

Modelli matematici per la tutela dell'ambiente: principi, servizi disponibili, casi d'uso

Giovedì 26 novembre 2020 ore 10:00



REALIZZATO DA:



MODELLI MATEMATICI PER LA TUTELA DELL'AMBIENTE: PRINCIPI, SERVIZI DISPONIBILI, CASI D'USO

Introduzione

- **Introduzione** e indice delle presentazioni (Francesco Montanari)
- La modellistica **meteorologica** numerica: base per altre applicazioni (Irene Gallai)
- Modellazione **idrologica e idraulica** per finalità di **Protezione Civile** (Gabriele Peressi)
- Il **centro di calcolo** regionale: una risorsa dedicata (Dario Gaiotti)
- La modellistica **marina**: la fisica del mare, la biochimica, la balneabilità (Dario Gaiotti)
- **Emissioni in atmosfera**: sostanze nocive per la salute e climalteranti (Alessandra Petrini)
- La modellistica per la **qualità dell'aria**: la scala globale, regionale e locale (Giovanni Bonafè)

da <http://www.meteolive.it>

Il TEMPORALE vissuto con il nonno: quando veniva su il "NERO" dal Garda...

[...] mi ricordo che, quando si iniziava a vedere il "nero" verso il Garda (nella mia zona di Padova, il temporale che veniva dal Lago di Garda era foriero di molta pioggia e grandine, perciò molto temuto), iniziava l'attesa. [...]

E' un modello.

Non è quantitativo (non è matematico)

Non è basato sulla fluidodinamica (il nonno non la conosceva, tranne quella dello spritz)

E' basato su moltissime osservazioni («statistico»).

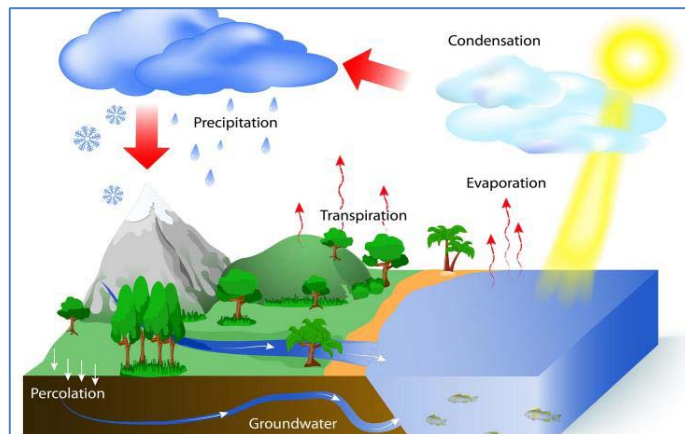
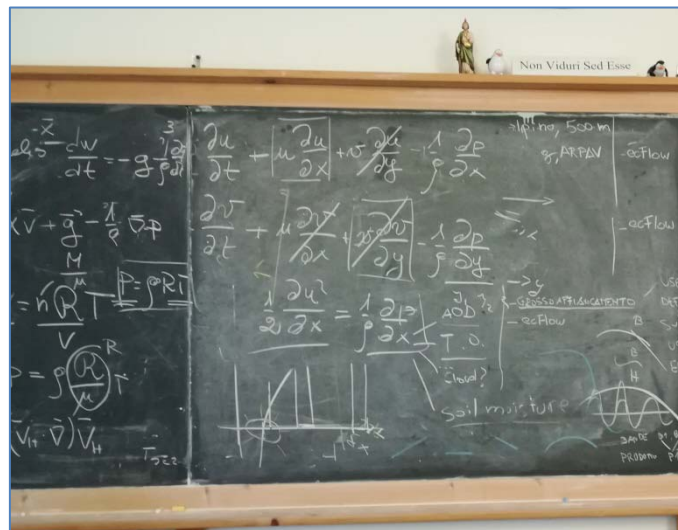
C'è una famiglia di modelli che riproducono questo approccio «umano» sul calcolatore:
quantitativi

non basati sulle leggi della fluidodinamica (sono «scatole nere»)

basati su moltissime osservazioni («statistici»)

Sono come i famosi «algoritmi di profilazione degli utenti» di internet e social.

Se ne parla in termini di «intelligenza artificiale» e «machine learning».



```

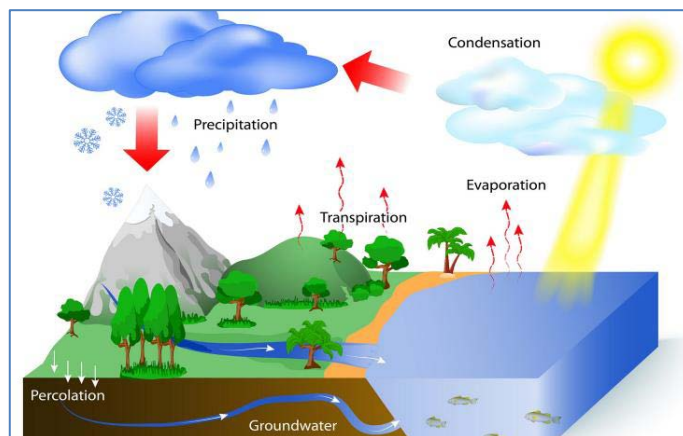
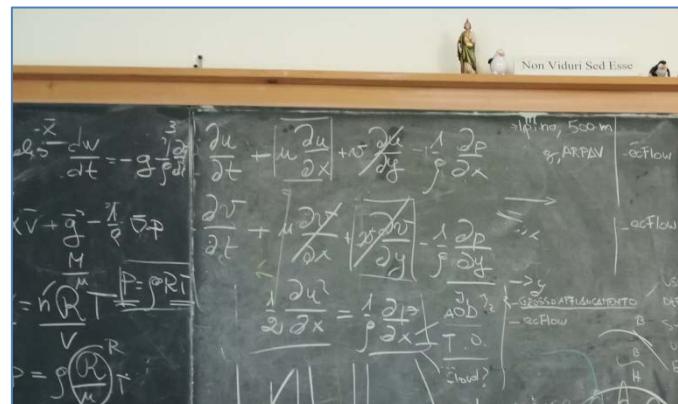
SUBROUTINE wrf_restartout ( fid , grid , config_flags , switch , &
    dryrun , ierr )

    USE module_io
    USE module_wrf_error
    USE module_io_wrf
    USE module_domain
    USE module_state_description
    USE module_configure
    USE module_scalar_tables
    USE module_utility
    IMPLICIT NONE

    #include "wrf_io_flags.h"
    #include "wrf_status_codes.h"
    TYPE(domain) :: grid
    TYPE(grid_config_rec_type), INTENT(INOUT) :: config_flags
    INTEGER, INTENT(IN) :: fid, switch
    INTEGER, INTENT(INOUT) :: ierr
    LOGICAL, INTENT(IN) :: dryrun

    ! Local data
    INTEGER ids , ide , jde , jde , kds , kde , &
        ims , ime , jms , jme , kms , kme , &
        ips , ipe , jps , jpe , kps , kpe

    INTEGER
        itrace, idim1, idim2, idim3, idim4, idim5, idim6, idim7
    INTEGER , DIMENSION(3) :: domain_start , domain_end
    INTEGER , DIMENSION(3) :: memory_start , memory_end
    INTEGER , DIMENSION(3) :: patch_start , patch_end
    INTEGER i, j
    INTEGER julyr , julday , idt , iswater , map_proj
    REAL
        gmt , cen_lat , cen_lon , bodyfrq , truelat1 , truelat2 , &
        wp_physics , ra_lw_physics , ra_sw_physics , sf_sfclay_physics , &
        sf_surface_physics , bl_pbl_physics , cu_physics
    
```



```
SUBROUTINE wrf_restartout ( fid , grid , config_flags , switch , &
                             dryrun , ierr )

  USE module_io
  USE module_wrf_error
  USE module_io_wrf
  USE module_domain
  USE module_state_description
  USE module_configure
  USE module_scalar_tables
  USE module_utility
  IMPLICIT NONE

  #include "wrf_io_flags.h"
  #include "wrf_status_codes.h"
  TYPE(domain) :: grid
  TYPE(grid_config_rec_type), INTENT(INOUT) :: config_flags
  INTEGER, INTENT(IN) :: fid, switch
  INTEGER, INTENT(INOUT) :: ierr
  LOGICAL, INTENT(IN) :: dryrun

  ! Local data
  INTEGER ids , ide , jds , jde , kds , kde , &
    ims , ime , jms , jme , kms , kme , &
    ips , ipe , jps , jpe , kps , kpe

  INTEGER itrace, idim1, idim2, idim3, idim4, idim5, idim6, idim7
  INTEGER , DIMENSION(3) :: domain_start , domain_end
  INTEGER , DIMENSION(3) :: memory_start , memory_end
  INTEGER , DIMENSION(3) :: patch_start , patch_end
  INTEGER i, j
  INTEGER julyr, julday, idt, iswater, map_proj
  REAL gwt, cen_lat, cen_lon, bdyfrq, truelat1, truelat2, &
    mp_physics, ra_lw_physics, ra_sw_physics, sf_sfclay_physics, &
    sf_surface_physics, bl_pbl_physics, cu_physics
```

Oggi parleremo soprattutto di modelli:

matematici: grandezze quantificate; relazioni espresse come equazioni

dinamici: ricostruiscono l'evoluzione di un sistema attraverso alcune variabili

deterministici: dato uno stato iniziale, l'evoluzione del sistema è univoca, ma...

