

La dispersione in atmosfera

Casi di studio

Dott. Ing. Tomaso Vairo
ARPAL
UTCR – ASP

Contenuto

- ★ (1) La dispersione in atmosfera: principi
 - ★Equazioni di Navier - Stokes
- ★ (2) Approccio modellistico
 - ★L'equazione di convezione – diffusione
 - ★La dispersione passiva (gas leggeri)
 - ★La dispersione di gas densi

- ★ (3) Casi di studio
 - ★Previsione e pianificazione in emergenza
 - ★Trasporto di Cloro in ferrocisterne – analisi incidentale
 - ★Analisi ricadute Tirreno Power
 - ★Analisi ricadute Piattaforma Maersk
 - ★Studio del rilascio di aerosol marino nel PM10
 - ★Analisi comparativa e validazione sul campo

La dispersione di sostanze gassose

Una emissione di sostanza liquida o gassosa nell'ambiente è in generale seguita da una dispersione della nube di gas (vapore) formatasi. **La dispersione è quindi l'effetto della emissione che ne è la causa.**

Possibili emissioni:

- ★ Depressurizzazione di un serbatoio
- ★ Cedimento di una valvola di rottura
- ★ Svuotamento o cedimento strutturale di un serbatoio
- ★ Fessurazione di una tubatura/condotto
- ★ Sversamento da fusto/contenitore/serbatoio/...



L'emissione può essere liquida e/o gassosa. Se puramente liquida è richiesto un passaggio di stato alla fase gassosa (quantomeno spray) affinché si abbia dispersione in atmosfera.

Navier - Stokes

Le **equazioni di Navier-Stokes** sono un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali (5 equazioni scalari differenziali alle derivate parziali e 20 variabili) che descrive il comportamento di un fluido dal punto di vista macroscopico. Sono la formalizzazione matematica di **tre principi fisici** ai quali i fluidi, imposta la condizione di continuo deformabile, devono sottostare.

Le equazioni vengono completate dalle condizioni al contorno (condizioni sul contorno del fluido in esame) e dalle condizioni iniziali (condizioni imposte all'inizio temporale del fenomeno da studiare).

Notazione **estesa vettoriale delle equazioni indefinite di bilancio di materia, specie, quantità di moto ed energia.**

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \mathbf{v}) = 0$$

★ **principio di conservazione della massa**
(equazione di continuità)

$$\frac{D(\rho \omega_i)}{Dt} = -\nabla(\mathbf{j}_i) + \dot{w}_i$$

★ **secondo principio della dinamica**
(bilancio della quantità di moto)

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla P - \nabla \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g}$$

★ **primo principio della termodinamica**
(conservazione dell'energia)

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \left(u + \frac{1}{2} v^2 + \phi \right) = - \left[\nabla \times \rho \mathbf{v} \left(u + \frac{1}{2} v^2 + \phi \right) \right] - (\nabla \times \mathbf{q}) + \rho (\mathbf{v} \times \mathbf{g}) - (\nabla \times P \mathbf{v}) - [\nabla \times (\boldsymbol{\tau} \times \mathbf{v})]$$



L'approccio modellistico

Esistono due approcci per la modellazione della dispersione turbolenta:

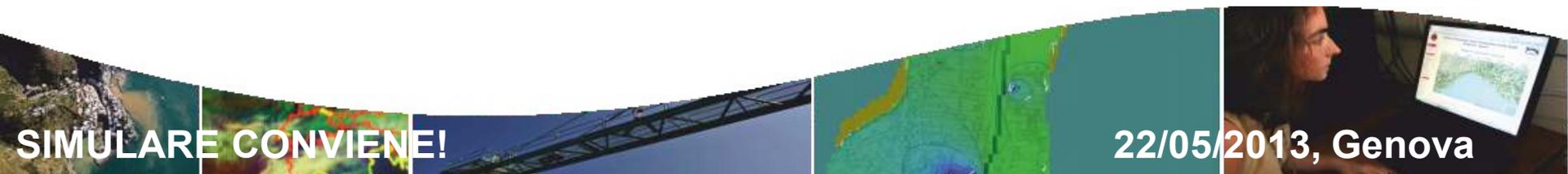
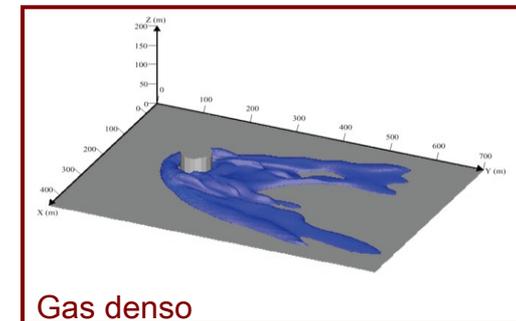
- ★ approccio **Euleriano** (*descrive la concentrazione delle specie rispetto ad un volumetto di controllo inserito in un sistema di coordinate fisso*);
- ★ approccio **Lagrangiano** (*descrive i cambiamenti di concentrazione rispetto al fluido in movimento*). Il modello si basa sulla *descrizione della traiettoria di particelle di fluido* – pdf (probability density function).

Focalizzando l'attenzione sull'approccio **Euleriano**, una delle possibili catalogazioni dei modelli di dispersione è la seguente (Lees 1996):

- ★ Modelli basati sull'*equazione di convezione-diffusione* (detti anche *modelli K*);
- ★ Modelli *statistici*;
- ★ Modelli di *somiglianza* (similarity);
- ★ Modelli a *scatola* (box), a *lastra* (slab), a *bombetta* (top-hat).

gas leggeri o galleggianti →
dispersione passiva

gas densi o pesanti → spinta
di galleggiamento negativa



L'equazione di convezione - diffusione

L'equazione di convezione-diffusione per un gas in coordinate rettangolari è:

$$\underbrace{\frac{dc}{dt}}_{\text{accumulo}} + \underbrace{u \frac{dc}{dx} + v \frac{dc}{dy} + w \frac{dc}{dz}}_{\text{contributo convettivo}} = \underbrace{K_x \frac{d^2c}{dx^2} + K_y \frac{d^2c}{dy^2} + K_z \frac{d^2c}{dz^2}}_{\text{contributo diffusivo}}$$

con **c** la concentrazione del gas (assenza di reazione); **u, v, w** le componenti di velocità longitudinale, trasversale e verticale; **K_x, K_y, K_z** i coefficienti di diffusione del gas (ipotesi di anisotropia).

A seconda delle ipotesi di semplificazione (isotropia della diffusione, costanza o assenza della/delle componenti di velocità) l'equazione di convezione-diffusione può avere una soluzione analitica. Altrimenti occorre integrarla numericamente.

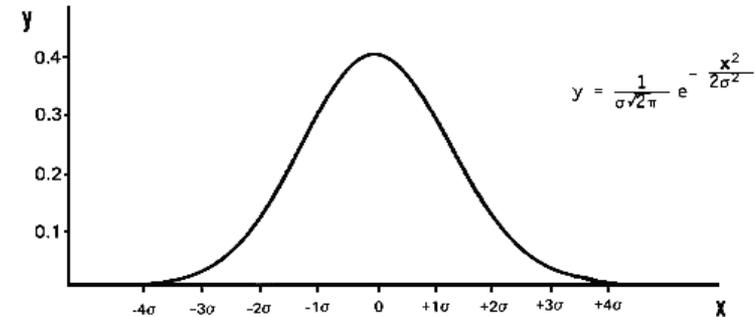


SIMULARE CONVIENE!

22/05/2013, Genova

La dispersione passiva (gas leggeri)

Sperimentalmente è stato rilevato che sia per rilasci istantanei che per quelli continui da una sorgente puntiforme situata a terra **i profili di concentrazione sono Gaussiani**.

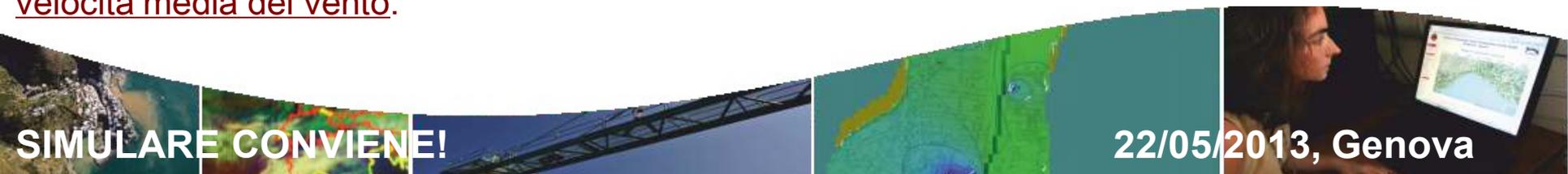


Al contempo per entrambe le tipologie di rilascio **la variabilità della concentrazione cresce con il tempo di campionamento della misura**.

Il pennacchio generato da un rilascio continuo tende a serpeggiare. Ne consegue che la dispersione dovuta alla turbolenza risulta accresciuta.

La **concentrazione** a valle del punto di emissione **dipende dall'intensità della sorgente** purché quest'ultima non sia responsabile in modo significativo del moto convettivo ceduto al fluido emesso.

Per l'emissione **continua e puntiforme** la concentrazione è inversamente proporzionale alla velocità media del vento.



Galleggiamento (dispersione di gas densi)

Con il termine “gas densi” (o “gas pesanti”) si intendono quei gas *la cui densità $[kg/m^3]$ è maggiore rispetto a quella dell’aria atmosferica*. Un elevato numero di gas dell’industria di processo hanno una spinta di galleggiamento negativa, sono cioè gas densi. *Sono proprio questi gas a giocare un ruolo rilevante nella stima del rischio*.

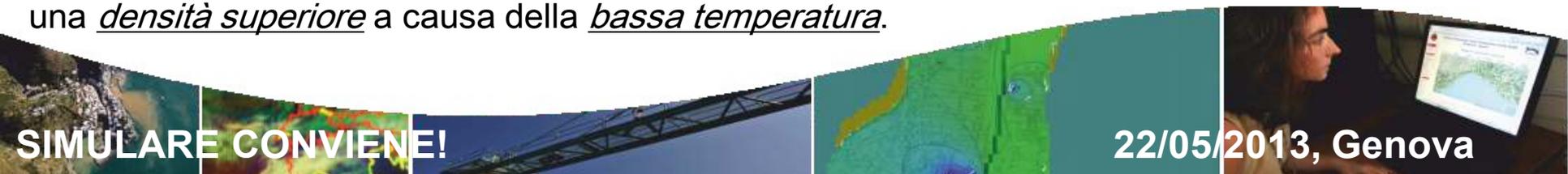
Qualche esempio: idrocarburi, cloro, ammoniaca, acido fluoridrico, ossigeno, ...

Si rammenta che la densità di un gas, ρ , dipende dal:

- ★ peso molecolare,
- ★ temperatura del gas,
- ★ presenza di uno spray liquido,
- ★ temperatura ed umidità dell’aria circostante.

Se un gas ha peso molecolare superiore a quello dell’aria e la sua temperatura è uguale o inferiore a quella atmosferica allora è denso.

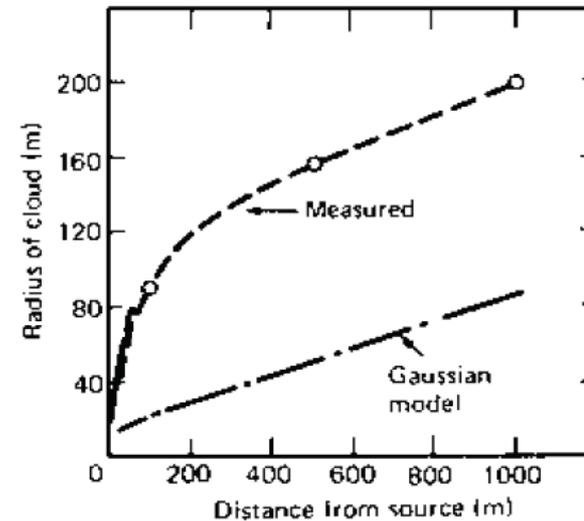
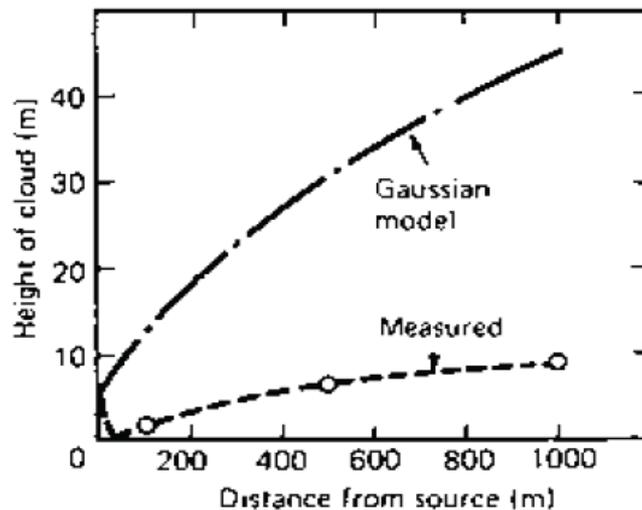
Si possono avere *gas con peso molecolare più basso di quello dell’aria* che hanno comunque una *densità superiore* a causa della *bassa temperatura*.



La dispersione di gas densi – evidenze sperimentali

Gli esperimenti condotti da van Ulden nel 1974 su gas densi misero in evidenza un completo disaccordo con l'ipotesi di distribuzione gaussiana della concentrazione e quindi con le risultanze dei modelli gaussiani.

Ciò significa che occorre sviluppare una serie di **modelli ad hoc per gas densi** basati su ipotesi ed equazioni differenti rispetto a quelle della dispersione passiva.



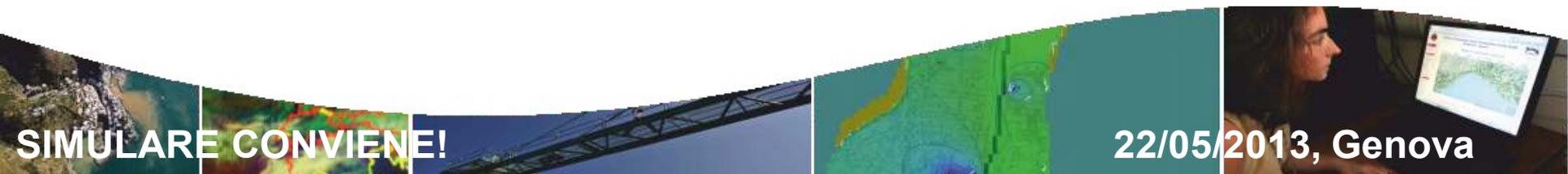
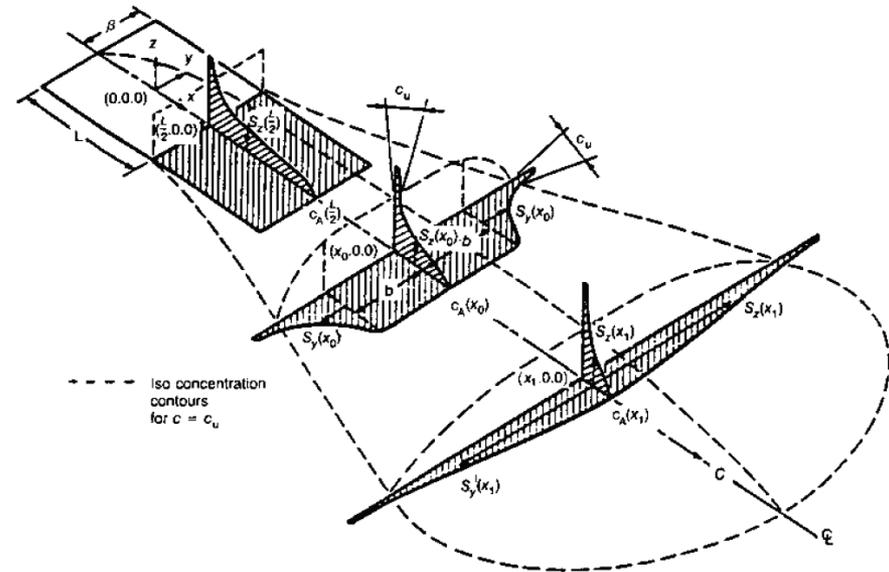
La dispersione di gas densi - Modelli

Modelli di Cox e Roe

L'approccio maggiormente utilizzato per la modellazione di gas densi è quella di Cox e Roe.

