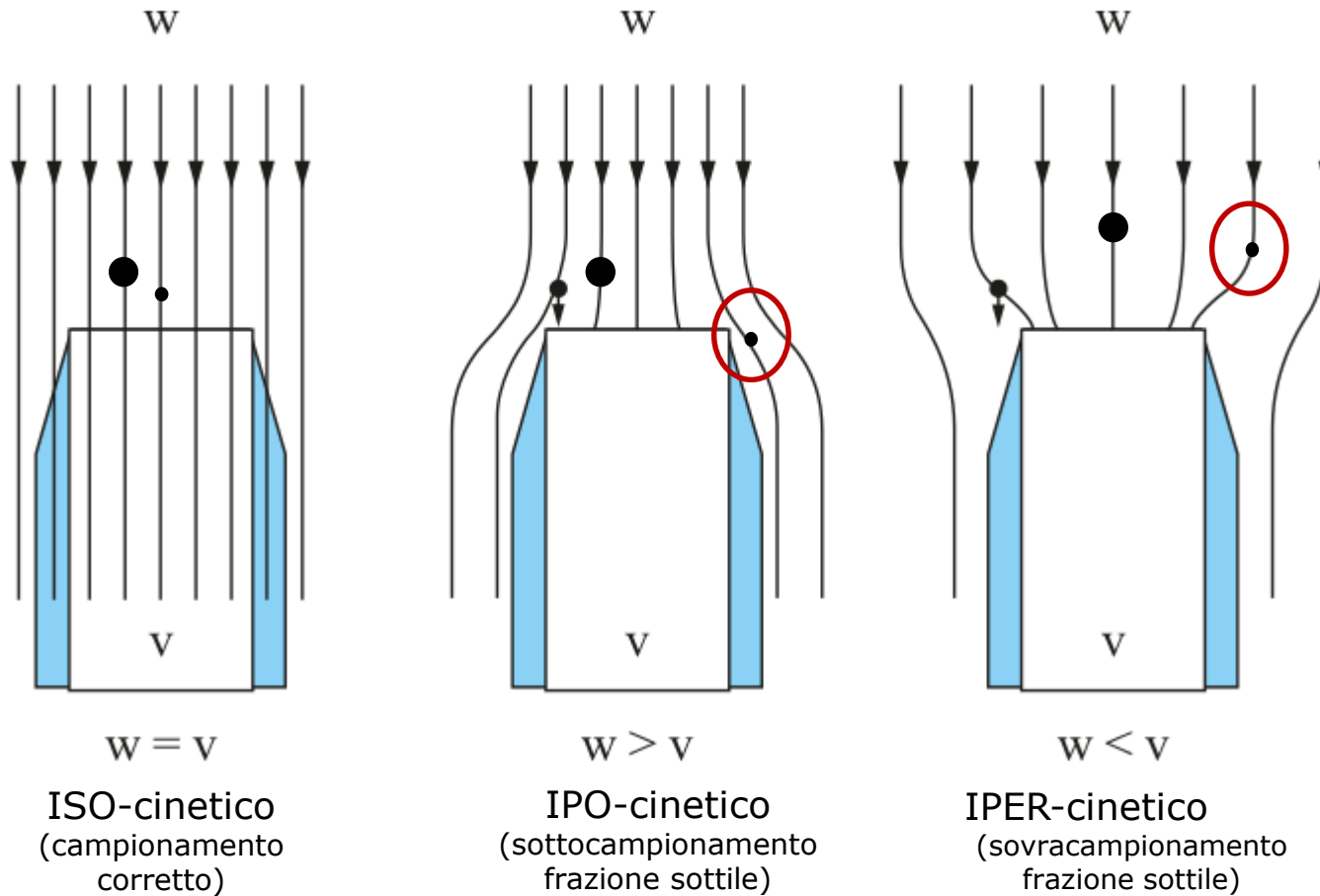




# Isocinetismo

$W$  = velocità del flusso in condotta

$V$  = velocità sistema aspirazione





# Postazioni di campionamento (UNI EN 15259:2008)

Sezione **rappresentativa** in cui si realizzano condizioni di omogeneità di flusso e concentrazioni