... numerici: la soluzione delle equazioni non è una formula => l'evoluzione del sistema non è definita in una formula => è fatta evolvere «passo passo»

In questi modelli, le equazioni che governano il sistema sono leggi generali della fisica (della chimica, della biologia, ...) => lo stesso modello è applicabile in «qualunque» zona del pianeta

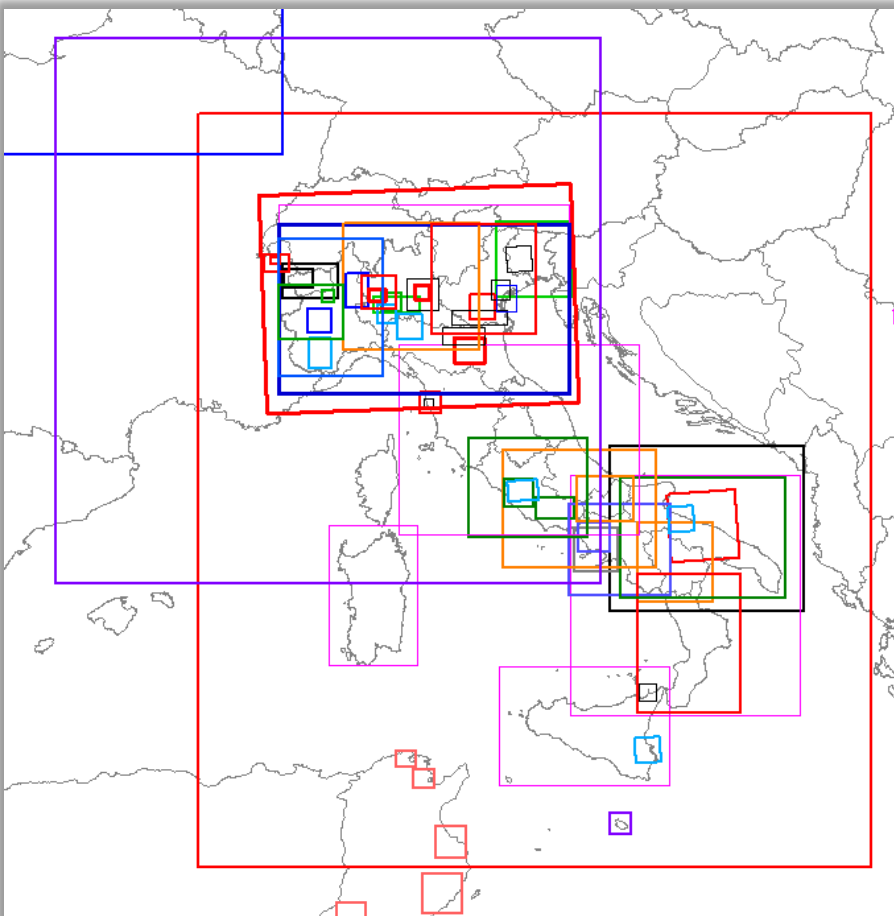
Sono ambiziosi: non hanno bisogno di misure (solo di uno stato iniziale da cui partire)

In questi modelli, le equazioni che governano il sistema sono leggi generali della fisica (della chimica, della biologia, ...) => lo stesso modello è applicabile in «qualunque» zona del pianeta

Per questo hanno dei nomi (WRF, FARM, SPRAY, CALPUFF, MM5, COSMO, SHYFEM...) spesso accompagnati da un numero di versione (3.1, 4.2.1...)

Sono sviluppati da centri di ricerca, pubblici e privati, o da «comunità»; liberi o a pagamento

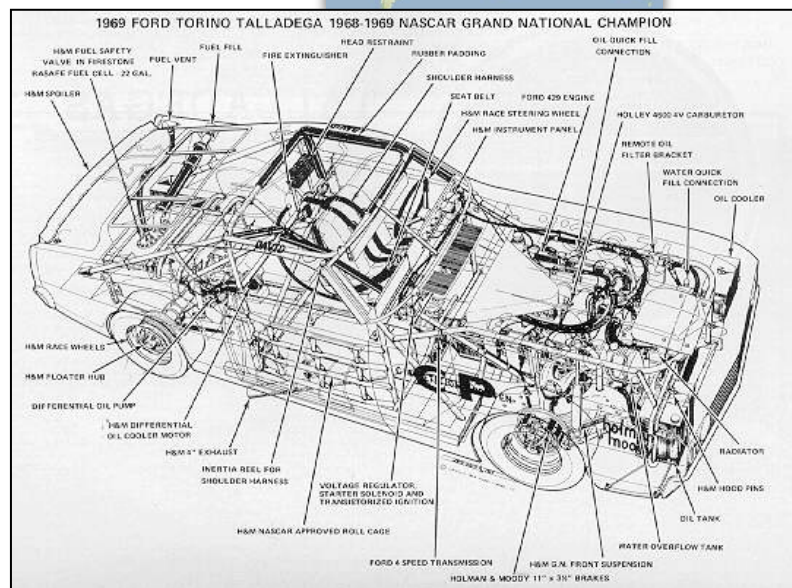
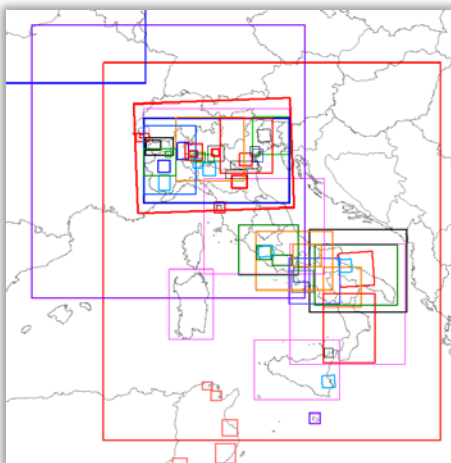
Sono utilizzati dagli stessi sviluppatori e da altri soggetti, pubblici e privati, in diversi luoghi del pianeta



Sono utilizzati dagli stessi sviluppatori e da altri soggetti, pubblici e privati, in diversi luoghi del pianeta

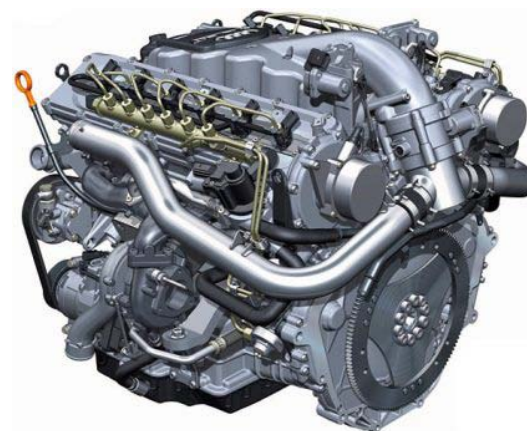
Utilizzo del modello euleriano per la qualità dell'aria FARM (sviluppato da Arianet srl)





Sono utilizzati dagli stessi sviluppatori e da altri soggetti, pubblici e privati, in diversi luoghi del pianeta

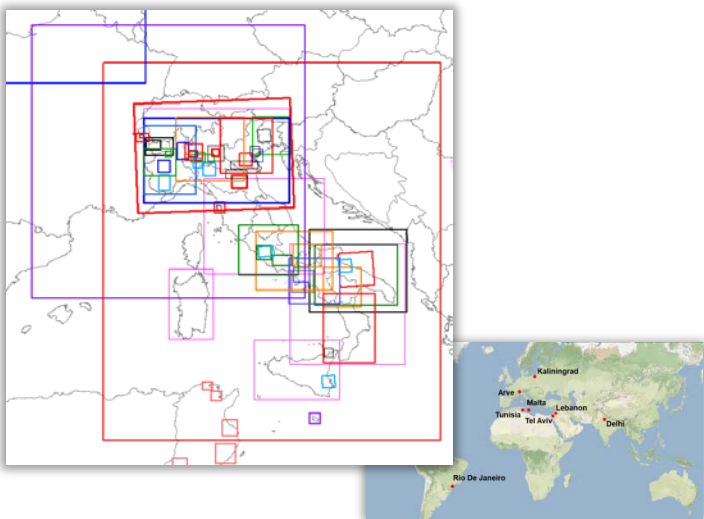
Cosa cambia da un posto all'altro?



Il «modello numerico» è il motore.

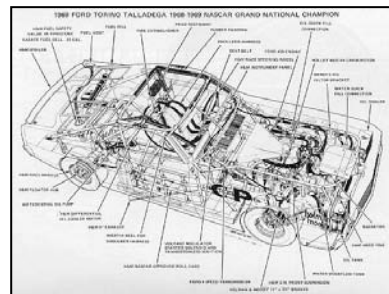
Bisogna progettare, costruire ed assemblare tutto il resto...

... dalla frizione al pilota!



Sono utilizzati dagli stessi sviluppatori e da altri soggetti, pubblici e privati, in diversi luoghi del pianeta

Cosa cambia da un posto all'altro?



1. Si parla di «catene modellistiche»:
un modello alimenta dinamicamente un altro (lo vedremo nelle presentazioni successive)

2.



Sono utilizzati dagli stessi sviluppatori e da altri soggetti, pubblici e privati, in diversi luoghi del pianeta

Cosa cambia da un posto all'altro?

Es: 557 variabili (come dire: manopole o bottoni), controllano la simulazione dell'impatto di un camino, determinando il comportamento della catena modellistica (modello lagrangiano a particelle SPRAY, nell'implementazione CRMA)

La complessità maggiore è dovuta al fatto che molte variabili interagiscono fra loro.

La cabina di un Mig 23 presenta 64 controlli:

https://it.wikipedia.org/wiki/Cabina_di_pilotaggio

Analogia calzante perché, come il Mig, la simulazione si muove nell'atmosfera, risentendo delle sue caratteristiche medie e dei suoi moti turbolenti, interagisce col suolo (in modo sperabilmente morbido...), ecc.