La nube è descritta come una serie di **fette trasversali, aventi concentrazione uniforme, che si muovono in direzione del vento allargandosi per la gravità**. La transizione da gas denso a dispersione passiva si ha quando la velocità di ampliamento laterale della nube dovuta alla turbolenza atmosferica sorpassa quella dovuta alla gravità.

Da questo momento in poi si adottano le equazioni relative ad una dispersione Gaussiana da sorgente lineare finita.



SIMULARE CONVIENE!

22/05/2013, Genova

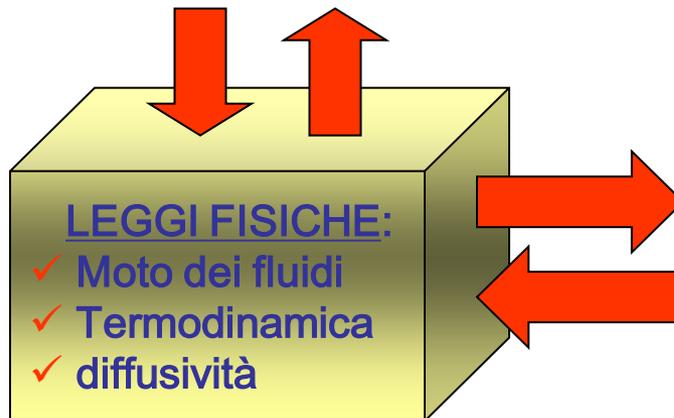
Casi di studio – Previsione e Pianificazione

Abbiamo visto come l'approccio modellistico sia in grado di fornire risposte per descrivere la dispersione di una specie in un'altra.

I modelli si possono utilizzare a fini **previsionali** (la meteorologia ne è un esempio, ma anche la dispersione di inquinanti a seguito di rilasci incidentali), o a fini di **pianificazione** (la mappatura delle ricadute da sorgenti industriali).

In ognuno dei due casi, qualsiasi modello di calcolo funziona nel seguente modo:

dati descrittivi del 'termine sorgente'



Misure sul campo e dati

Casi di studio – Previsione (Cloro)

Rilascio di Cloro da ferrocisterna

Nel Novembre del 2005 è stato condotto uno studio, per la Prefettura di Savona, al fine di stimare le conseguenze di un possibile evento incidentale nella stazione ferroviaria di Parco Doria (SV), dove stazionavano ferrocisterne trasportanti Cloro per un vicino stabilimento industriale.

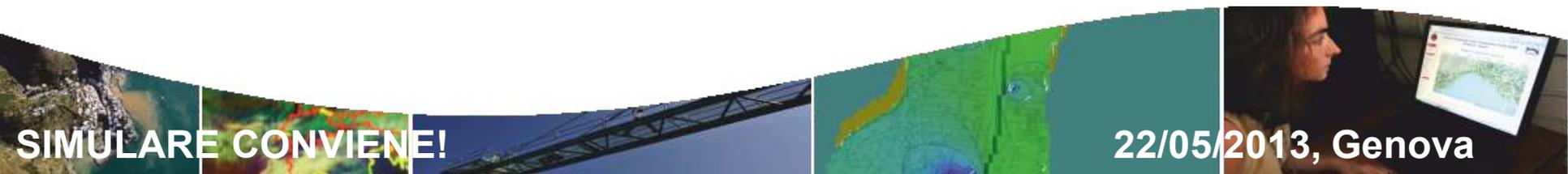
Per condurre tale simulazione è stato usato il modello **ALOHA** (EPA). È un modello di dispersione finalizzato alla modellazione di scenari di rilasci di sostanze chimiche tossiche e alla previsione della loro dispersione in atmosfera.

Secondo la distinzione sopra elencata (Lees), ALOHA è un modello a box, gaussiano (nella transizione), che utilizza la metodologia di Cox per gas densi.

Sono stati simulati **sei scenari**:

- ✓ Rottura nella parte superiore della ferrocisterna (rilascio dall'alto – fase gas)
- ✓ Rottura nella parte inferiore della ferrocisterna (rilascio di aerosol – due fasi)

Ognuno valutato nelle condizioni di stabilità D e F con vento da 10, 5, 0.6 m/s



Casi di studio – Previsione (Cloro)

I parametri in input al modello sono stati i seguenti:

- ✓ Caratterizzazione del termine sorgente
 - ✓ Sostanza

Chemical Name: CHLORINE

Molecular Weight: 70.91 g/mol

ERPG-3: 20 ppm ERPG-2: 3 ppm ERPG-1: 1 ppm

IDLH: 10 ppm

Normal Boiling Point: -34.0° C

Ambient Boiling Point: -34.0° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

Casi di studio – Previsione (Cloro)

Condizioni di rilascio

✓ Caso a) rilascio dall'alto

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Tank Diameter: 2 meters; Tank Length: 12 meters

Tank Volume: 37,699 liters; Tank contains liquid

Chemical Mass in Tank: 24000 kilograms

Tank is 45% full

Circular Opening Diameter: 10 centimeters

Opening is 2 meters from tank bottom

✓ Caso b) rilascio dal basso

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Tank Diameter: 2 meters; Tank Length: 12 meters

Tank Volume: 37,699 liters; Tank contains liquid

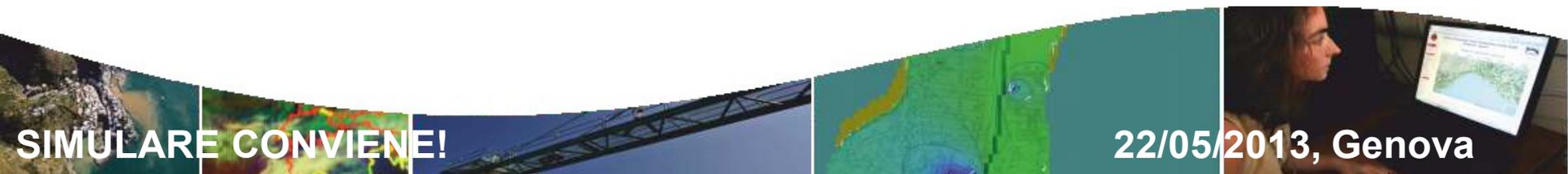
Internal Temperature: 30° C

Chemical Mass in Tank: 24000 kilograms

Tank is 45% full

Circular Opening Diameter: 10 centimeters

Opening is 0.080 meters from tank bottom



SIMULARE CONVIENE!

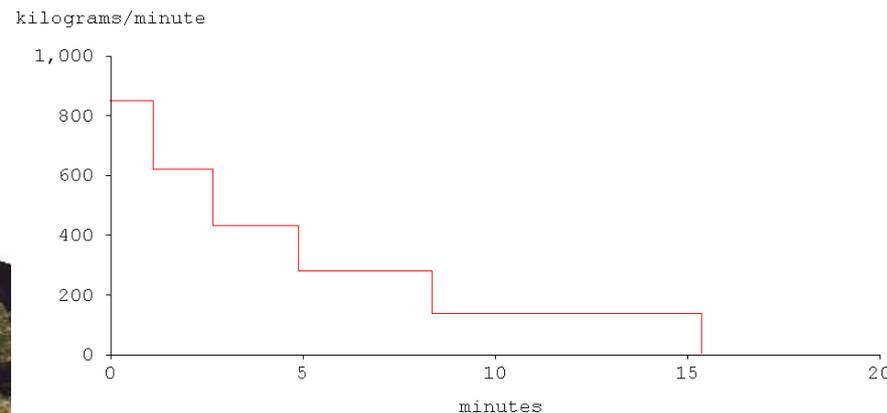
22/05/2013, Genova

Casi di studio – Previsione (Cloro)

I risultati delle simulazioni:

Nel caso a), Release Duration: 15 minutes
 Max Average Sustained Release Rate: 846 kilograms/min
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 4,800 kilograms
 Note: The chemical escaped from the tank as a gas.

| | IDLH (10 ppm) | ERPG2 (3 ppm) | ERPG1 (1 ppm) |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Classe D, vento 10 m/s | 2.7 Km | 4.8 Km | 7.9 Km |
| Classe D, vento 5 m/s | 3.4 Km | 6.1 Km | +10 Km |
| Classe D, vento 0.6 m/s | 3.4 Km | 5.8 Km | 9.2 Km |
| Classe F, vento 10 m/s | 4.1 Km | 7.3 Km | +10 Km |
| Classe F, vento 5 m/s | 5 Km | 9.1 Km | +10 Km |
| Classe F, vento 0.6 m/s | 3.5 Km | 6.1 Km | +10 Km |



Casi di studio – Previsione (Cloro)

I risultati delle simulazioni:

Nel caso b), Release Duration: 3 minutes

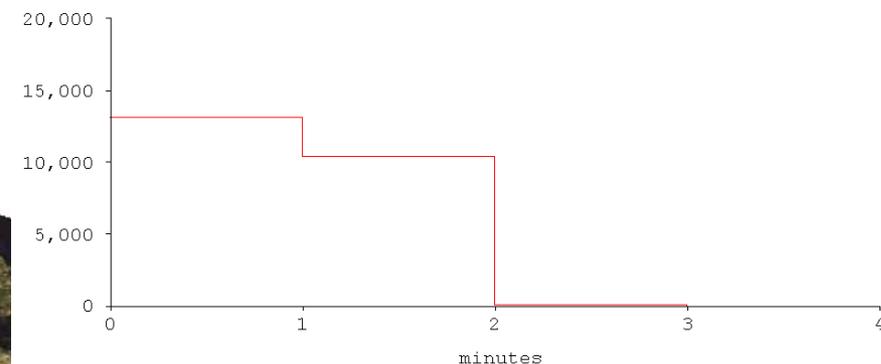
Max Average Sustained Release Rate: 13,200 kilograms/min
(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 23,680 kilograms

Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

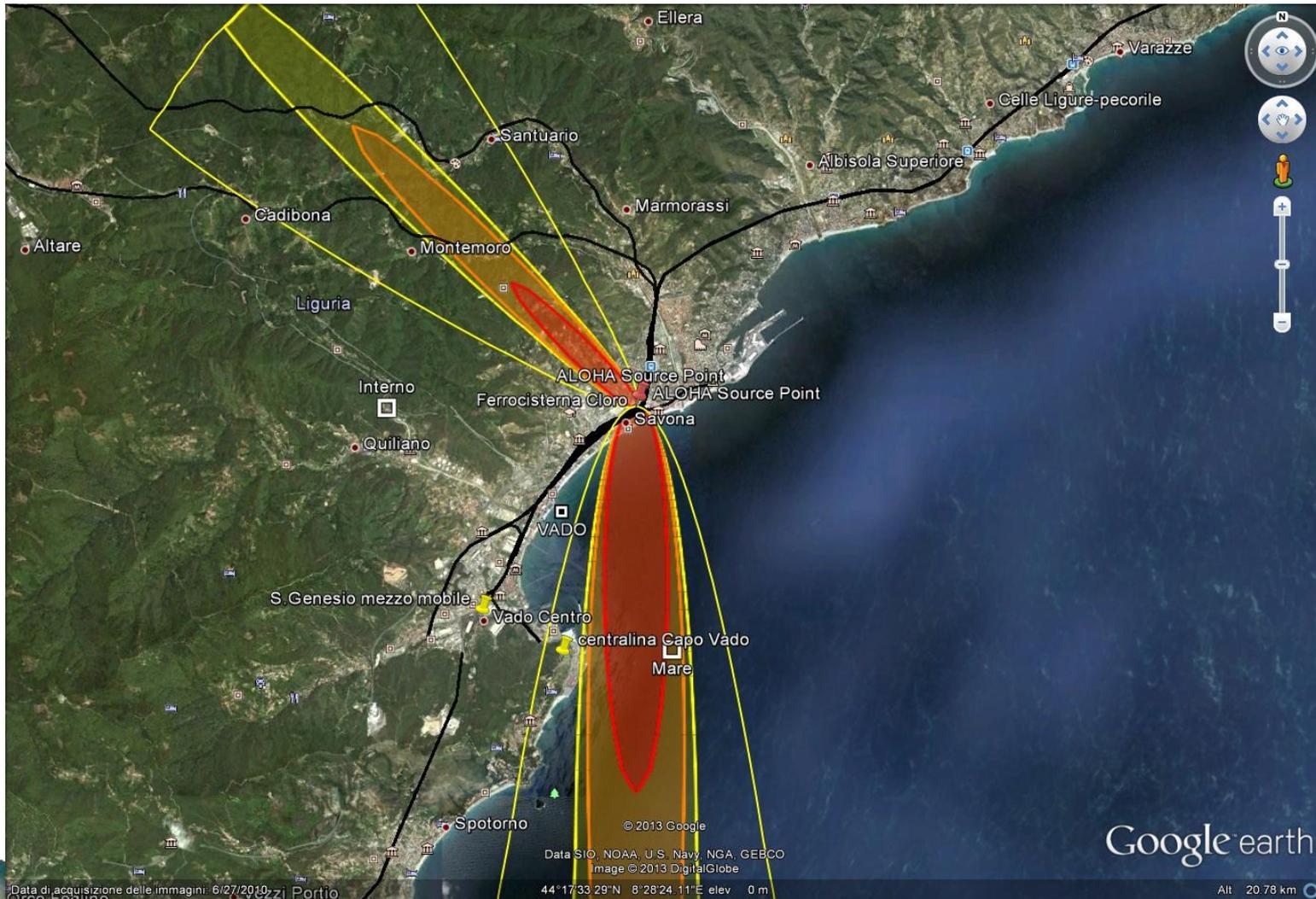
| | IDLH (10 ppm) | ERPG2 (3 ppm) | ERPG1 (1 ppm) |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Classe D, vento 10 m/s | 9.1 Km | +10 Km | +10 Km |
| Classe D, vento 5 m/s | 8.8 Km | +10 Km | +10 Km |
| Classe D, vento 0.6 m/s | 5.4 Km | 8.3 Km | +10 Km |
| Classe F, vento 10 m/s | +10 Km | +10 Km | +10 Km |
| Classe F, vento 5 m/s | +10 Km | +10 Km | +10 Km |
| Classe F, vento 0.6 m/s | 6.4 Km | +10 Km | +10 Km |

kilograms/minute



22/05/2013, Genova

Casi di studio – Previsione (Cloro)



Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

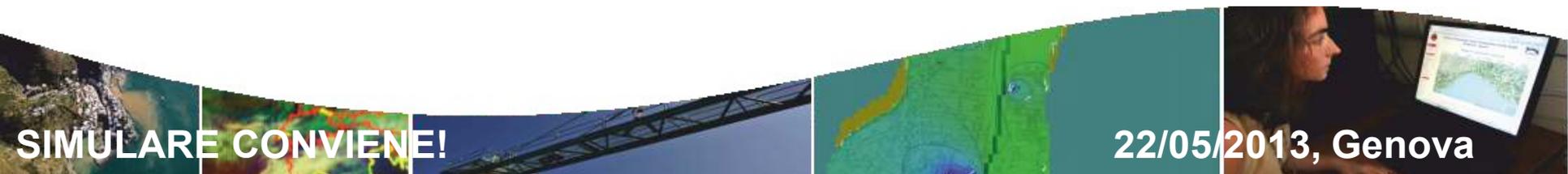
E stata realizzata una catena modellistica di simulazione delle ricadute delle emissioni della centrale termoelettrica Tirreno Power di Vado Ligure.