→ lontano da qualsiasi disturbo che possa determinare un cambio di direzione del flusso = 5 D idraulici a monte e 2 D a valle di un tratto rettilineo di condotto; 5 D a monte di sbocco diretto in atmosfera

→ condotti di forma e superficie trasversale costanti

→ flusso parallelo (minore di  $15^\circ$  rispetto all'asse del condotto)

→ assenza di flussi negativi

→ velocità minima rilevabile ( $dP > 5\text{Pa}$  per misure con Pitot)

→ velocità "omogenea" in sezione (velocità max/min  $< 3$ )

→ punti di misura chiaramente identificati e etichettati

→ preferibilmente condotti verticali

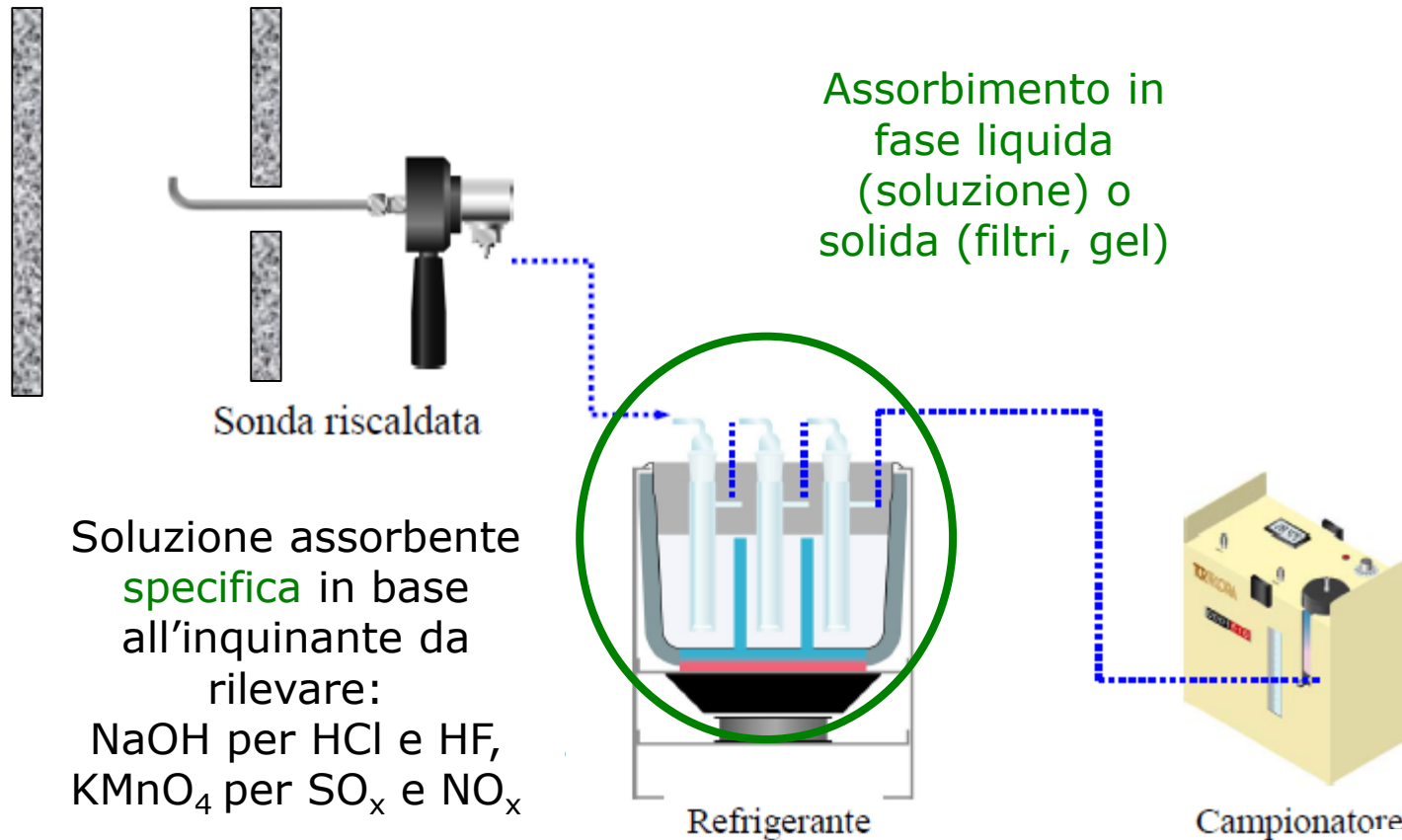
→ possibilità di realizzare piattaforme di lavoro