Sono utilizzati dagli stessi sviluppatori e da altri soggetti, pubblici e privati, in diversi luoghi del pianeta

i modelli (il «motore») sono testati dagli sviluppatori su casi test «storici», in cui il sistema fisico era abbondantemente monitorato (molte grandezze, molti punti...)

i risultati delle «catene» sono confrontati dagli utilizzatori con le misure disponibili (alcune grandezze, in alcuni punti...)

forum, communities...: oltre agli indicatori di performance obiettivi (MOIs, model-to-observations indicators) si ricorre a interconfronti (MMIs, model-model indicators) per arrivare ad un «consenso» (operatori diversi, con modelli diversi)

I modelli sono «presbiti»:
vedono bene le dinamiche complessive, i nessi di causa effetto (DPSIR)
possono essere puntualmente inaccurati
(qualcosa succede prima | dopo | altrove | con diversa intensità rispetto
alle previsioni...)

Le misure sono «miopi»:
possono essere molto accurate in un punto dello spazio e nel tempo
nulla ci dicono di ciò che succede altrove

... ☺ quasi un dannato... principio di
indeterminazione



Heisenberg in 1927.

Più precisamente la
posizione di un elettrone è
determinata, meno
precisamente è noto il
momento, e viceversa --

Heisenberg, articolo
sull'indeterminazione, 1927

$$\Delta p \Delta x \geq h / 4\pi$$



I modelli sono «presbiti»:
vedono bene le dinamiche complessive, i nessi di causa effetto (DPSIR)
possono essere puntualmente inaccurati
(qualcosa succede prima | dopo | altrove | con diversa intensità rispetto
alle previsioni...)



Le misure sono «miopi»:
possono essere molto accurate in un punto dello spazio e nel tempo
nulla ci dicono di ciò che succede altrove

Magari non ci fidiamo dei modelli, ma...

Attenzione, che spesso suppliamo alla «miopia» delle misure con dei «modelli impliciti».
In particolare, il «modello identità».

Es:
quel che è accaduto nel passato accadrà anche nel futuro
quel che accade a Manzano accade uguale a Spilimbergo

Cosa mai potremmo dire senza i modelli deterministici...

sul clima atteso nel 2050

sull'impatto di un nuovo inceneritore

sulla concentrazione di PM₁₀ a Palmanova (dove non facciamo misure)

Cioè: permettono di costruire «scenari» (cosa accadrebbe se...; cosa accadrà quando...; cosa accade... ora, ma altrove, dove non sto monitorando) su cui non abbiamo dati pregressi per «addestrare» modelli statistici

Di nuovo: permettono di «navigare quantitativamente» nello schema DPSIR

«Se i fatti non si accordano col modello... tanto peggio per i fatti»¹

G.W.F. Hegel (Stoccarda, 1770 – Berlino, 1831)



Non proprio!



«Io mi fidavo del mio **modello matematico**, pensando che andasse sempre d'amore e d'accordo con la realtà.

Anche giovedì sera, fino alle 21. Poi la realtà ha iniziato a farsi i ca♂♂i suoi!

A un certo punto, mi ha telefonato il **modello matematico** e mi ha detto che lui e la realtà si erano mollati.

La verità è che la realtà è una str♀♀♀a inaffidabile»

M. Crozza, parodia del Presidente della Regione Liguria dopo l'alluvione di Genova, trasmissione televisiva DiMartedì del 14 ottobre 2014²

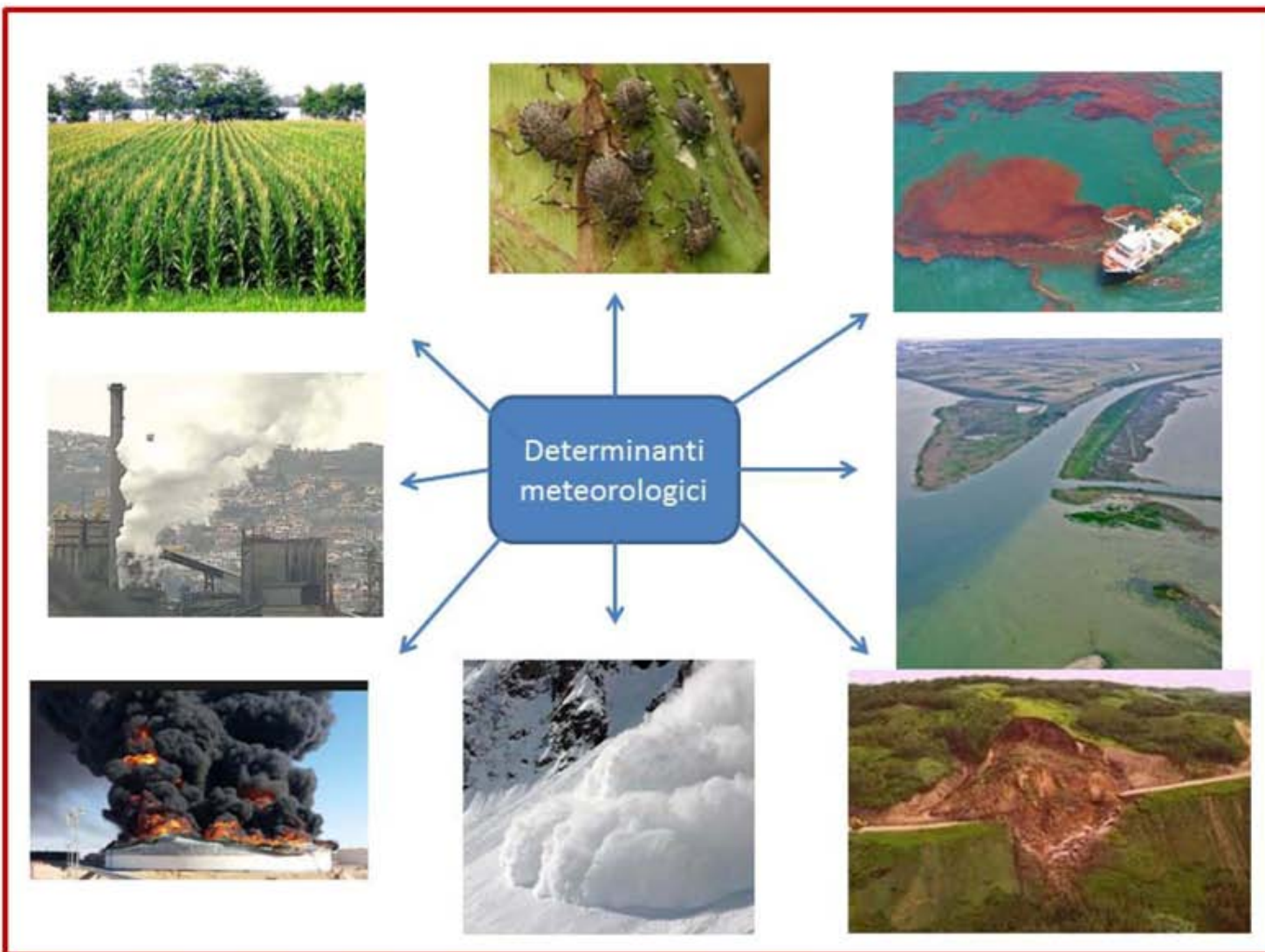
¹ Tanto peggio per i fatti. (22 luglio 2014). Wikipedia, L'enciclopedia libera. Tratto il 5 novembre 2014, 16:38 da http://it.wikipedia.org/wiki/Tanto_peggio_per_i_fatti

² <http://video.corriere.it/copertina-maurizio-crozza-di-dimartedi-la7/1e810b0e-53ea-11e4-a6fc-251c9a76aa3c>

La modellistica meteorologica numerica: la base per la altre applicazioni

Irene Gallai

Centro Regionale di Modellistica Ambientale, ARPA-FVG



Come funzionano i modelli

Modellistica Meteo al CRMA

Come funzionano i modelli

1904 V. Bjerknes teorizzò per la prima volta che si poteva prevedere il tempo risolvendo il sistema completo di 7 equazioni a 7 incognite che governano l'evoluzione dell'atmosfera, conoscendone i valori ad un istante iniziale:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\alpha \nabla p - \nabla \phi - \vec{F} - 2\Omega \times \vec{v} \quad (1-3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \vec{v}) \quad (4)$$

$$p = \rho R T \quad (5)$$

$$\frac{ds}{dt} = C_p \frac{1}{\theta} \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$$

$$\frac{dq}{dt} = E - C \quad (7)$$

dove le 7 incognite sono u, v, w, T, p, ρ, q

Un modello meteorologico di previsione numerica è un **algoritmo** che risolve *numericamente*:

- ▶ equazioni fondamentali (**primitive**) della dinamica
- ▶ equazioni dei processi fisici per l'atmosfera
interazione terra mare, radiazione, formazione nubi e precipitazione....

riuscendo a determinarne l'evoluzione nel tempo partendo da una condizione iniziale.

$$\frac{\delta A}{\delta t} = F(A) \quad A(x, y, z, t)$$

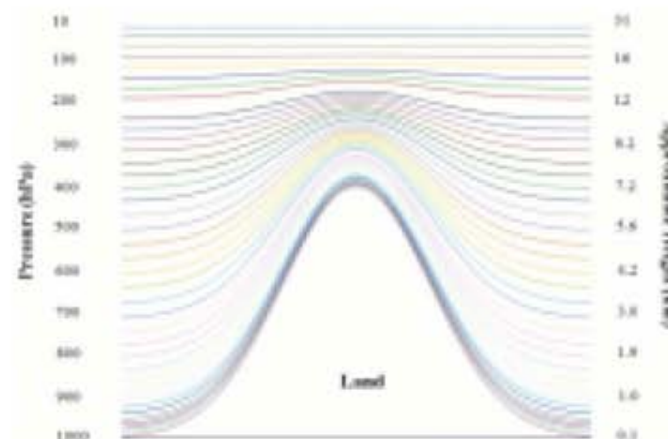
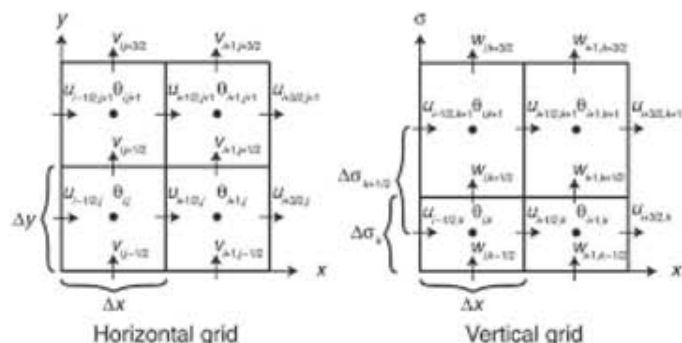
$$A_{previstodopo\delta T} = A_{iniziale} + F(A)\delta T$$