Input al modello:

- ✓ Portata di inquinanti immessi in atmosfera dal camino
- ✓ Caratteristiche fisiche del terreno e dell'ambiente (orografia, rugosità superficiale, ecc.)
- ✓ Parametri meteorologici locali
- ✓ campo di vento (direzione e intensità)
- ✓ classe di stabilità atmosferica (classificazione convenzionale della “turbolenza” atmosferica, cioè del grado di rimescolamento verticale degli strati d'aria)
- ✓ Temperatura, copertura nuvolosa, umidità dell'aria, ecc.

Risultati del modello

- ✓ Concentrazioni di inquinanti in aria (mg/m^3) registrate nelle postazioni dei recettori alla quota di 2m dal suolo alle diverse scale temporali
- ✓ media oraria, media giornaliera, media mensile, media annuale



SIMULARE CONVIENE!

22/05/2013, Genova

Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

Termine sorgente

Caratteristiche emissive del camino della centrale Tirreno Power di Vado Ligure (dati della Provincia di Savona).

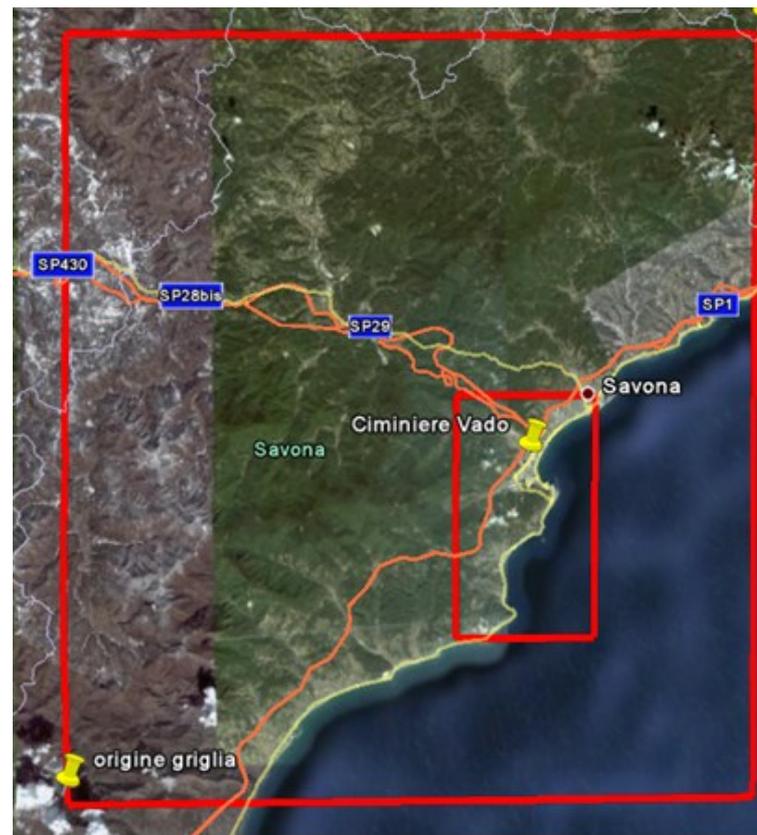
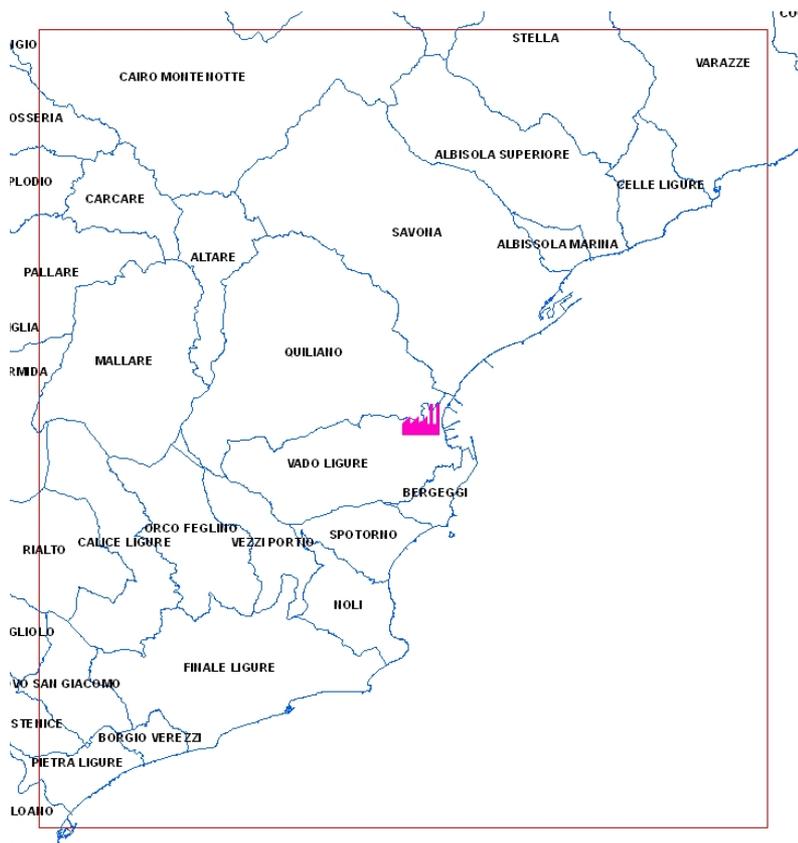
| Caratteristiche fisiche della sorgente | |
|--|------------------------------|
| Ubicazione geografica | 44,3 °N - 8,4 °E |
| Altezza camino | 200 m |
| Diametro bocca di uscita | 6,5 m |
| Portata dei fumi (normalizzata) | 1.050.000 Nm ³ /h |
| Portata dei fumi (effettiva) | 463,3 m ³ /s |
| Temperatura fumi in emissione | 90 °C |
| Velocità uscita fumi | 14 m/s |

Portata e concentrazione di inquinanti considerate costanti per tutto l'arco dell'anno, pari al valore medio.

| portata di inquinanti | t/anno | kg/h |
|------------------------------------|--------|------|
| ossidi di zolfo (SO _x) | 5350 | 611 |
| ossidi di azoto (NO _x) | 3000 | 342 |
| polveri totali | 200 | 23 |

Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

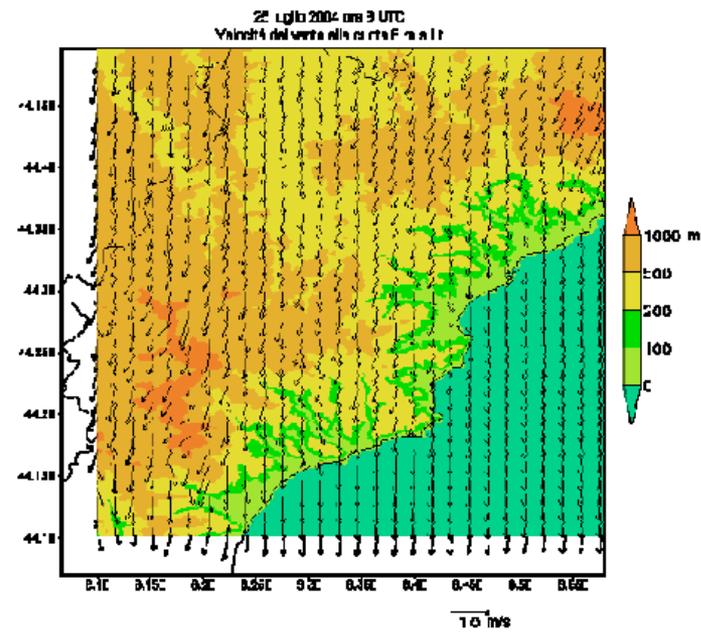
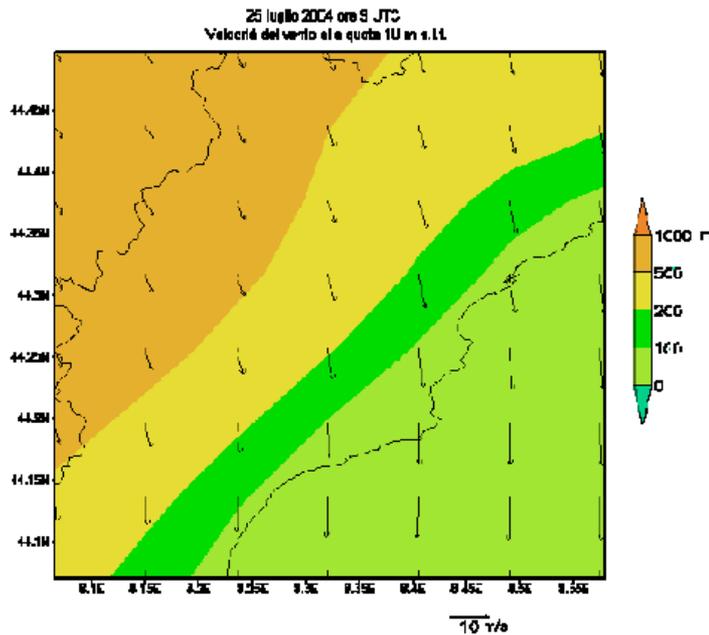
Dominio di calcolo



Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

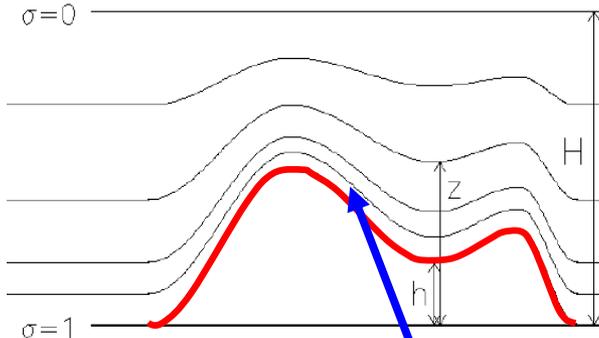
Catena modellistica

Vengono innestati “in cascata” il modello meteorologico gestito dal CFMI-PC di ARPAL (MOLOCH) con un modello specialistico di dispersione di contaminanti in atmosfera (ADMS del CERC di Cambridge) input meteorologici variabili a scala oraria e ad alta risoluzione

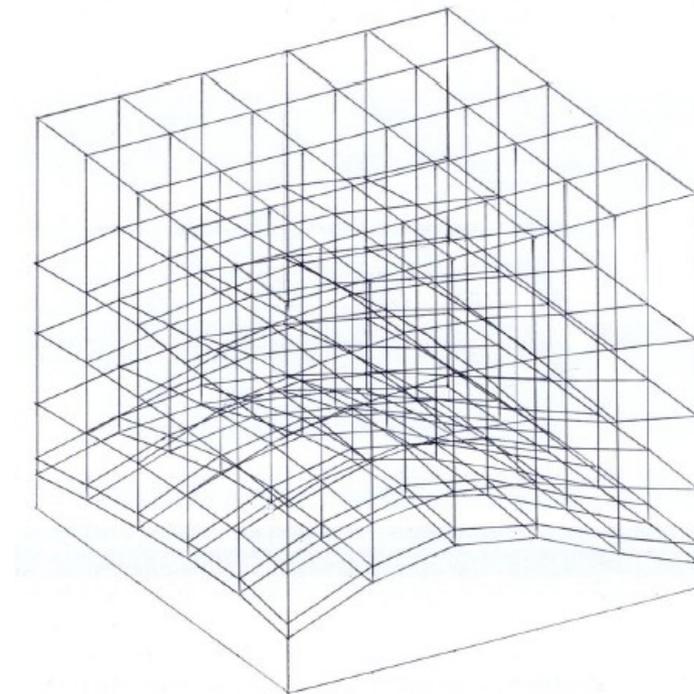


Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

- **Reticolo computazionale**
- Orografia complessa \rightarrow coordinate conformi al terreno



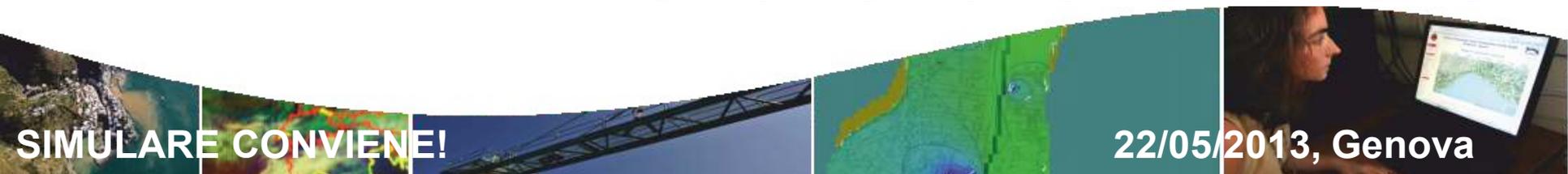
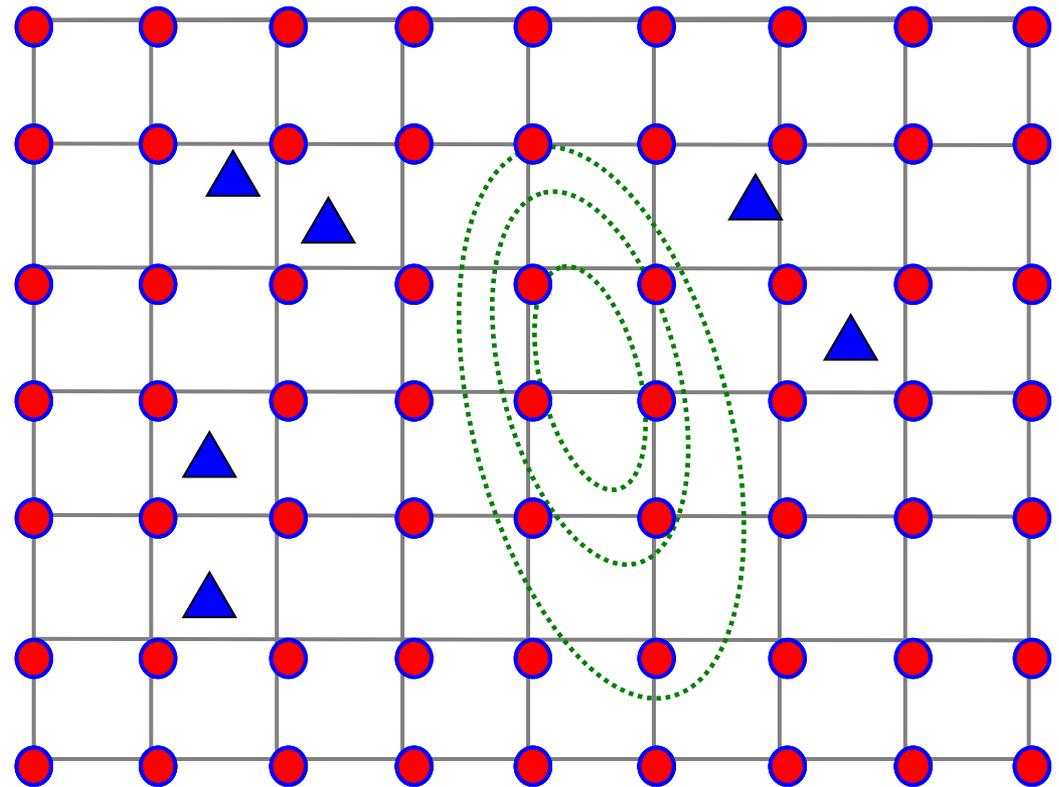
superfici conformi in
prossimità della
superficie



Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

Inizializzazione e aggiustamento

- ▲ osservazioni
- valori iniziali *first guess*
- orografia
- valori finali

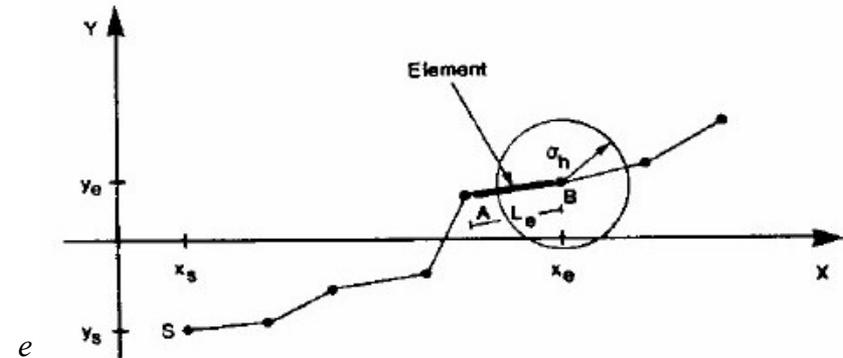
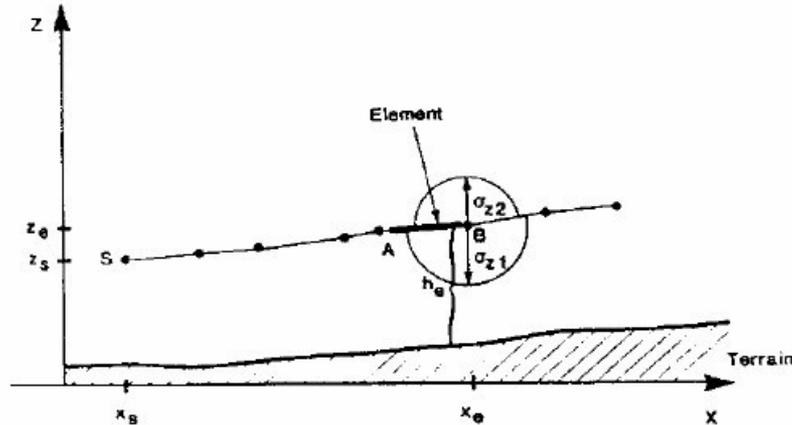


SIMULARE CONVIENE!

22/05/2013, Genova

Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

Trasporto



Il TIPO di elemento (segmento o puff) non influenza la sua dinamica.

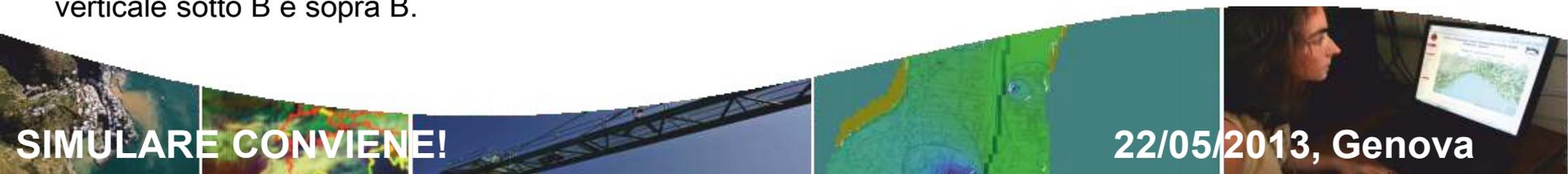
Ogni elemento è infatti caratterizzato dai seguenti parametri calcolati nel suo “punto centrale finale” B:

$E(x_e, y_e, z_e)$: coordinate del punto B;

h_e : elevazione di B al di sopra del suolo;

M_1, M_2 : masse dell'inquinante primario e secondario;

$\sigma_h, \sigma_{z1}, \sigma_{z2}$: deviazioni standard della distribuzione gaussiana di concentrazione rispettivamente orizzontale, verticale sotto B e sopra B.



Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

Trasporto



Il tipo di elemento è un fattore chiave nel calcolo del campo di concentrazione a ogni Δt . Il criterio per identificare il tipo di elemento è:

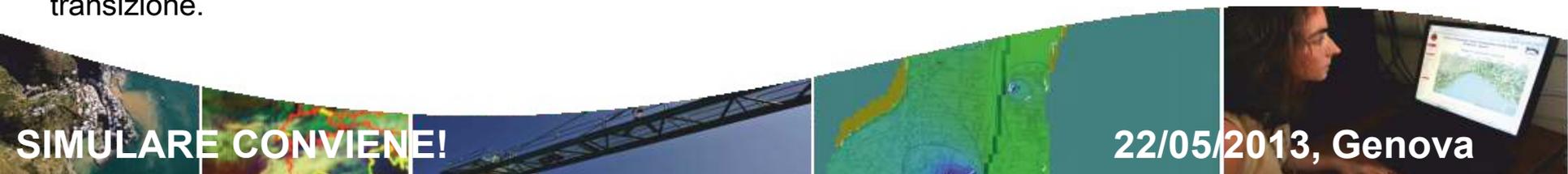
Se $L_e/\sigma_{hm} \geq 2$: elemento trattato come segmento di pennacchio

Se $L_e/\sigma_{hm} < 2$: elemento trattato come puff

L_e = lunghezza dell'elemento

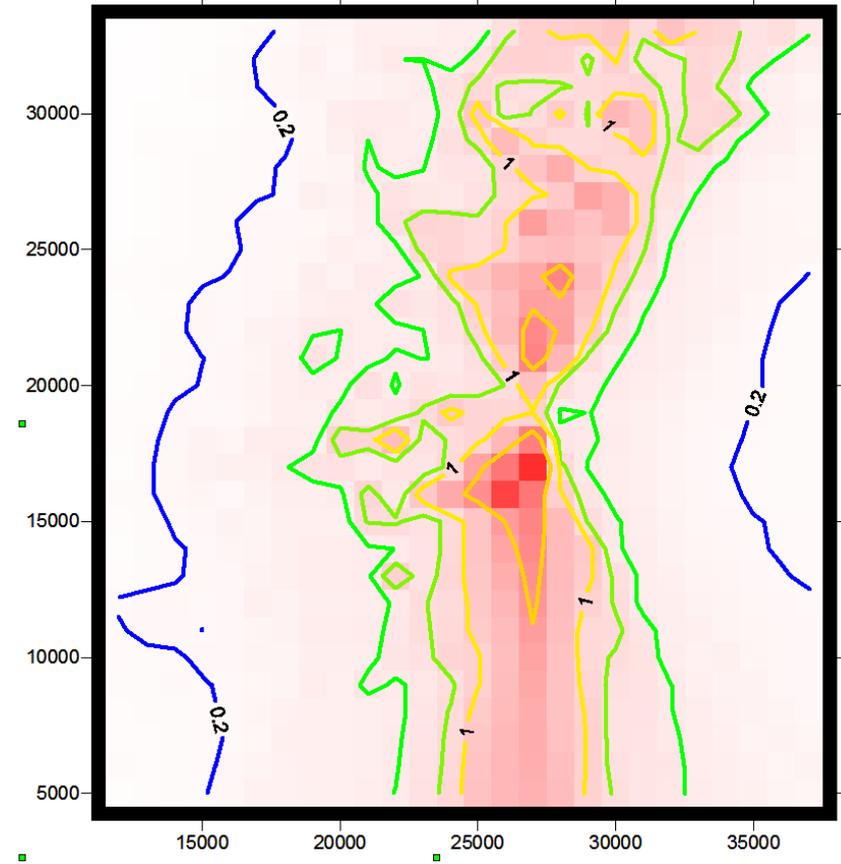
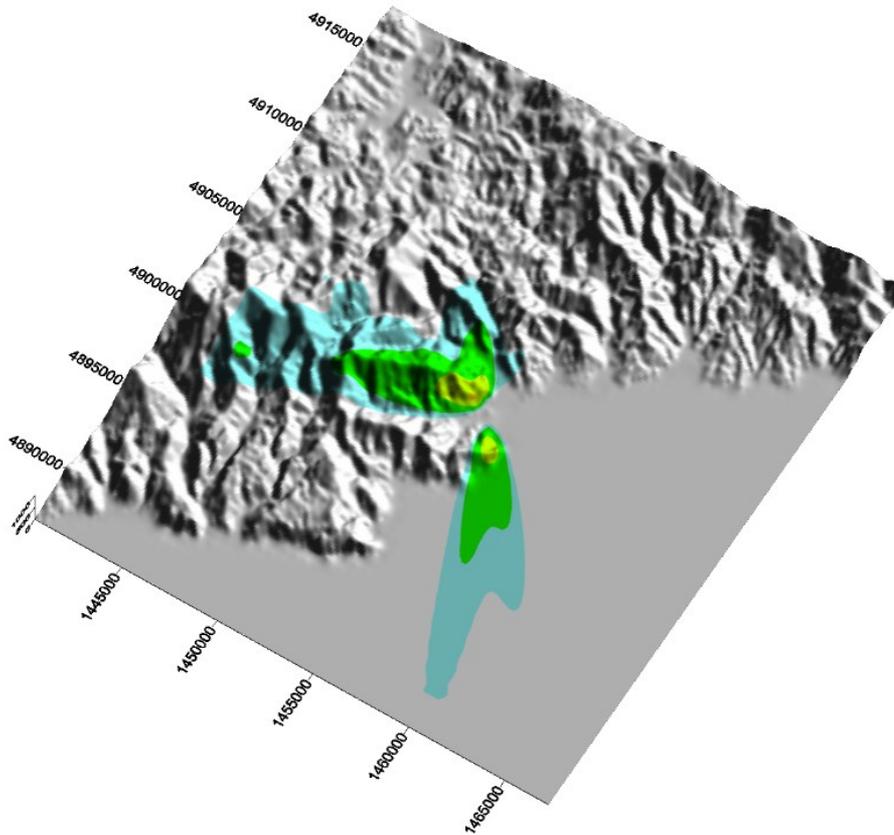
σ_{hm} = deviazione standard orizzontale del pennacchio ossia la media della deviazione standard orizzontale dell'elemento stesso e di quello emesso subito dopo.

Questo schema consente una rappresentazione efficiente e realistica di casi di calma, di trasporto e di transizione.



Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

OUTPUT del modello

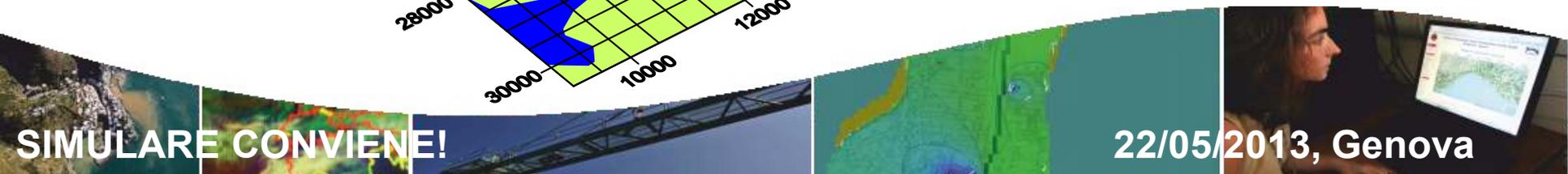
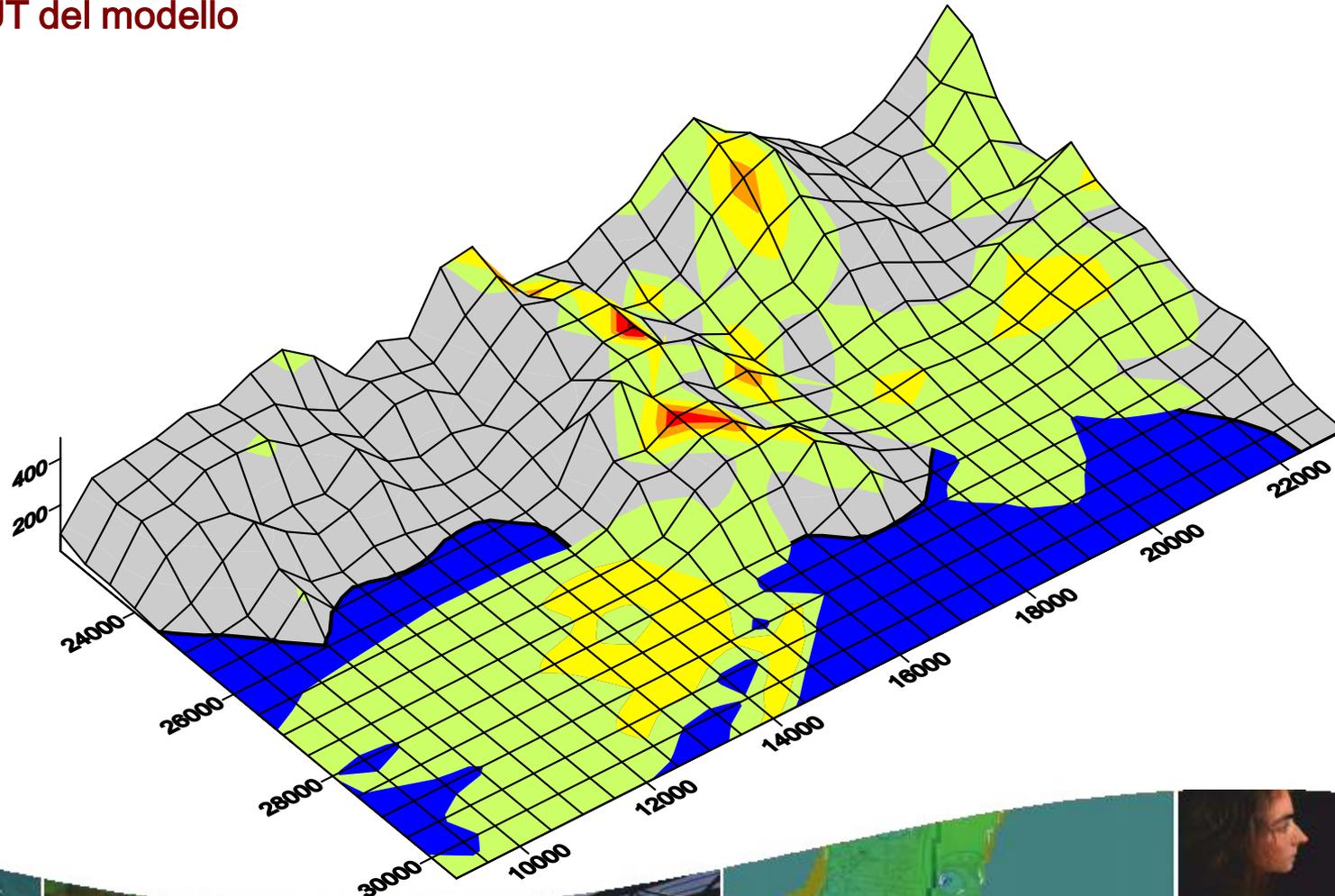


SIMULARE CONVIENE!