# Misura di concentrazione $\text{SO}_2/\text{NO}_x$ a camino (UNI EN 14791)



Analisi in laboratorio dei campioni prelevati



# Misure di concentrazione di inquinanti per...

<http://www.arpaweb.fvg.it/qgis/gmapsqa.asp>



Emissione:

→ **Misurare**

Trasporto/trasformazione:

→ **Modellare**

Esposizione:

→ **Gestire**

Rappresentare  
Sintetizzare  
Analizzare  
Interpretare

Effetto emissione reale/ipotetica,  
normale/accidentale  
Evoluzione livello qualità  
Effetto strategie di controllo



# Contenuti del corso

---

- Sintesi e rappresentazione di dati ambientali
- Analisi esplorativa dei dati
- Sviluppo di modelli interpretativi
  
- Meccanismi di trasporto
- Modelli di trasporto/trasformazione
- Aspetti numerici alla base dei modelli
  
- Modelli per il trasporto di inquinanti in corpi idrici (1D, 2D)
- Modelli per il trasporto di inquinanti in atmosfera (3D)
  
- Modelli per il trasporto di inquinanti in mezzi porosi (didattica integrativa)



# Riferimenti

---

## Metodi di Misura e Campionamento Inquinanti:

- [Principi di misura degli inquinanti](#) (Ministero Ambiente)
- [Metodi di misura inquinanti atmosferici](#) (ARPA Veneto)
- [Campionamento emissioni convogliate](#) (Arpa Veneto)
- [Attività di campionamento a camino](#) (ARPA FVG)

## Database ambientali:

- [Monitoraggio qualità dell'aria \(ARPA FVG\)](#)
- [Dati qualità acque superficiali \(ARPA FVG\)](#)
- [GEMStat water quality database](#) (International Centre for Water Resources and Global Change (ICWRGC) )
- [European Environment Agency: Air quality status](#) (EEA)