Equazioni alle derivate parziali non lineari => non risolvibili analiticamente
=> calcolatori

Le equazioni differenziali vanno **discretizzate** per passare dal metodo di calcolo simbolico a quello numerico. Passo dal dominio continuo ad una **griglia** di volumetti finiti e **approssimo** le derivate

- metodo delle differenze finite

$$\left(\frac{\partial A}{\partial x} \right)_{i,j} \approx \frac{A_{i+1,j} - A_{i,j}}{\Delta x}$$



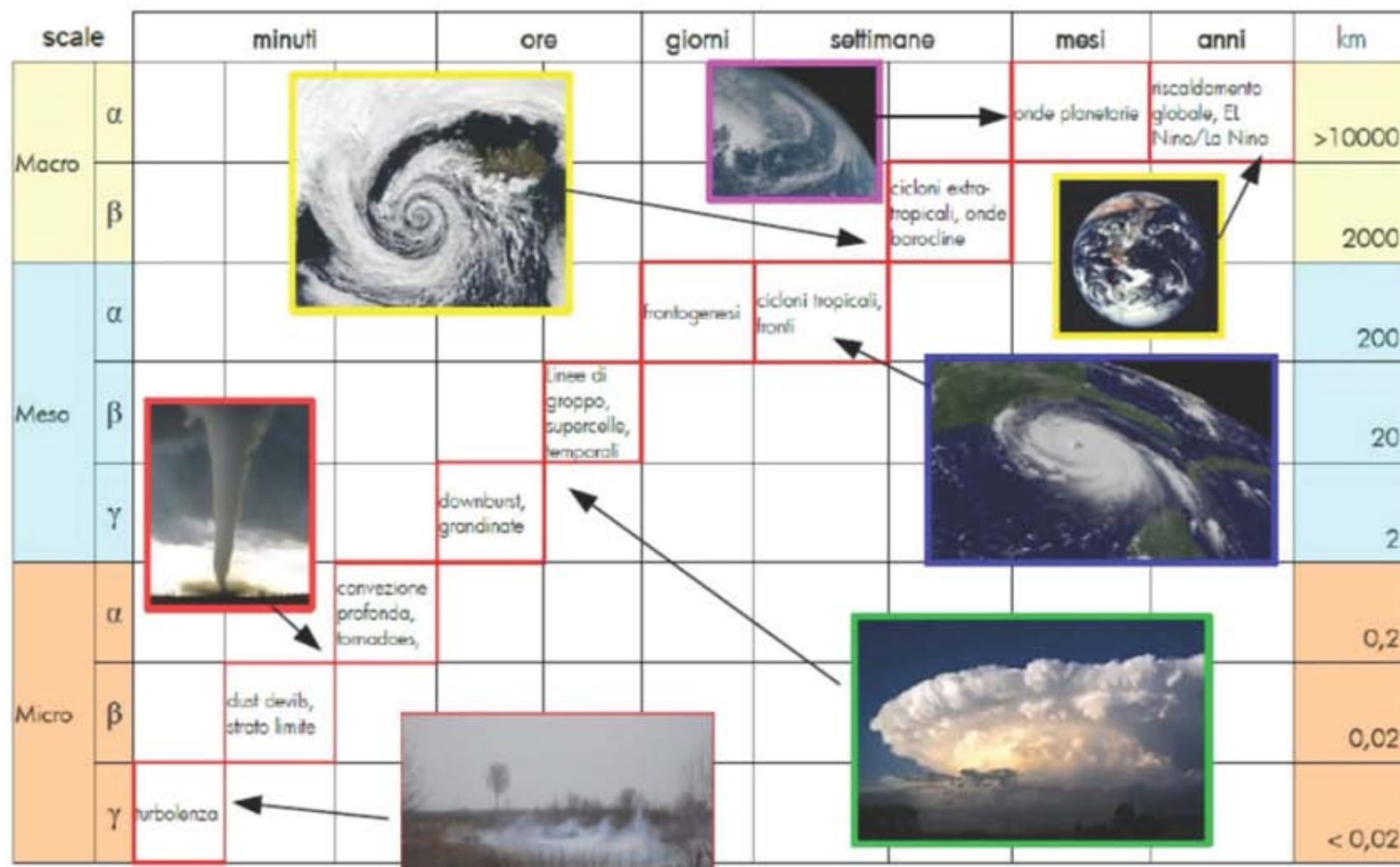
Anche il tempo va discretizzato suddividendo l'intervallo di interesse in sottointervalli di ampiezza ΔT e va definito uno schema di risoluzione temporale (anche in questo caso usiamo differenze finite)

Il run procede per iterazioni successive per cui

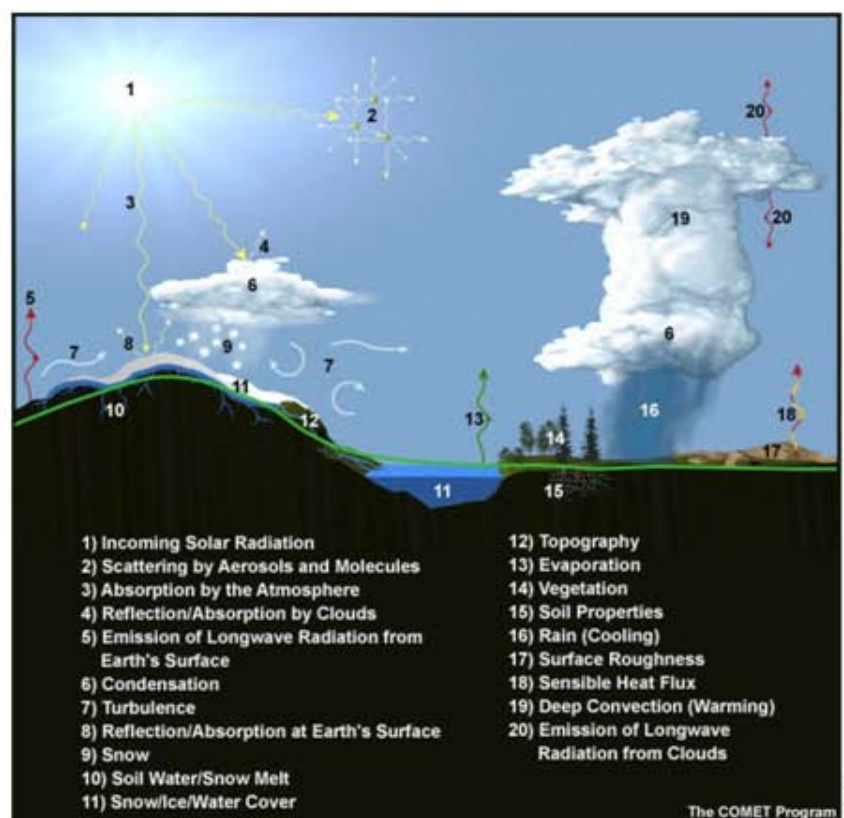
$$A_{previstodopo\Delta T} = A_{iniziale} + F(A_{iniziale})\Delta T$$

e allo step successivo

$$A_{previstodopo\Delta T} \Rightarrow A_{iniziale}$$



I fenomeni a scala più piccola del grigliato vanno parametrizzati (descritti attraverso variabili prognostiche a larga scala), non possono essere risolti analiticamente