22/05/2013, Genova

Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

OUTPUT del modello



SIMULARE CONVIENE!

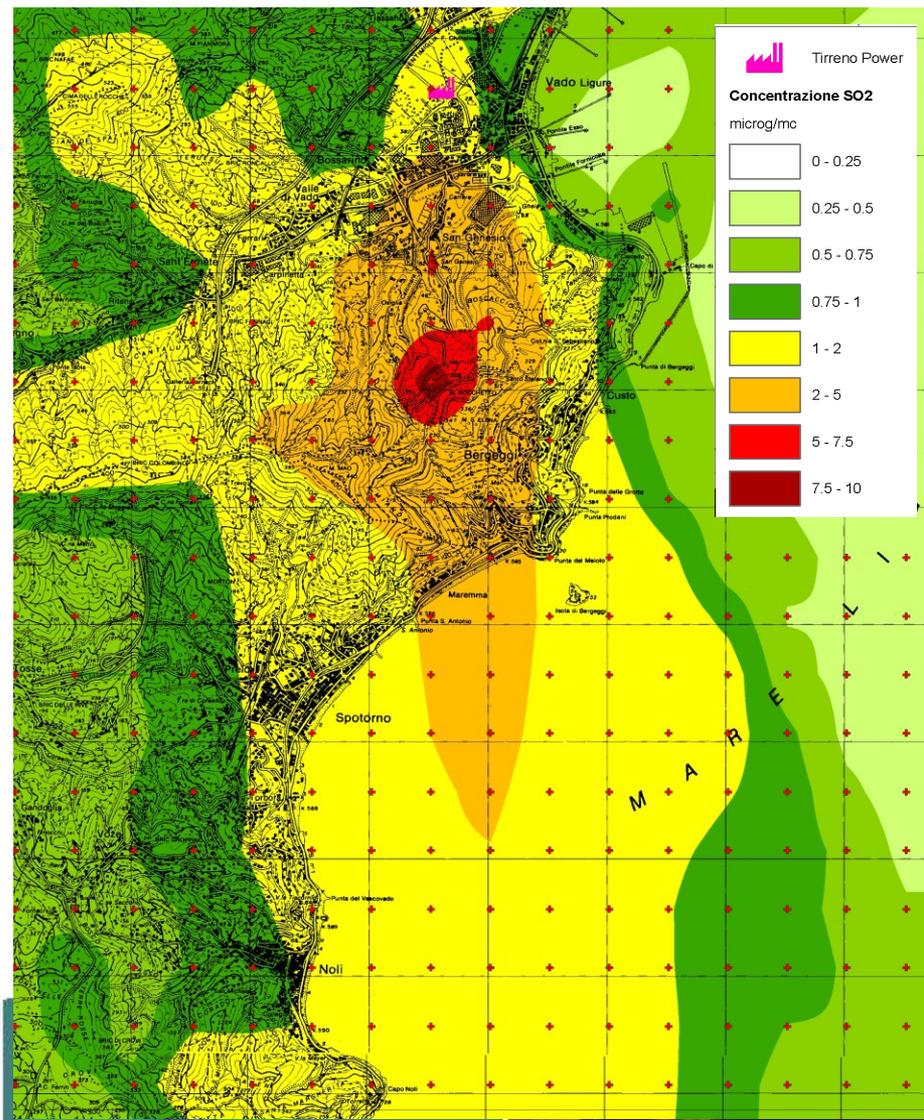
22/05/2013, Genova

Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

Risultati del modello

Ricaduta SO₂

✓ concentrazione media annuale

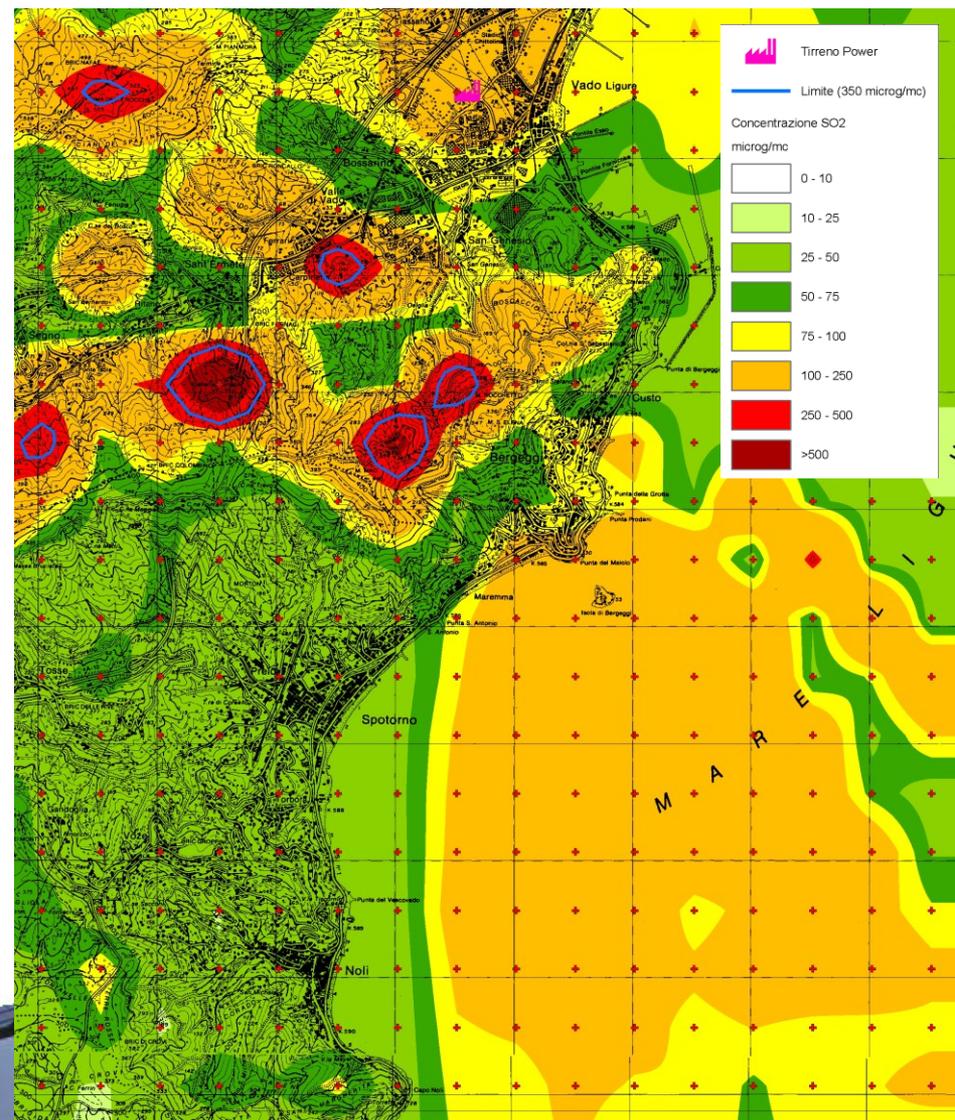


Casi di studio – Pianificazione (centrale termica)

Risultati del modello

Ricaduta SO₂

- ✓ concentrazione media oraria
- ✓ percentile 99.7°, superato mediamente 24 volte all'anno (24 ore su 8760)



Casi di studio – Pianificazione (posizionamento centralina)

Valutazione ricadute delle emissioni di camini di navi mercantili

Inquinante di riferimento: **NO_x**

Temperatura di emissione fumi: **90°C**

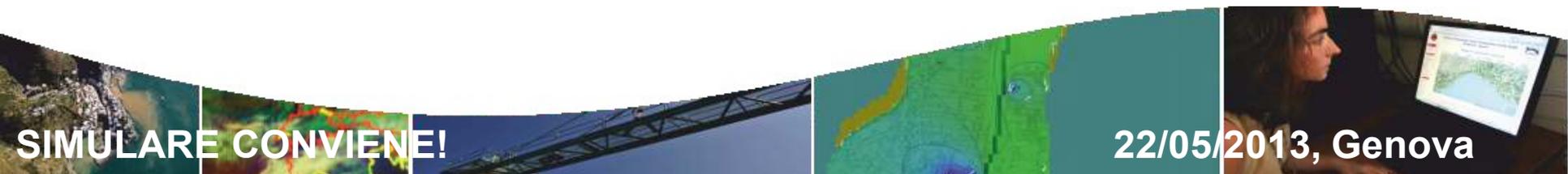
Velocità uscita fumi: **17,5 m/s**

Portata inquinante: **7,4 Kg/s**

Portata fumi: **233100 Nm³/h**

Località: **Vado Ligure, pontile**

Per la presente simulazione, è stato utilizzato il software **ADMS** (CERC), un modello di dispersione che simula una vasta gamma di dispersioni (galleggiamento, disp.passiva), singolarmente o in combinazione. Il modello utilizza due parametri per descrivere lo strato limite atmosferico, cioè **l'altezza dello strato limite atmosferico h**, e **la lunghezza di Monin-Obukhov L_{mo}**, e una distribuzione di concentrazione gaussiana asimmetrica per calcolare la dispersione in condizioni convettive.



Casi di studio – Pianificazione (posizionamento centralina)

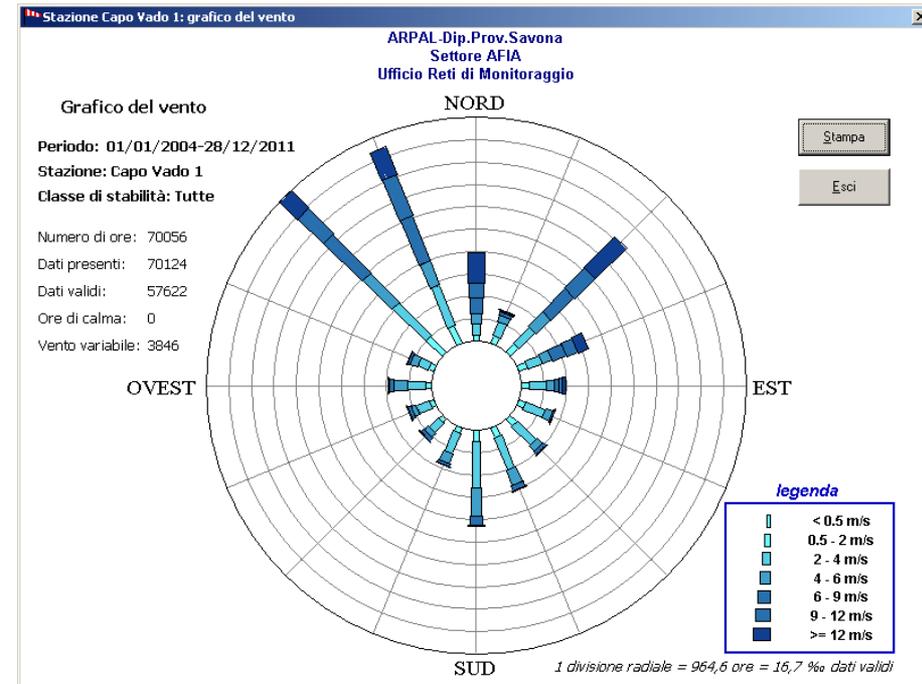
Ricostruzione campi di vento tridimensionali

La modellazione climatologica è stata effettuata considerando i venti prevalenti, che sono risultati essere nelle direzioni **NO, N, NE** (nella rosa dei venti di Capo Vado - anni 2004-2011), che rappresentano circa il 60% delle occorrenze nel periodo.

Per valutare tutte le condizioni di dispersione, per ogni direzione del vento sono state considerate **6 configurazioni climatiche (combinando 3 classi di intensità del vento e 2 classi di stabilità atmosferica)**.

Totale: **18 scenari stazionari**.

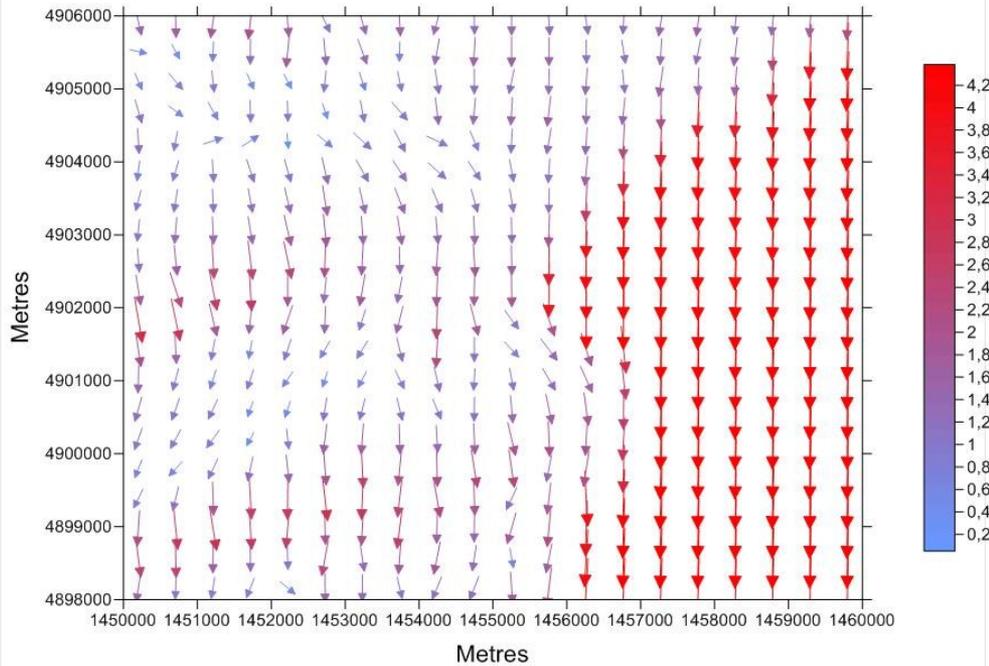
Quindi è stata valutata la media pesata sulla frequenza di ognuno degli scenari



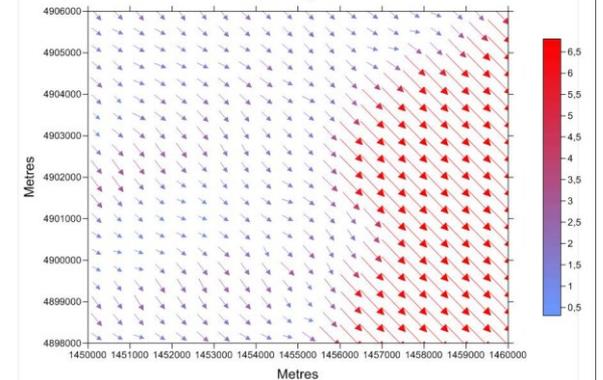
Casi di studio – Pianificazione (posizionamento centralina)

Ricostruzione dei campi di vento tridimensionali nelle situazioni descritte

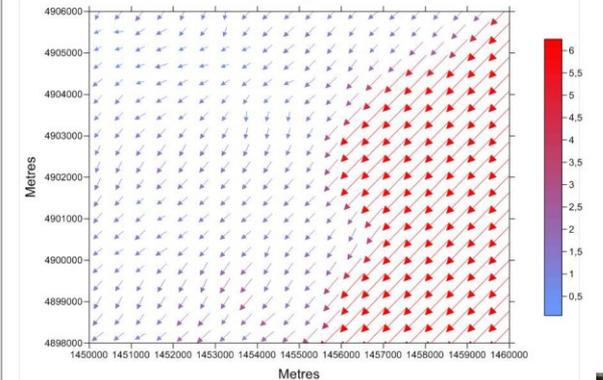
F:\ADMS\MAERSK\NOx - N^ (wind=200)\maersk_NOx_N^ -LT(wind=200m).Wit
Vector plot: Horizontal mean flow, at height 2m