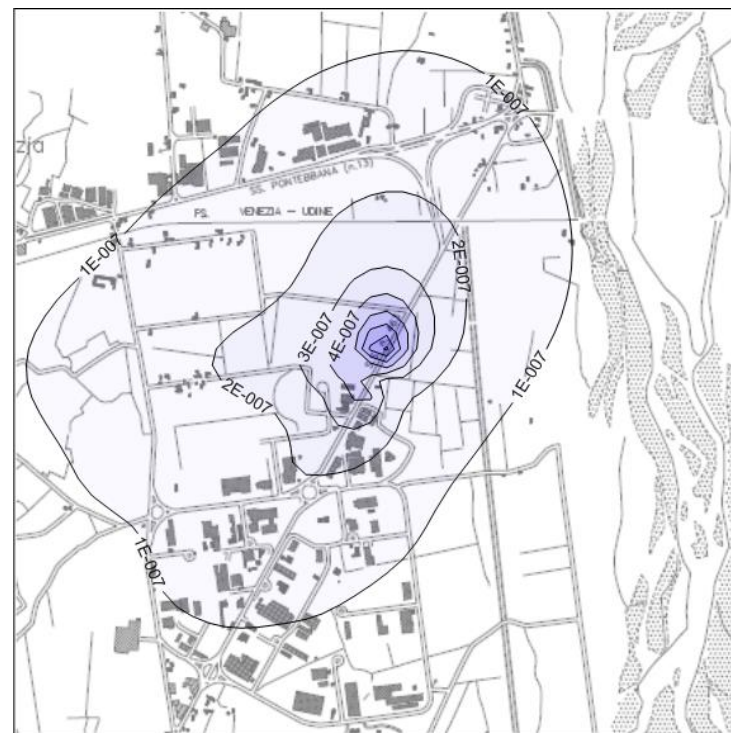
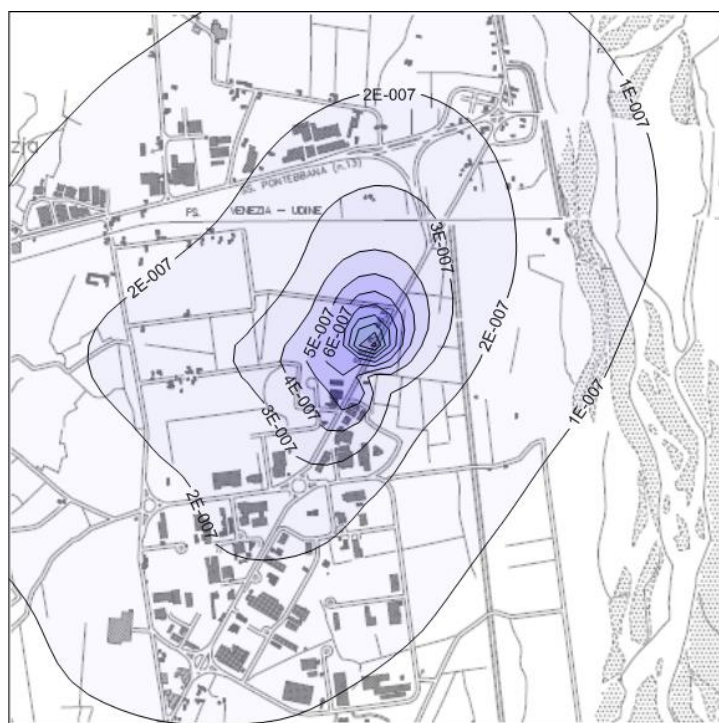
# Testi di Riferimento

---

- [Pagina del corso](#)
- **[Statistical methods in water resources, USGS, Book 4, Hydrologic analysis and Interpretation, 2005](#)**
- Bird B.B., Stewart W.E. and Lightfoot E.N., "Transport phenomena", Wiley, NY, 1960.
- Cussler L., "Diffusion. Mass transfer in fluid systems", Cambridge University Press, 1997.
- Rutherford C., "River mixing", Wiley & Sons, 1994
- Perkins H.C., "Air pollution", McGraw-Hill, New York, 1974.
- Lee F.P., "Loss and prevention in the process industries", Butterworths & Co. Ltd, 1986.
- Zheng C. and Bennet G.D., "Applied contaminant transport modeling", Van Nostrand Reinhold, 1995.