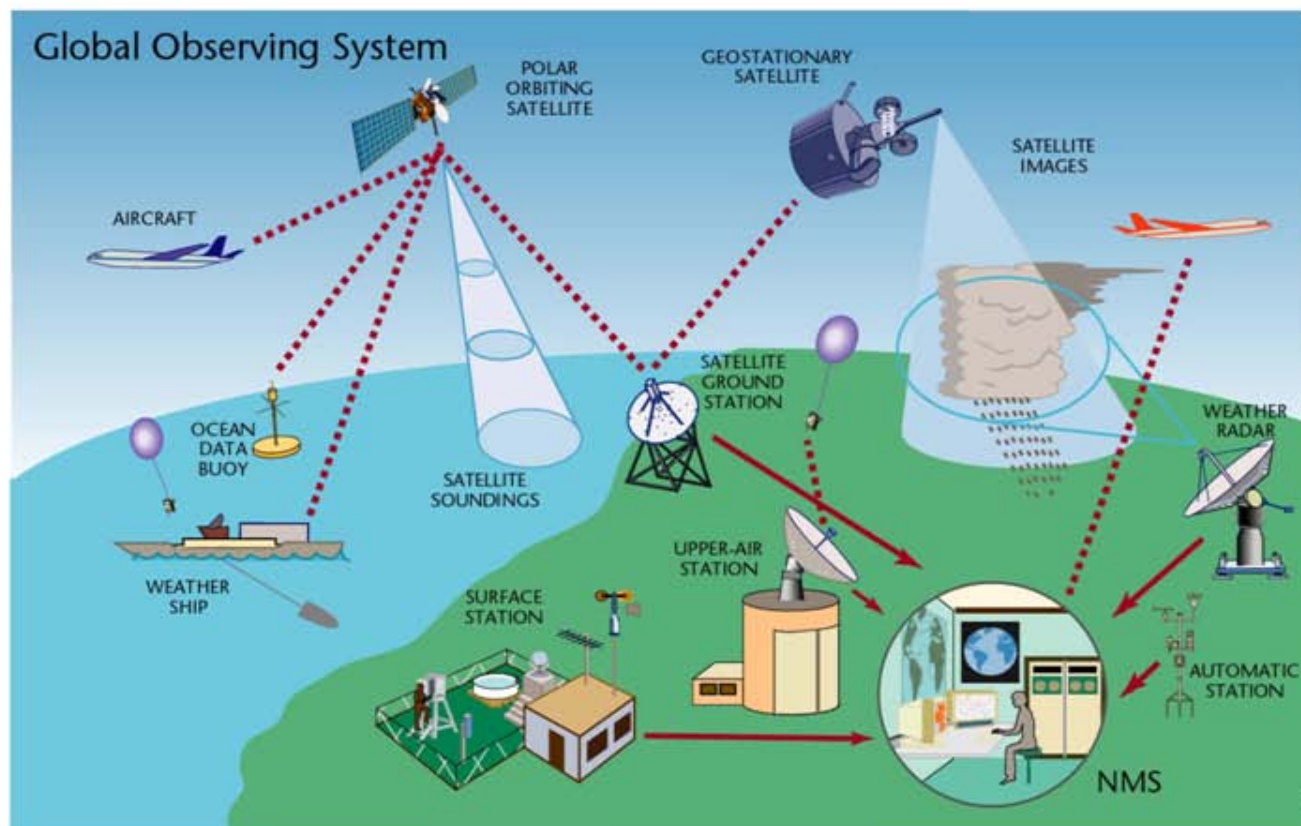
¹ Immagine presa da MetEd, The COMET Program, UCAR.

I GCM (Global Circulation Models) sono modelli che coprono l'intero globo e ricostruiscono la circolazione su larga scala

- ▶ **ECMWF IFS** (Integrated Forecasting System - European Centre for Medium-Range Weather Forecasting) :
mod. spettrale O1280; 4run/giorno 10 giorni - 9 km ris. - 137 liv. vert. (fino a 0.01hPa)
- ▶ **GFS - FV3** (Global Forecasting System - US National Weather Service):
mod. a integrazione a volumi finiti (finite volume on a cubic sphere);
4run/giorno per 16 giorni - 13km di ris. (25km-50km-100km in output) - 64 liv. vert. (fino a 0.27hPa 5□5km)



Condizioni iniziali a livello globale date dall'assimilazione di dati osservati

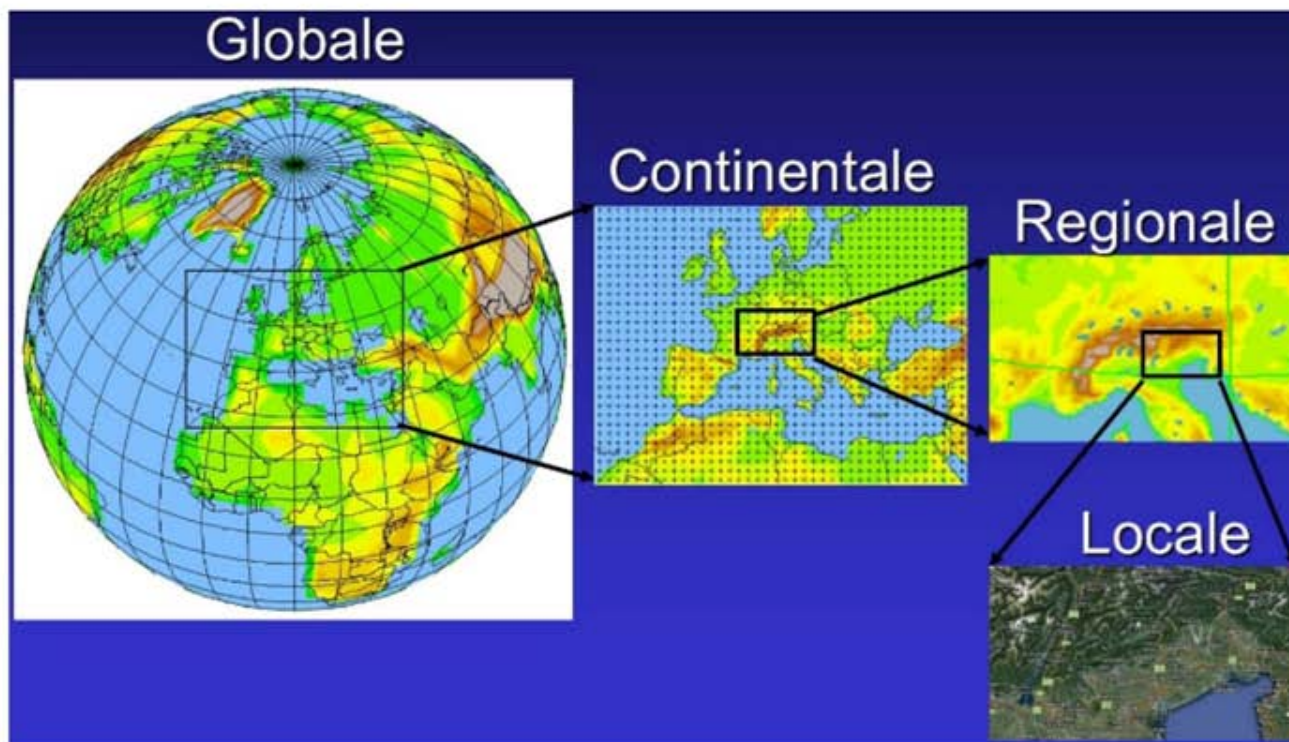


²Immagine presa da <https://public.wmo.int/en/programmes/global-observing-system>

I LAM (Local Area Models) prendono in considerazione solo una porzione di atmosfera, in genere limitata ai bordi laterali

- ▶ Permettono di arrivare ad alte risoluzioni (per modelli non idrostatici 1-2km) permettendo così:
 - migliore orografia locale
 - fenomeni (micro)fisici più dettagliati
 - convezione esplicita
- ▶ Previsioni in genere a più breve termine (72-120 ore circa)
- ▶ Necessitano di condizioni iniziali e al contorno

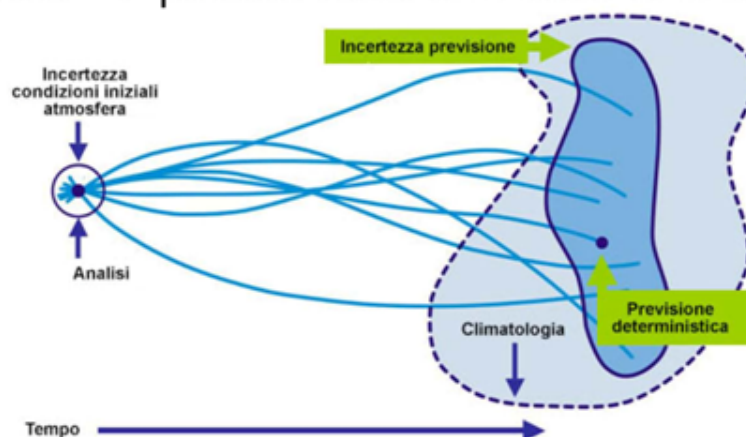
I più diffusi in Italia : WRF (NCAR), COSMO (Consorzio di servizi meteo nazionali), BOLAM (CNR-ISAC Bologna) ...



IC e BC ottenute interpolando le uscite dei modelli globali

Con le tecniche di **nesting** poi i LAM aumentano via via di risoluzione solo sulle aree di interesse.

- ▶ l'atmosfera è complessa => eq. sono approssimate
- ▶ l'atmosfera è "caotica" => piccole variazioni delle CI si amplificano