F:\ADMS\MAERSK\NOx - NO (wind=100)\maersk_NOx_NO -LT(wind=100m).Wit
Vector plot: Horizontal mean flow, at height 2m



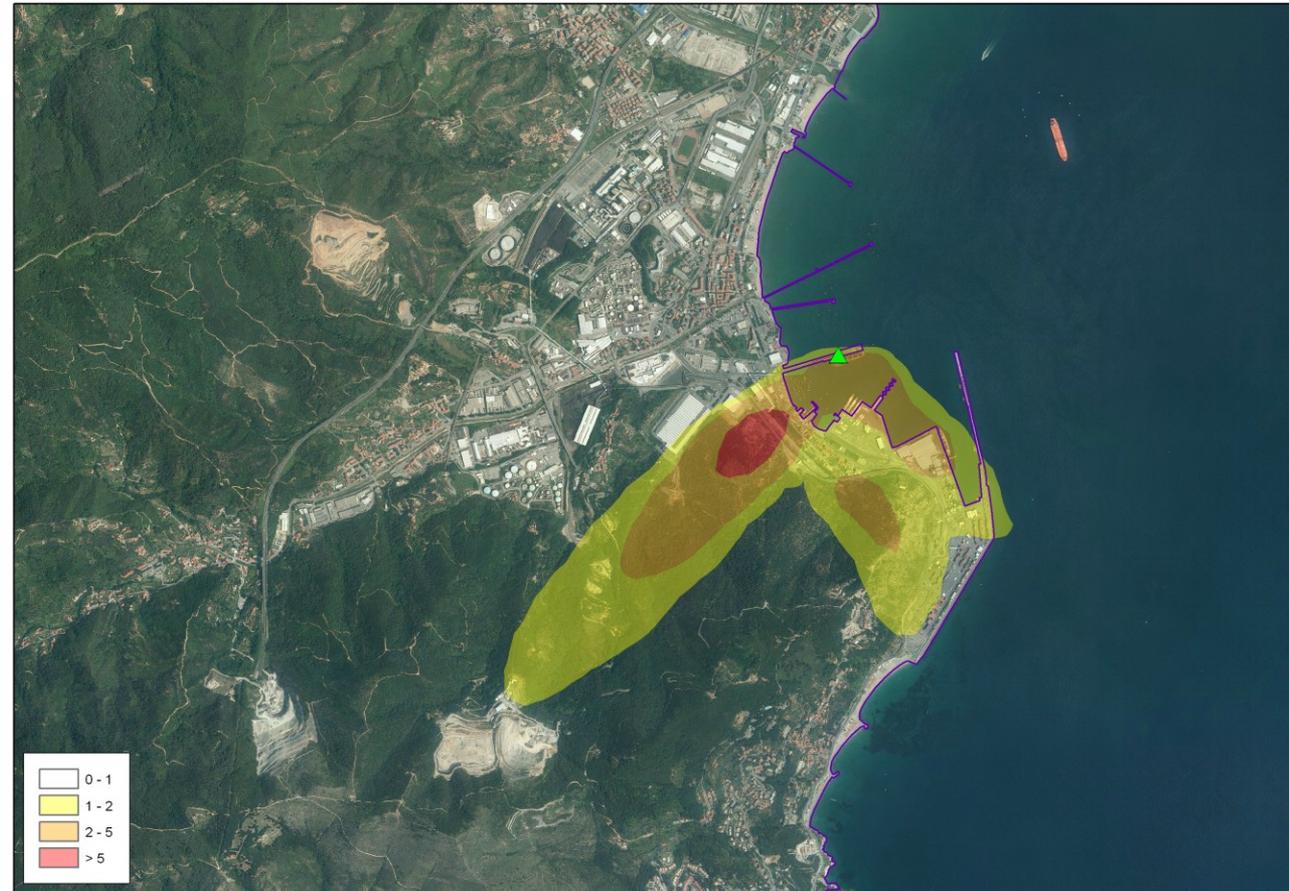
F:\ADMS\MAERSK\NOx - NE (wind=200)\maersk_NOx_NE -LT(wind=200m).Wit
Vector plot: Horizontal mean flow, at height 2m



Casi di studio – Pianificazione (posizionamento centralina)

Output

è stata infine calcolata la media pesata sulla frequenza di ognuno degli scenari.
(valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di NO_x).



Casi di studio – Regressione (aerosol marino)



La superficie del mare è una sorgente areale di aerosol, che può modificare la qualità dell'aria; ai sensi della direttiva 2008/50/CE, inoltre, può essere identificata come **contributo da fonte naturale**. Qualora tali contributi possano essere determinati con **sufficiente certezza** e qualora i superamenti siano dovuti in tutto o in parte a tali contributi naturali, questi possono essere **detratti**, alle condizioni previste dalla direttiva, al momento della valutazione del rispetto dei valori limite della qualità dell'aria.

Casi di studio – Analisi (aerosol marino)

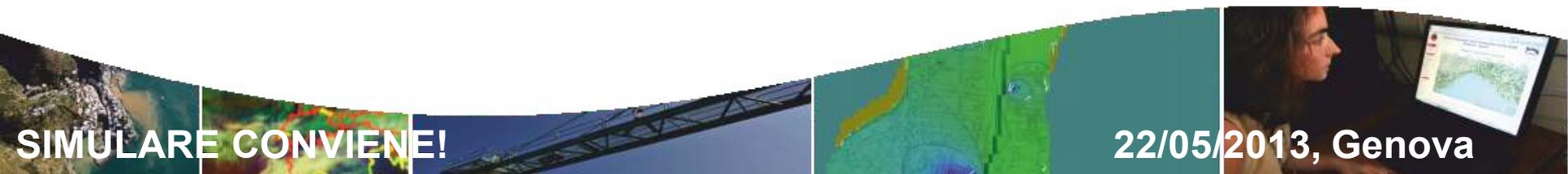
Individuazione dei siti

Sono stati individuati i siti di:

- ✓ Genova – Rapallo
- ✓ La Spezia – P.zza Saint Bon
- ✓ Savona – Varaldo
- ✓ Imperia – Via Brea

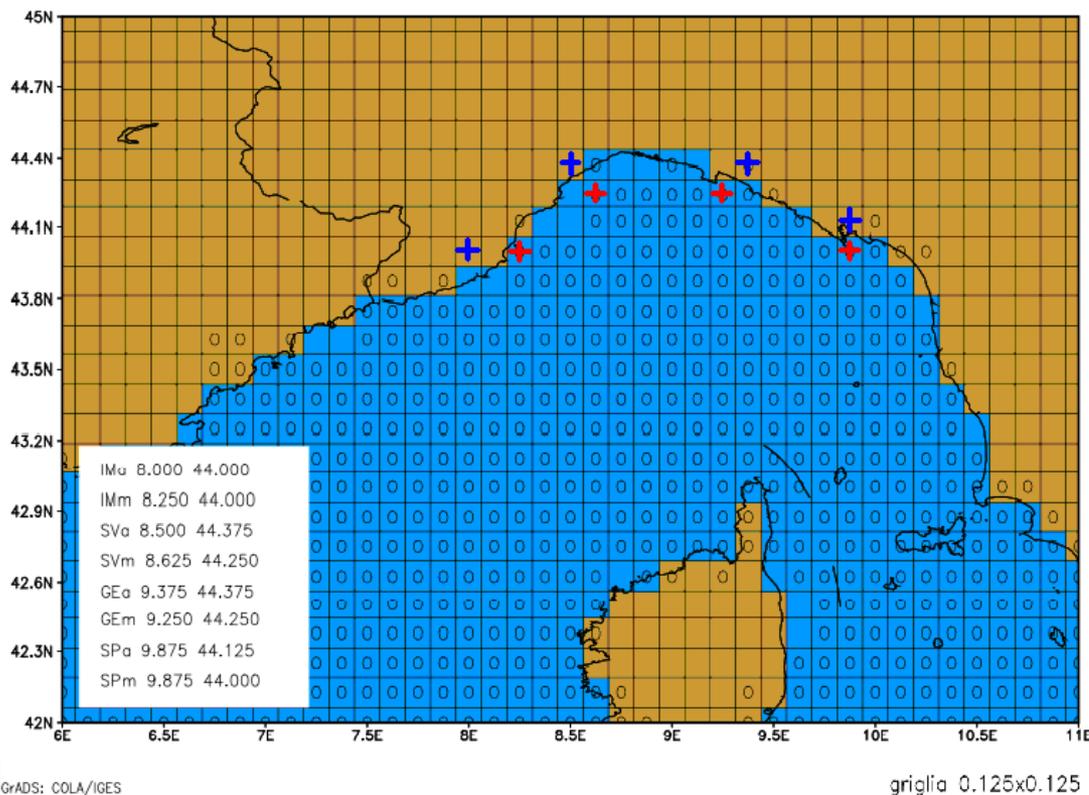


Si è tenuto conto delle stazioni meteo e di qualità dell'aria già presenti sul territorio ligure. Le stazioni scelte dovevano presentare caratteristiche idonee al fine del presente studio, ovvero: vicinanza alla costa e presenza di campionatori sequenziali di PM10.



Casi di studio – Analisi (aerosol marino)

Si sono correlate le condizioni meteo climatiche, concorrenti nella formazione dell'aerosol marino, nei pressi del siti costieri, con i dati sperimentali analitici di cloruri, presenti nella frazione di PM10, attraverso il software di analisi statistiche S-Plus.



Analisi dati

I dati di input meteo - climatici consistono negli output del modello meteorologico europeo (ECWF):

- ✓ altezza d'onda significativa (Hs)
- ✓ intensità del vento (V)
- ✓ direzione del vento (dirW)
- ✓ direzione dell'onda (dirV)

Casi di studio – Analisi (aerosol marino)

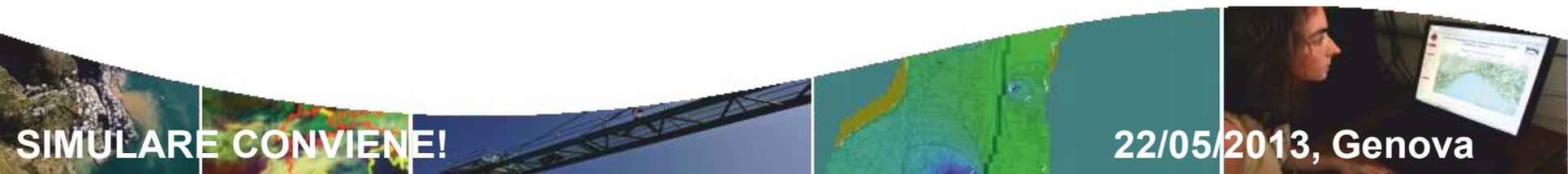
Sviluppo

Lo studio ha previsto una regressione N.L. sui dati analitici per poter arrivare ad una formula predittiva del fenomeno di **movimentazione e dispersione in aria dell'aerosol marino**.

La quantità di sale marino presente nella frazione di PM10 è risultata direttamente proporzionale allo stato di agitazione del mare sottocosta, la quale è fisicamente correlata all'altezza dell'onda al largo (Hs) e alle condizioni di propagazione dal largo verso riva (dipendente dalla direzione dell'onda (dirW), dalla batimetria e dalla conformazione della costa).

Il vento, inoltre, concorre alla propagazione dell'aerosol quando si presentano condizioni favorevoli di direzione del vento (dirV).

Una volta individuate tali variabili, si sono ipotizzate differenti formule di regressione, al fine di massimizzare la convergenza tra i dati sperimentali e quelli simulati.



Casi di studio – Analisi (aerosol marino)

Relazione generale

$$[Cl^-] = a \cdot H_s^b \cdot (1 + \cos(\alpha - \alpha_0)) + c \cdot V_s^d \cdot (1 + \cos(\beta - \beta_0))$$

dove:

[Cl⁻]: concentrazione di cloruri in µg/m³

a,b,c,d: parametri di regressione

H_s: altezza dell'onda

V_s: velocità del vento

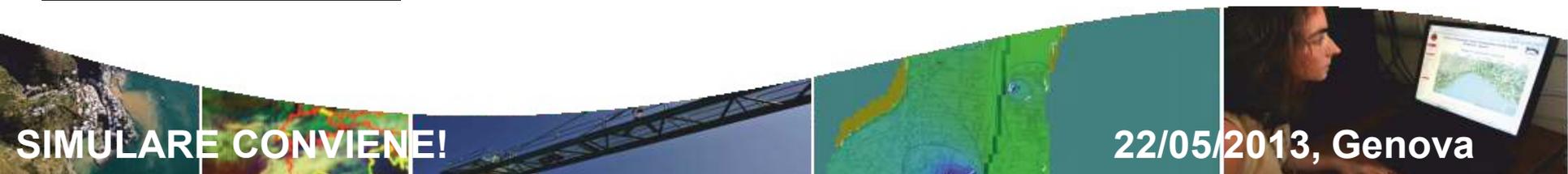
α: direzione di provenienza dell'onda

β: direzione di provenienza del vento

α₀: parametro sito specifico di provenienza dell'onda

β₀: parametro sito specifico di provenienza del vento

La formula, così espressa, soddisfa i requisiti fisici del fenomeno allo studio, in quanto considera sia il contributo delle onde, sia il contributo del vento: entrambi necessari alla formazione dell'aerosol. L'equazione individuata, inoltre, tiene conto degli angoli di provenienza efficaci di onde e vento.



SIMULARE CONVIENE!

22/05/2013, Genova

Casi di studio – Analisi (aerosol marino)

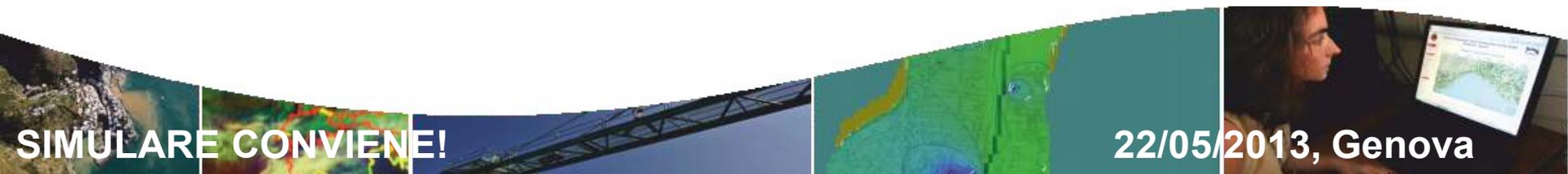
Relazioni sito-specifiche

Il valore assunto dai parametri a, b, c, d, α_0 e β_0 risulta essere differente a seconda del sito in cui si studia il contributo.

Tale risultato dipende dalla particolare conformazione della costa ligure. Infatti la formazione di aerosol dipende da:

- ✓ stato di agitazione del mare sottocosta
- ✓ altezza d'onda al largo
- ✓ condizioni di propagazione dell'onda dal largo verso riva
- ✓ direzione dell'onda
- ✓ batimetria

tutte variabili che sono diverse in ogni punto della costa ligure.