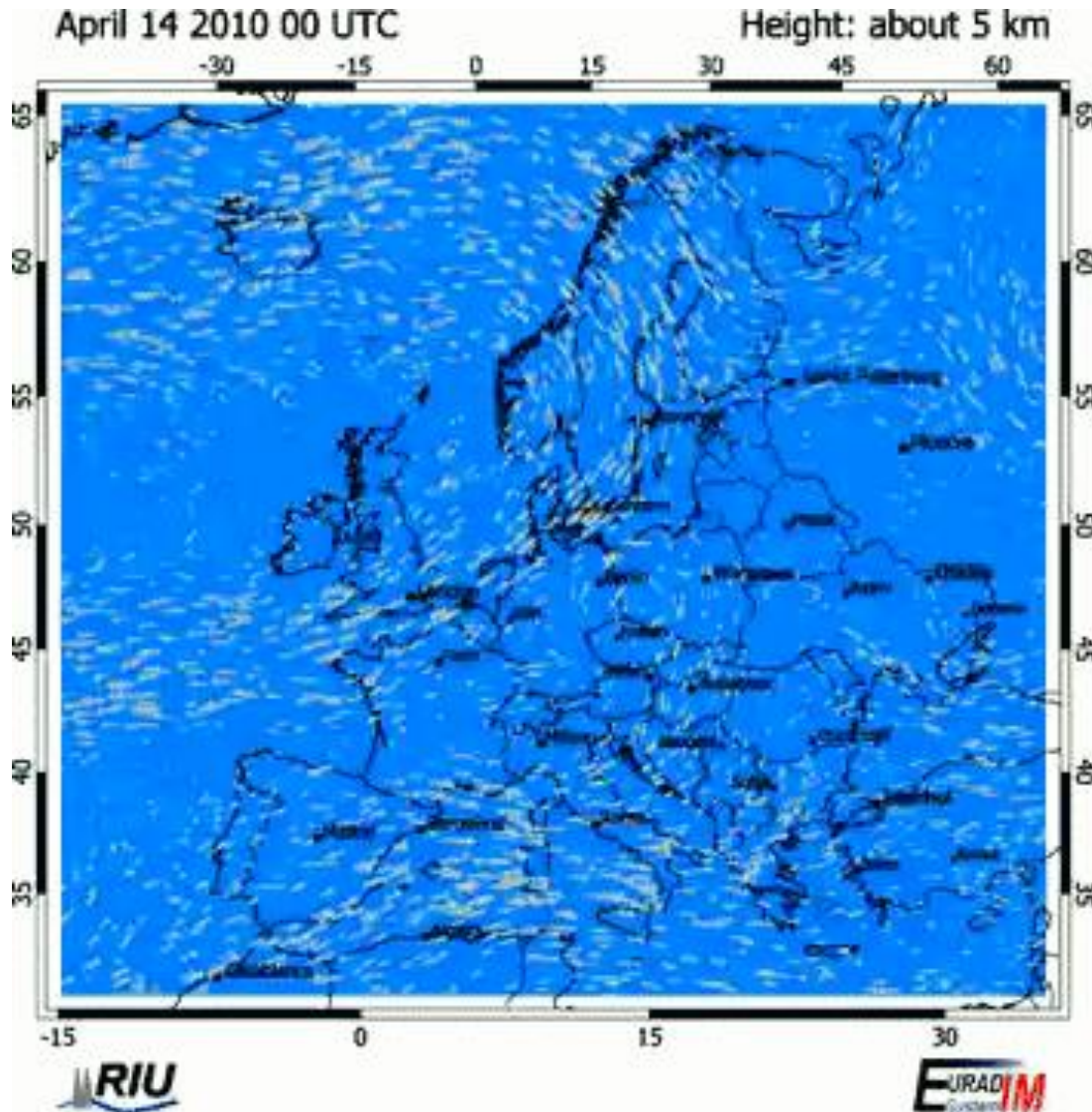
# Variazione dell'impatto a fronte di modifiche d'impianto per il contenimento delle emissioni



Mappe di ricaduta di  $\text{NO}_x$ : valore medio annuo. Configurazione iniziale (sinistra) e post installazione sistema de- $\text{NO}_x$  (destra)



# Dispersion "short term" di inquinanti in atmosfera





# Dispersione "short term" di inquinanti in ambiente urbano



Time=30 s





# Dispersione "short term" di inquinanti in ambiente acquatico

Radioactive Seawater Impact Map (update: 10.08.11)





# Migrazione di inquinanti nel sottosuolo

---