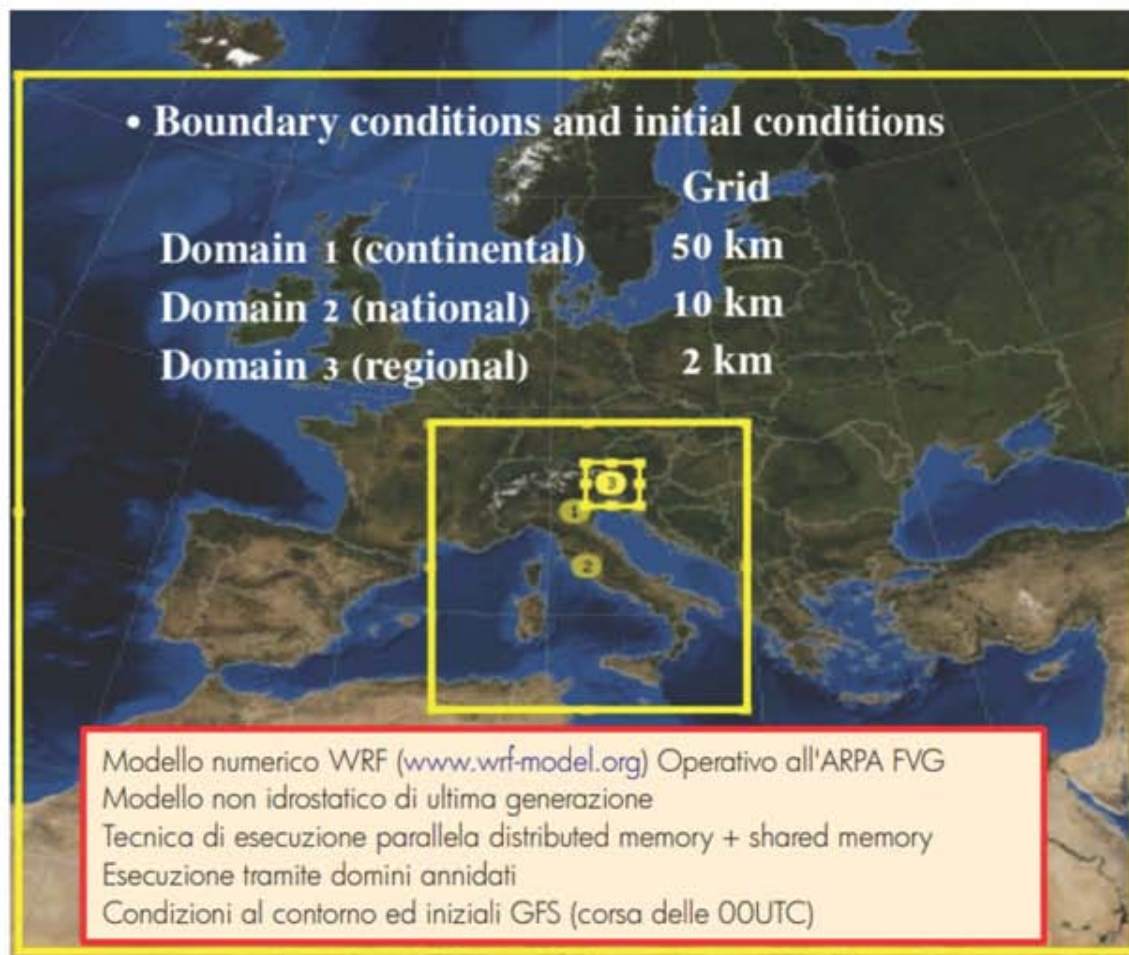


- ▶ CI non sono perfette (copertura dati non omogenea, errori di misura)
- ▶ BC (Interpolazione da modelli globali che induce errore che si propaga) => corse limitate nel tempo)
- ▶ BC sbagliate => previsioni sbagliate
- ▶ BC non ci sono => previsioni non ci sono

Modellistica Meteo al CRMA



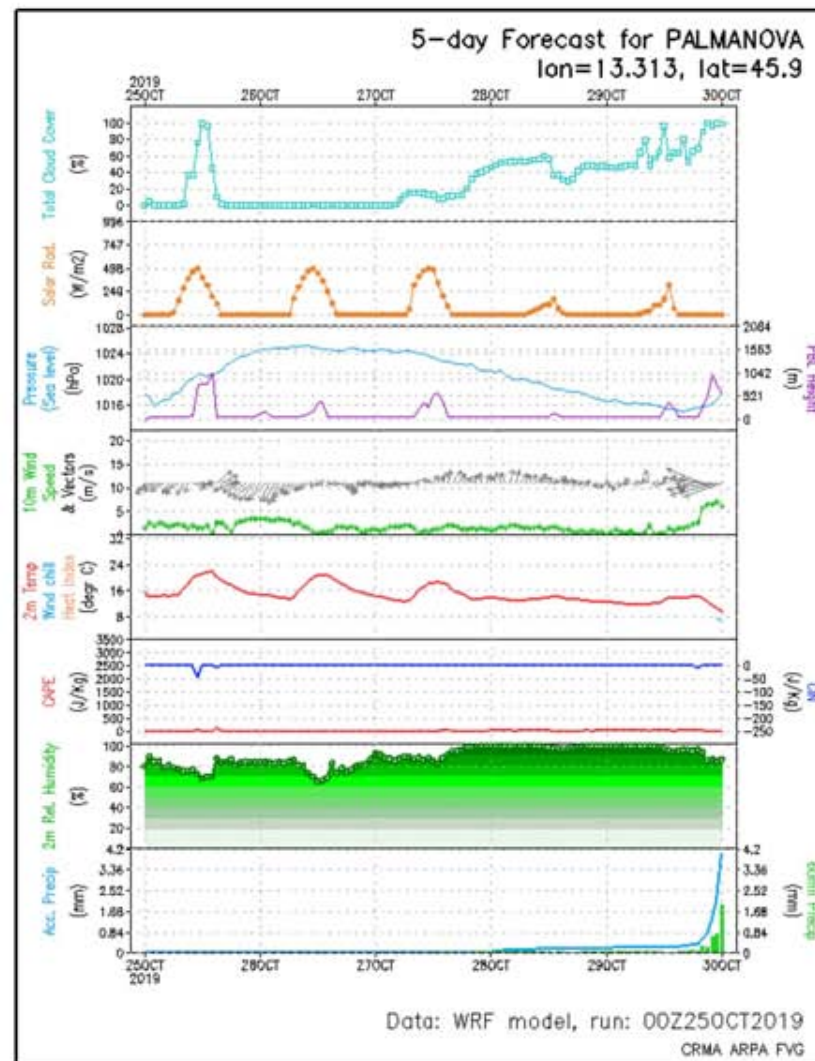
1 run/day alle 00UTC
prodotti 07UTC



³Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113pp.[doi:10.5065/D68S4MVH](https://doi.org/10.5065/D68S4MVH)

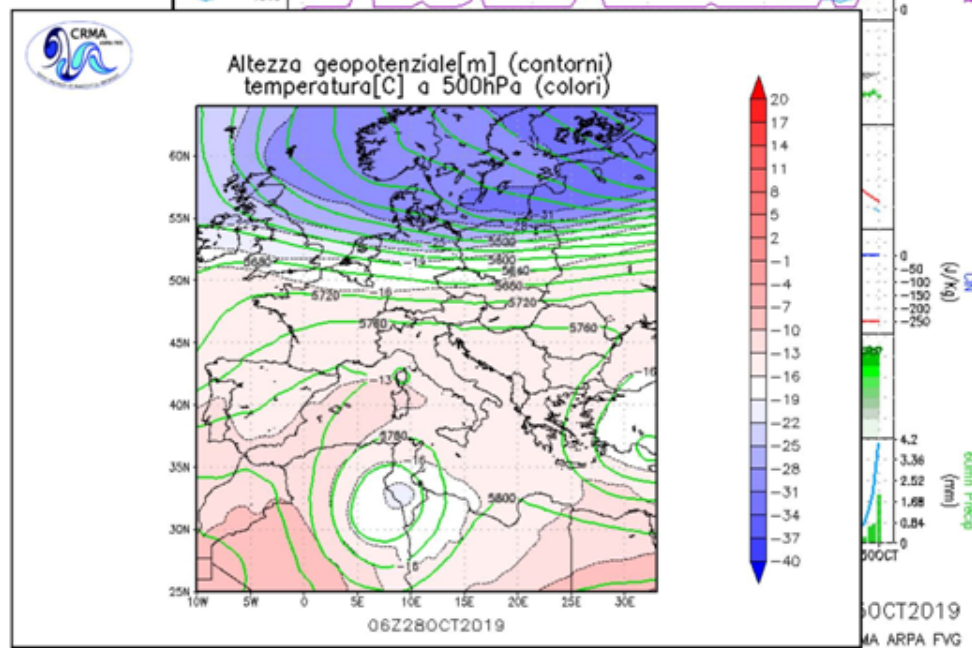
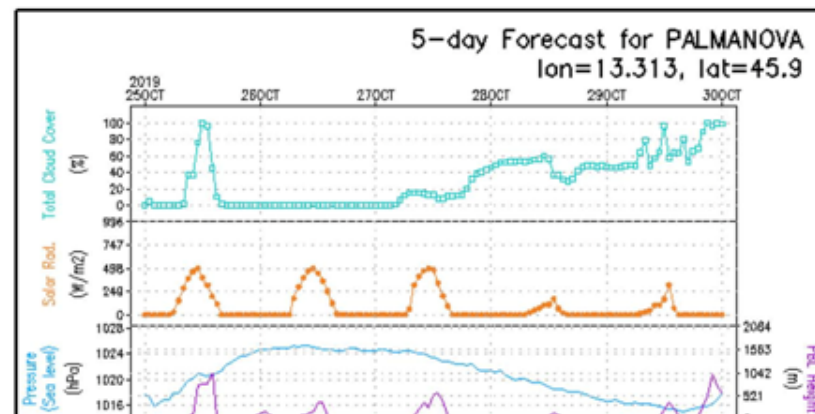
prodotti offerti sono interpolazioni
=> incertezza