Casi di studio – Analisi (aerosol marino)

Genova (Rapallo): $[Cl^-] = 3 \cdot H_s^{1.5} \cdot (1 + \cos(\alpha - 2.6)) + V_s^{1.9} \cdot (1 + \cos(\beta - 1.9))$

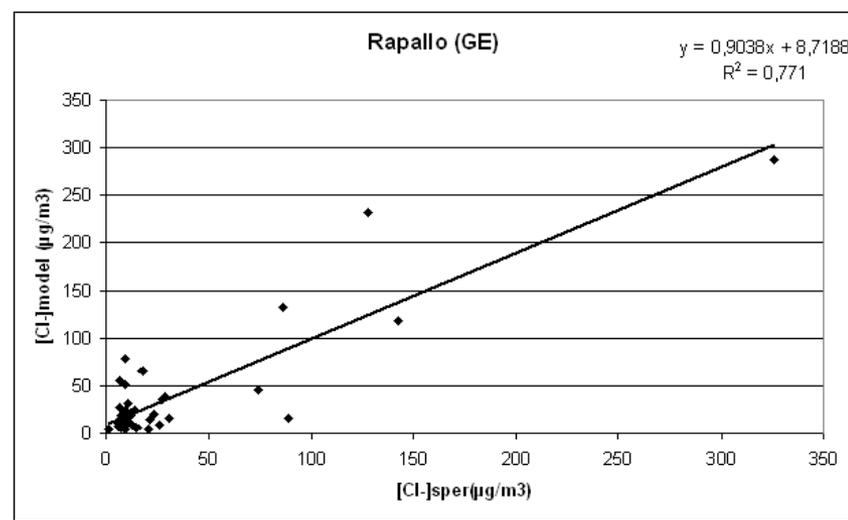
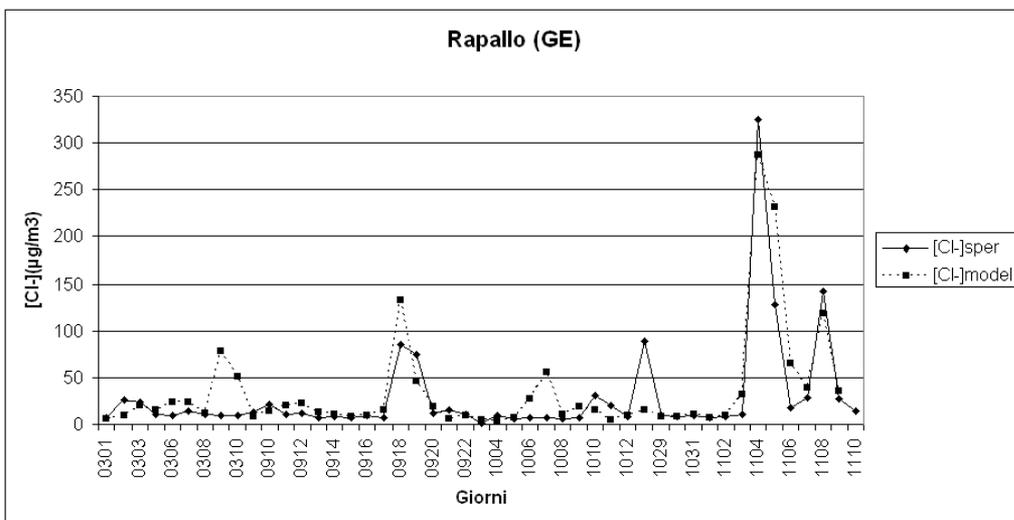


Grafico di confronto dei valori di concentrazione dei cloruri determinati sperimentalmente in laboratorio e i valori ottenuti dal modello – Sito di Rapallo (GE).

Grafico di dispersione dei valori di concentrazione dei cloruri determinati sperimentalmente e ottenuti dal modello – Sito di Rapallo (GE).

Casi di studio – Analisi (aerosol marino)

La Spezia (Piazza s. Bon): $[Cl^-] = 4 \cdot H_s^{1.5} \cdot (1 + \cos(\alpha - 2.5)) + 2 \cdot V_s^{1.9} \cdot (1 + \cos(\beta - 4))$

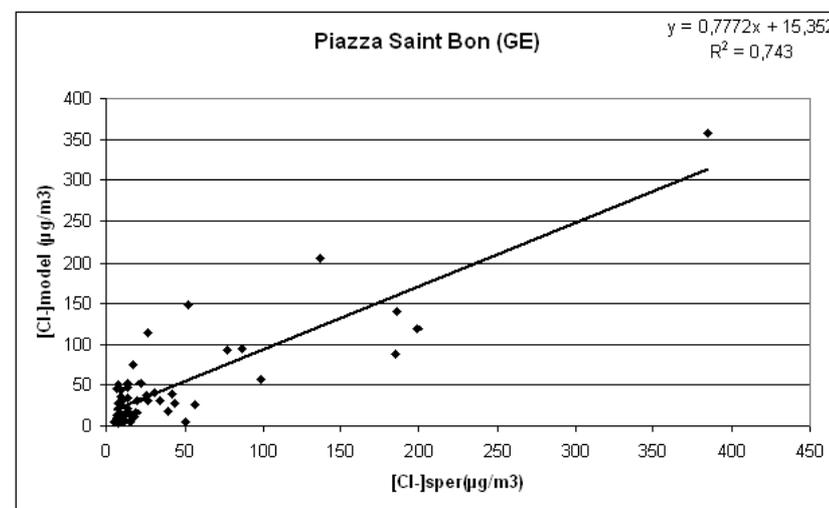
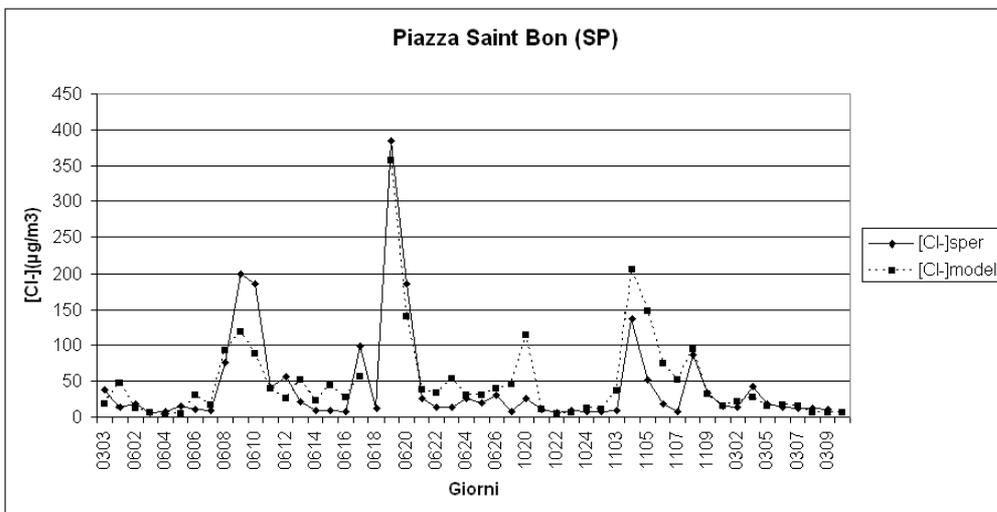


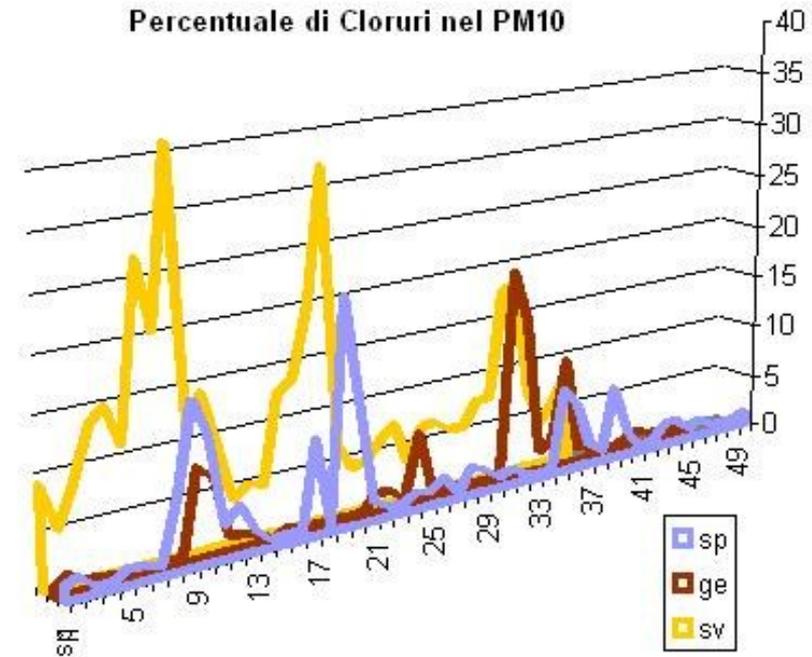
Grafico di confronto dei valori di concentrazione dei cloruri determinati sperimentalmente in laboratorio e i valori ottenuti dal modello – Sito di Piazza S. Bon (SP).

Grafico di dispersione dei valori di concentrazione dei cloruri determinati sperimentalmente e ottenuti dal modello – Sito di Piazza S. Bon (SP).

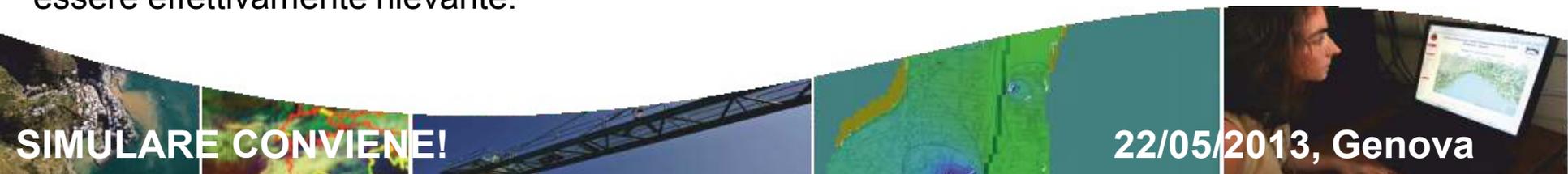
Casi di studio – Analisi (aerosol marino)

Correlazione tra [Cl⁻] e PM₁₀

La concentrazione di Cloruri risulta significativa quando si presentano condizioni meteomarine favorevoli. In Liguria, infatti, la percentuale di cloruri sul totale del PM₁₀ si aggira, solitamente, attorno al **2%**, con punte oltre il **30%**.



L'andamento generale del PM₁₀ non segue, ovviamente, l'andamento delle condizioni meteomarine, ma, quando vi sono condizioni favorevoli, il contributo dei Cloruri si è dimostrato essere effettivamente rilevante.



Casi di studio – Cross check modelling & field validation

Il presente studio prende avvio da un incidente occorso nelle prime ore della mattinata del 19.1.2007 a Rapallo (GE). Una autocisterna che trasportava Acido Cloridrico concentrato, in sosta nella piazzola all'uscita dell'autostrada, ha iniziato a perdere il contenuto, a seguito del cedimento di una saldatura.

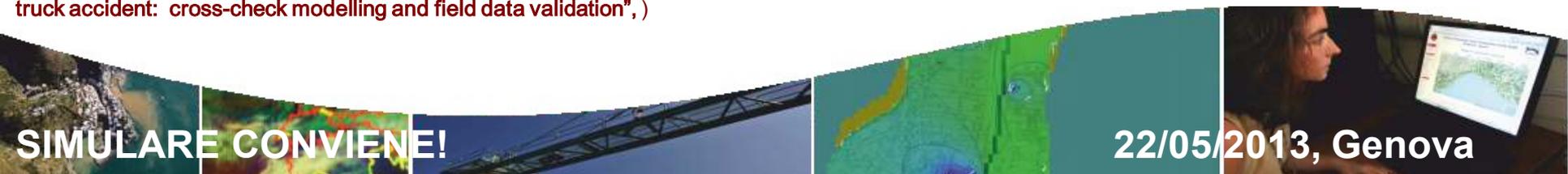
L'andamento dell'evento è stato seguito sul posto (oltre che dalle squadre di intervento ARPAL e VVFF) anche attraverso due modelli di calcolo per la dispersione in atmosfera, **Effects 5.5 (TNO)**, e **ALOHA 5.4 (EPA)**, entrambi modelli di diffusione in atmosfera detti 'a box', che a partire dalla definizioni delle condizioni meteorologiche (velocità e direzione del vento, irraggiamento, umidità, temperatura), e dalla definizione del 'termine sorgente' (caratterizzazione del rilascio in termini di sostanza, tipo di rilascio, condizioni di stoccaggio), calcolano le impronte di ricaduta.

Le simulazioni hanno indicato in quali direzioni iniziare ad eseguire le misure.

È stata poi condotta una simulazione di ulteriore confronto con il software **ADMS 5 (CERC)**.

verranno mostrati i risultati delle simulazioni, e si proporrà un confronto tra i diversi modelli utilizzati.

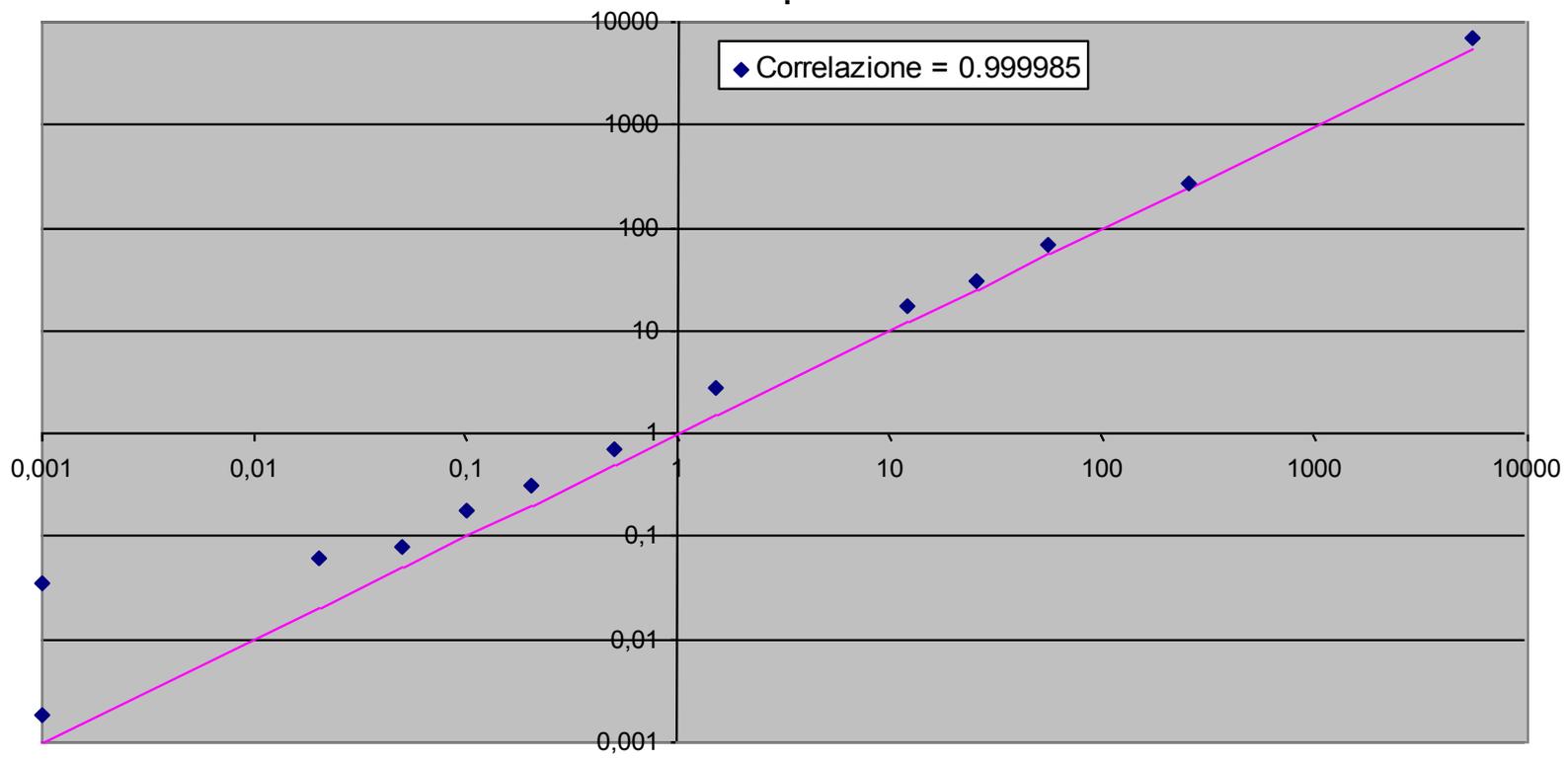
(Il presente studio è pubblicato su Chemical Engineering Transaction, vol 32, 2013 - T. Vairo, R. Pastorino, B. Fabiano "HazMat liquid release following a tank truck accident: cross-check modelling and field data validation",)



SIMULARE CONVIENE!

22/05/2013, Genova

Casi di studio – Cross check modelling & field validation



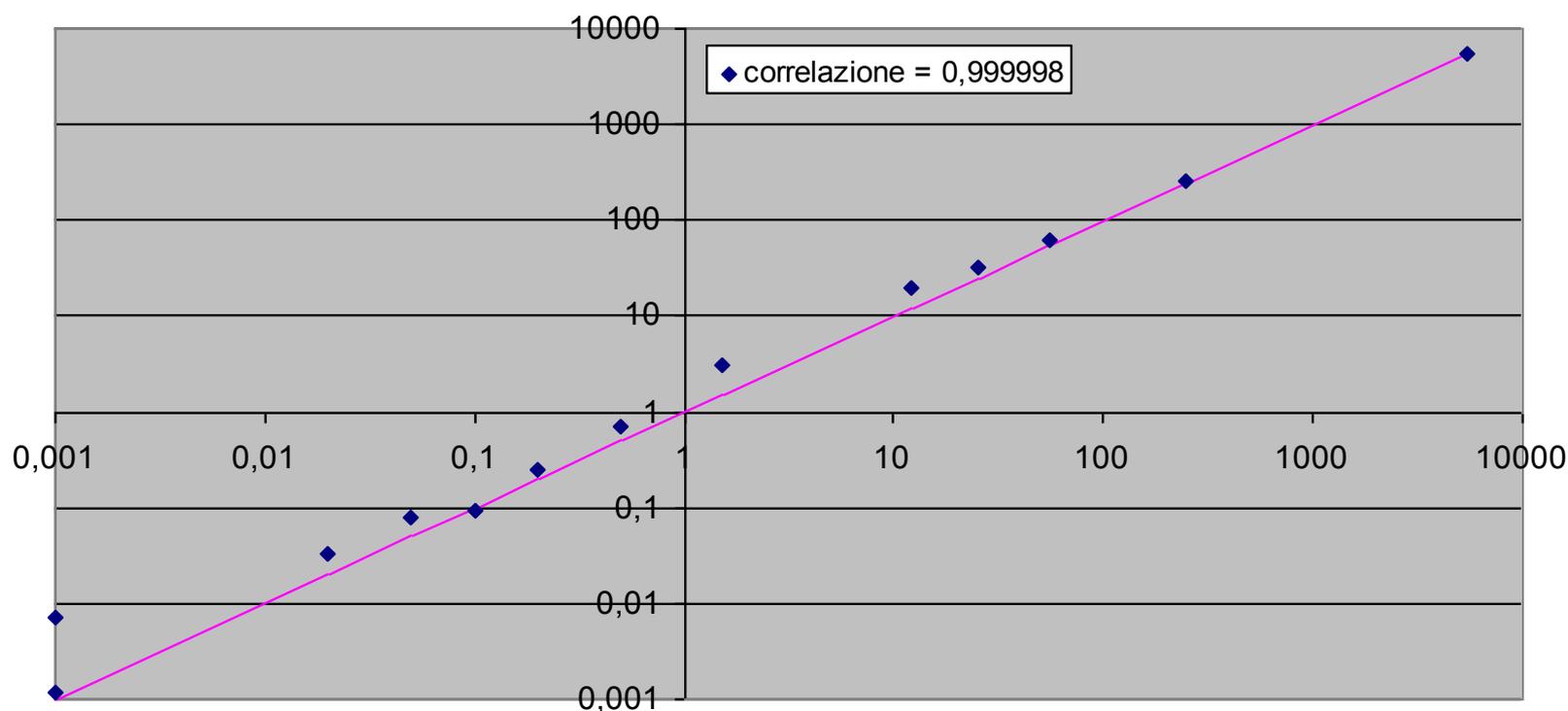
Correlazione tra i valori di concentrazione misurati sul campo, e quelli simulati con ALOHA ($R^2 > 0,9$)



SIMULARE CONVIENE!

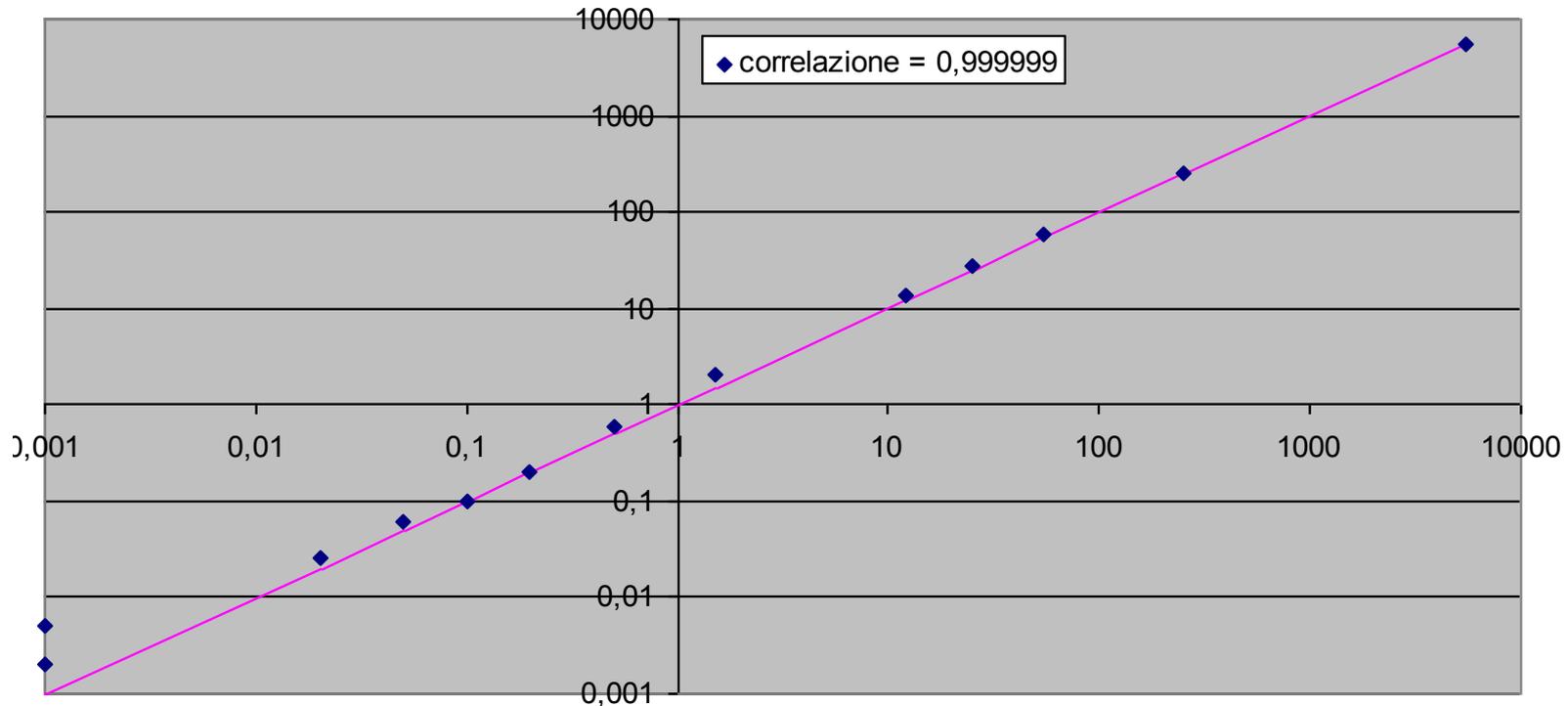
22/05/2013, Genova

Casi di studio – Cross check modelling & field validation



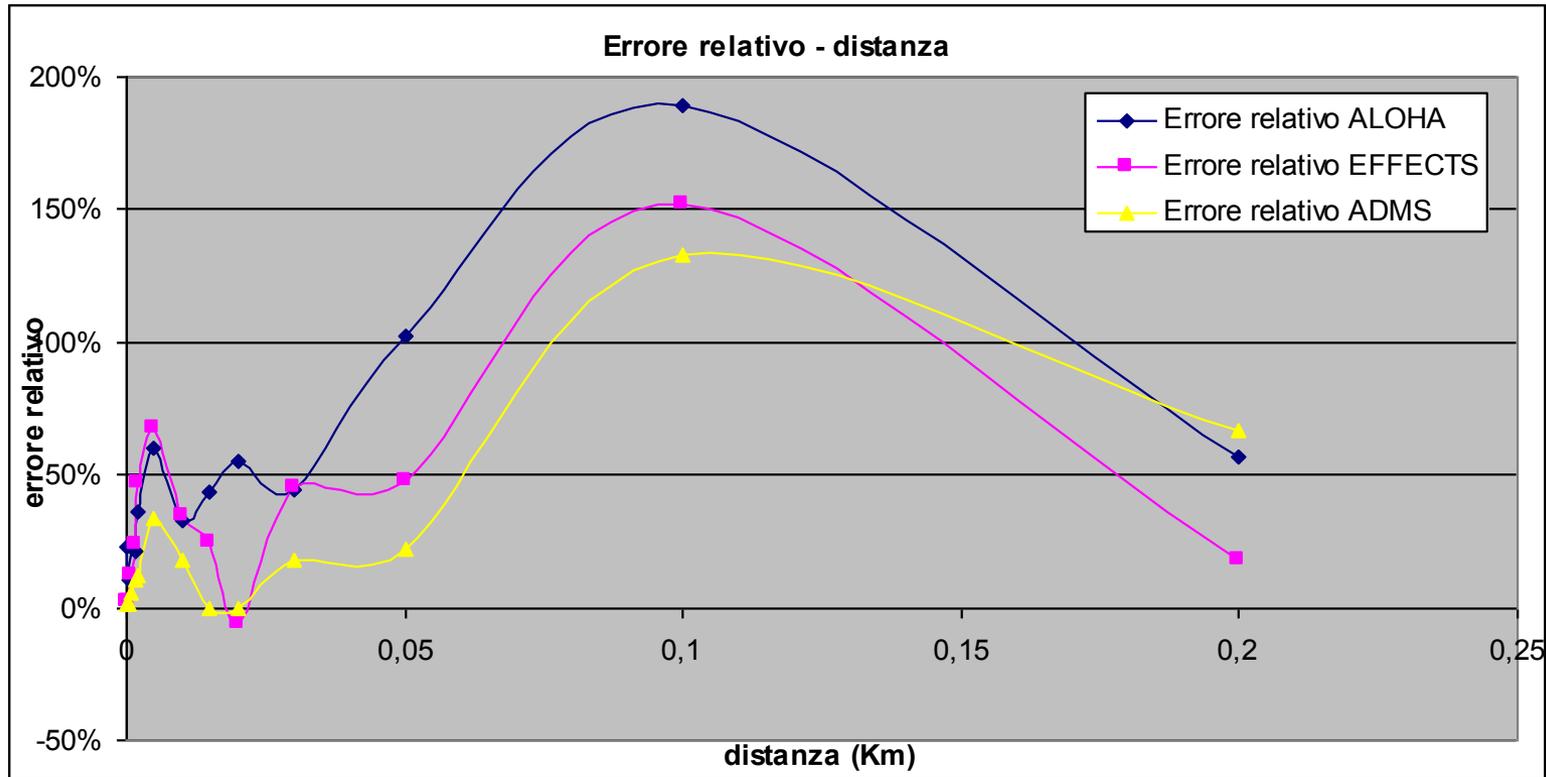
Correlazione tra i valori di concentrazione misurati sul campo, e quelli simulati con EFFECTS ($R^2 > 0,9$)

Casi di studio – Cross check modelling & field validation



Correlazione tra i valori di concentrazione misurati sul campo, e quelli simulati con ADMS ($R^2 > 0,9$)

Casi di studio – Cross check modelling & field validation



Errori relativi tra i dati sperimentali misurati e quelli simulati con i due modelli integrali

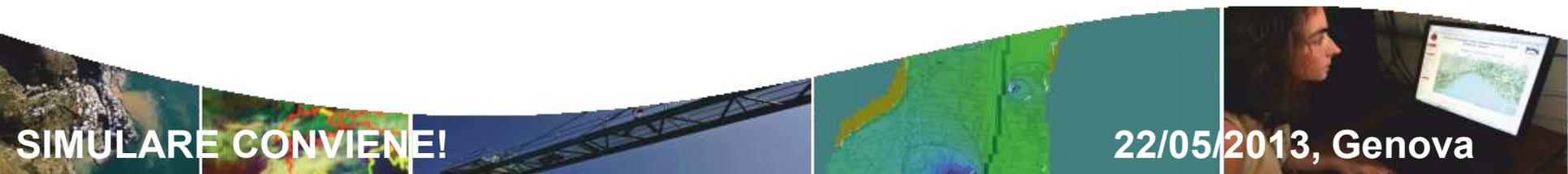


SIMULARE CONVIENE!

22/05/2013, Genova

Bibliografia

- ★ Lees, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Voll. 1-2-3, Butterworth, 1996;
- ★ Lees, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1-2-3, Butterworth-Heinemann, 2004;
- ★ Gifford, F. A. “Atmospheric dispersion calculations using generalized Garrison plume model”, Nuclear Safety, 2, 56, 1961;
- ★ Gifford, F. A. “Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion”, Nuclear Safety, 2, 56, 1961;
- ★ Liou, K.N., Radiation and Cloud Processes in the Atmosphere, Oxford University Press, Oxford, 1992;
- ★ Pasquill, F. “The estimation of the dispersion of windborne materials”, Metallurgical Magazine, 90, 33, 1961;
- ★ Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., Atmospheric Chemistry and Physics, Wiley-Interscience, New York, 1997.
- ★ T. Vairo, R. Pastorino, B. Fabiano “HazMat liquid release following a tank truck accident: cross-check modelling and field data validation”, Chemical Engineering Transaction, vol 32, 2013



Grazie per l'attenzione



Genova 22 Maggio 2013

Dott. Ing. Tomaso Vairo
ARPAL
UTCR – ASP