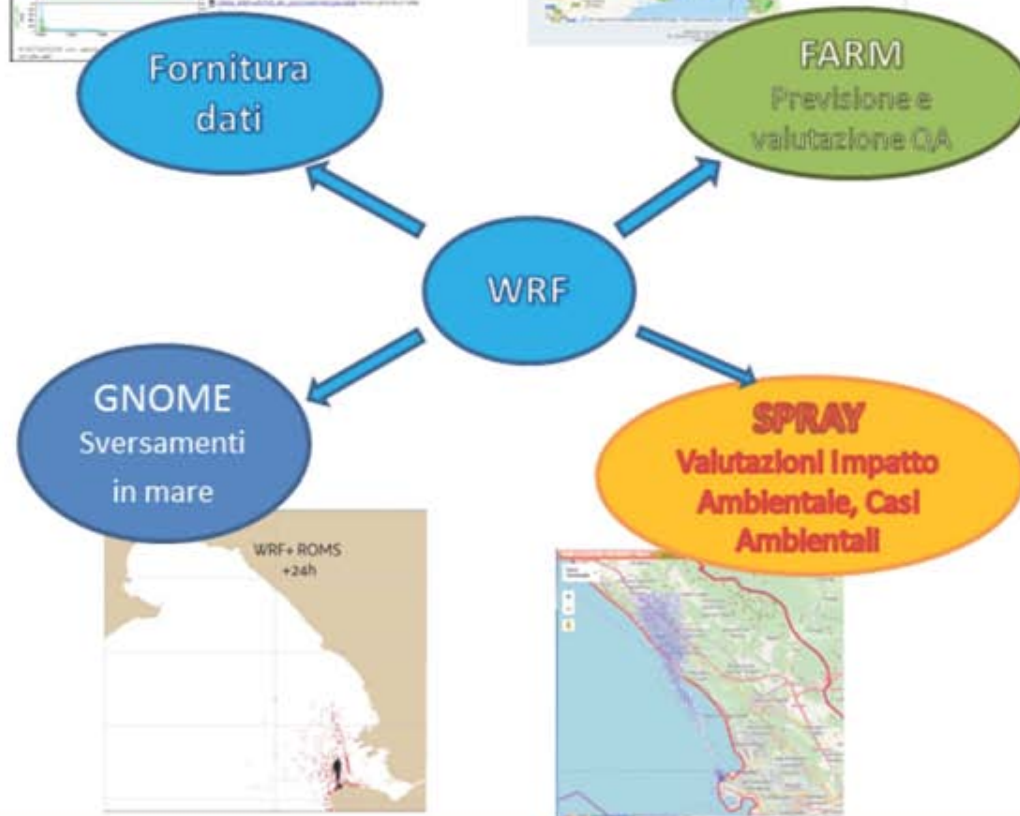
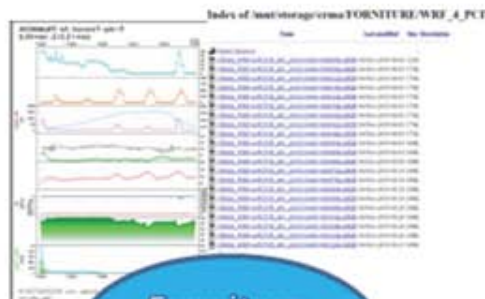
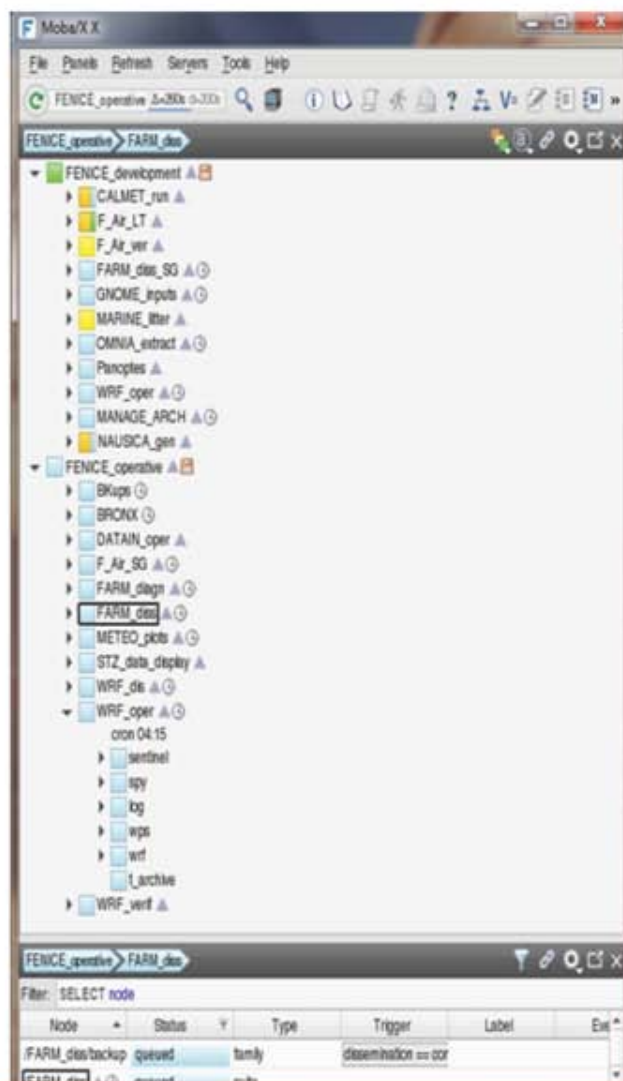
► Meteogrammi



prodotti offerti sono interpolazioni
=> incertezza

- ▶ Meteogrammi
- ▶ campi estesi





GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

- ▶ <https://www.ecmwf.int/>
- ▶ <https://www.emc.ncep.noaa.gov/index.php?branch=GFS>
- ▶ <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>
- ▶ <http://www.cosmo-model.org/>
- ▶ http://www.isac.cnr.it/en/numerical_models/bolam
- ▶ <http://www.arpaweb.fvg.it/fcm/gmapsmt.asp>
- ▶ <http://www.arpaweb.fvg.it/fcm/gmapsam.asp>

Modellazione idrologica e idraulica per finalità di Protezione Civile

Dott. Gabriele Peressi – Direzione Regionale
della Protezione Civile FVG

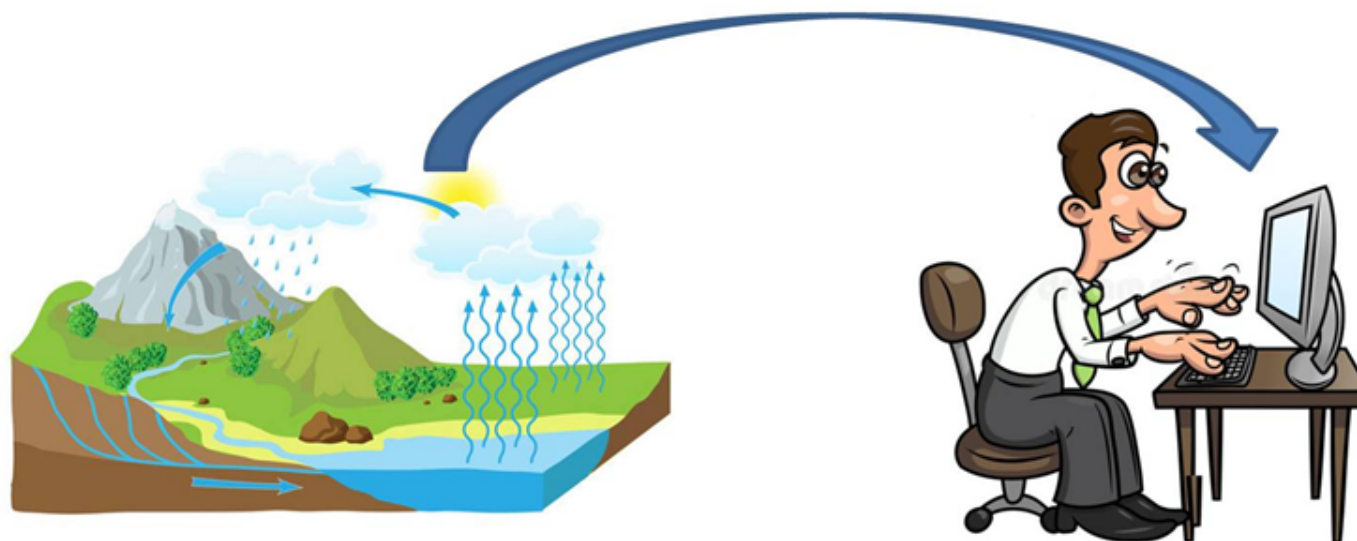
I rischi naturali, come quello idraulico, non possono essere completamente annullati.



Risulta possibile implementare un sistema di supporto alle decisioni da utilizzare per l'attivazione delle varie fasi di allerta e per seguire l'evoluzione di un evento.

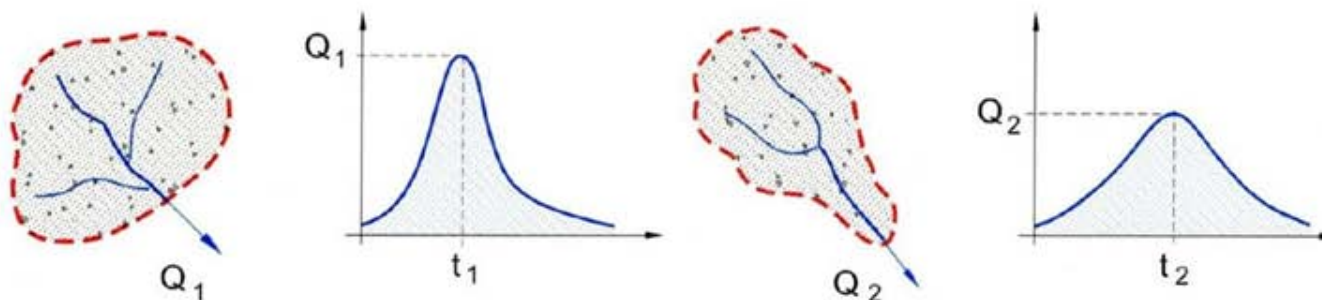


I sistemi di supporto alle decisioni da noi utilizzati sono basati su una piattaforma software attiva in continuo che raccoglie ed elabora in tempo reale una serie di informazioni meteorologiche in maniera tale da valutare i deflussi previsti per lo scenario in corso.

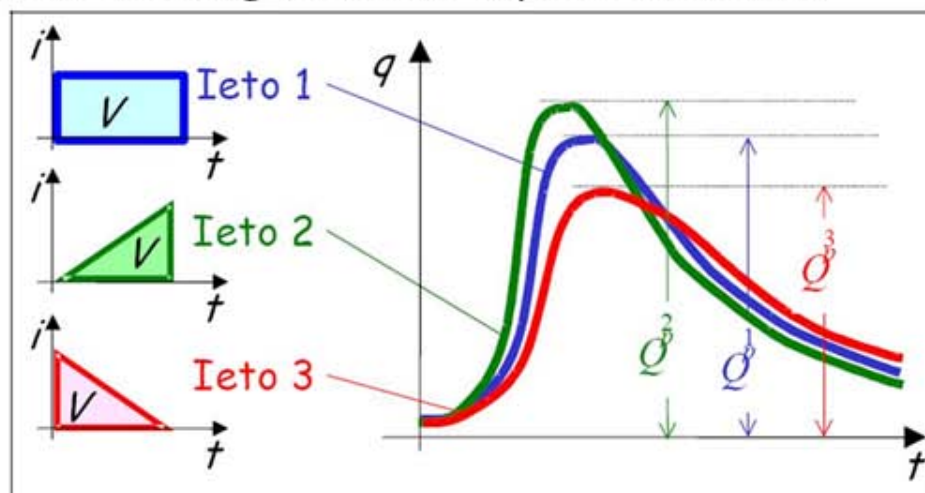


Necessità di una modellazione

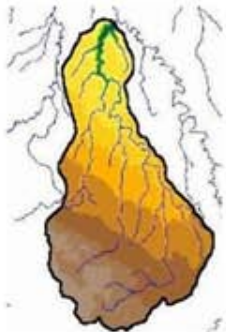
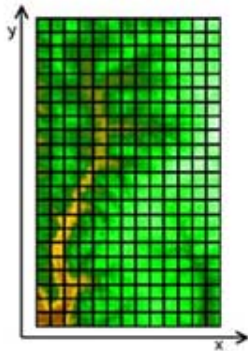
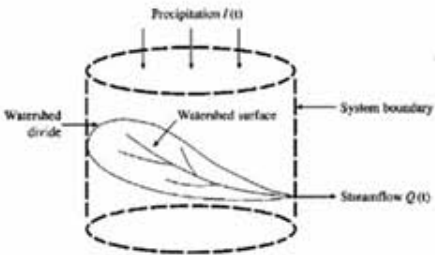
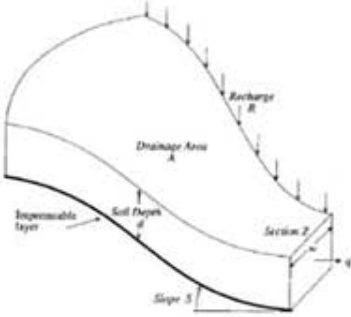
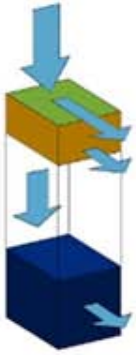
Idrogramma di piena: condizionamenti morfologici e naturali



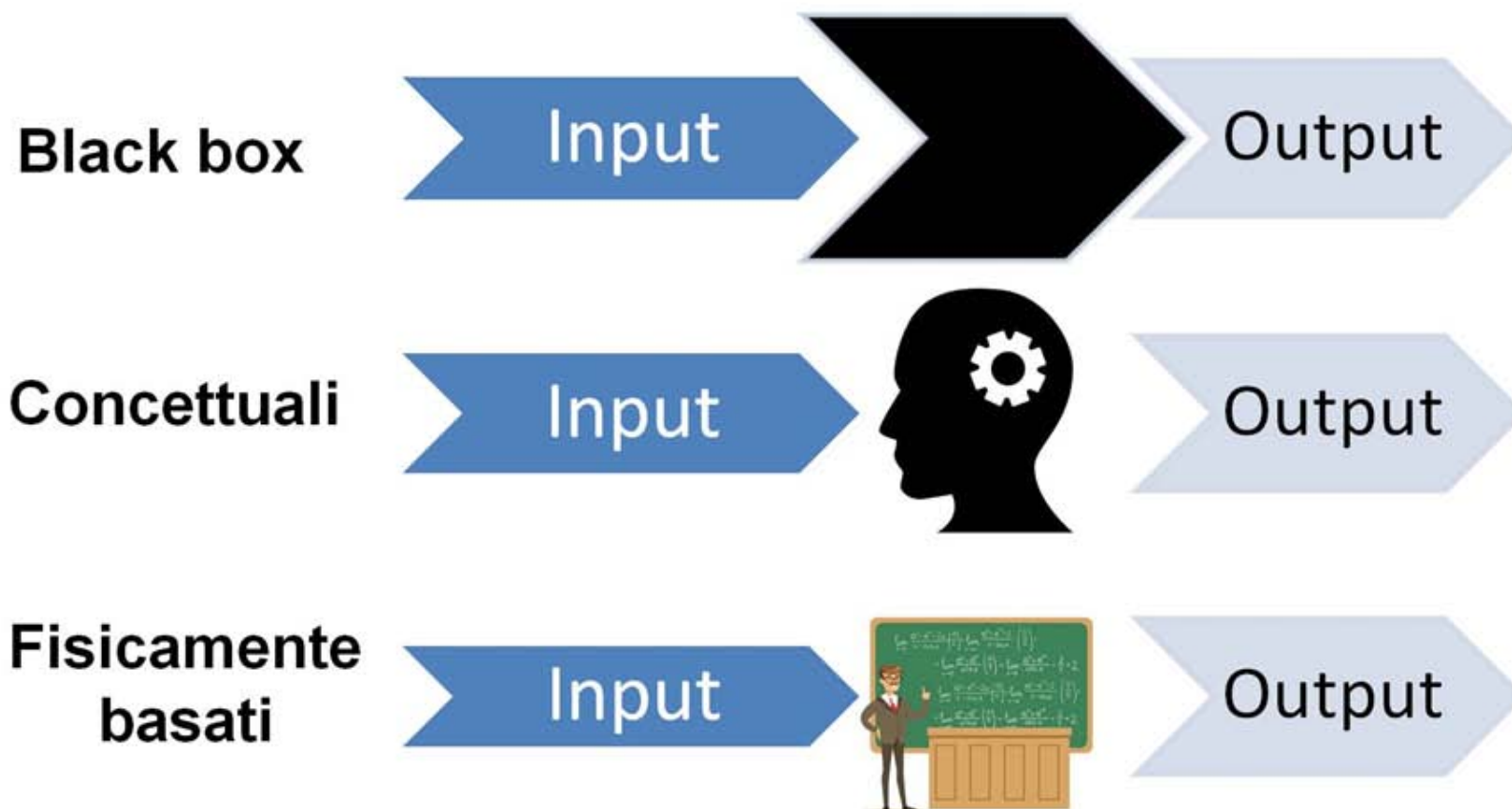
Diversi ietogrammi danno luogo a diverse risposte del bacino



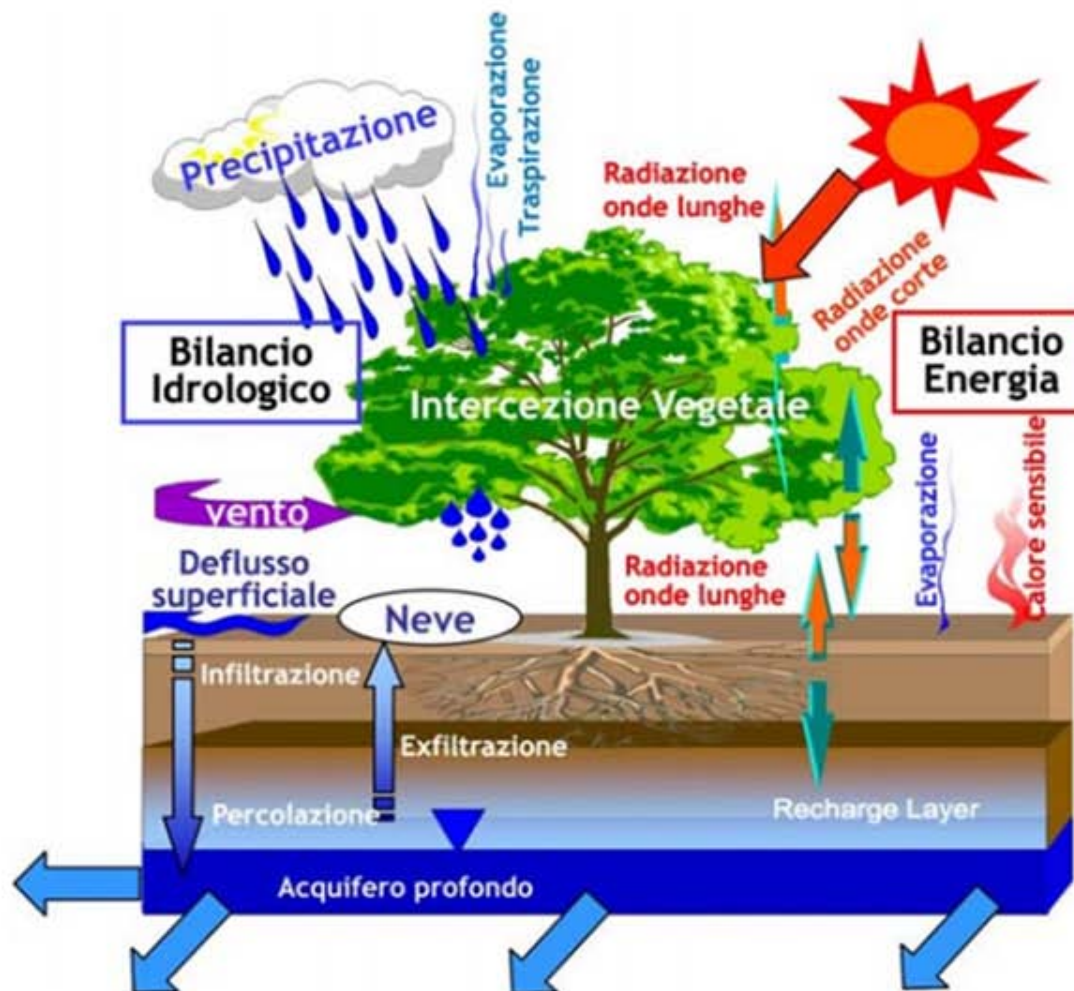
Tipi di modelli idrologici

	Aggregato	Semi-Distribuito	Distribuito
Schema			
Volume di controllo	Intero bacino 	Versante 	Cella elementare 

Tipi di modelli idrologici



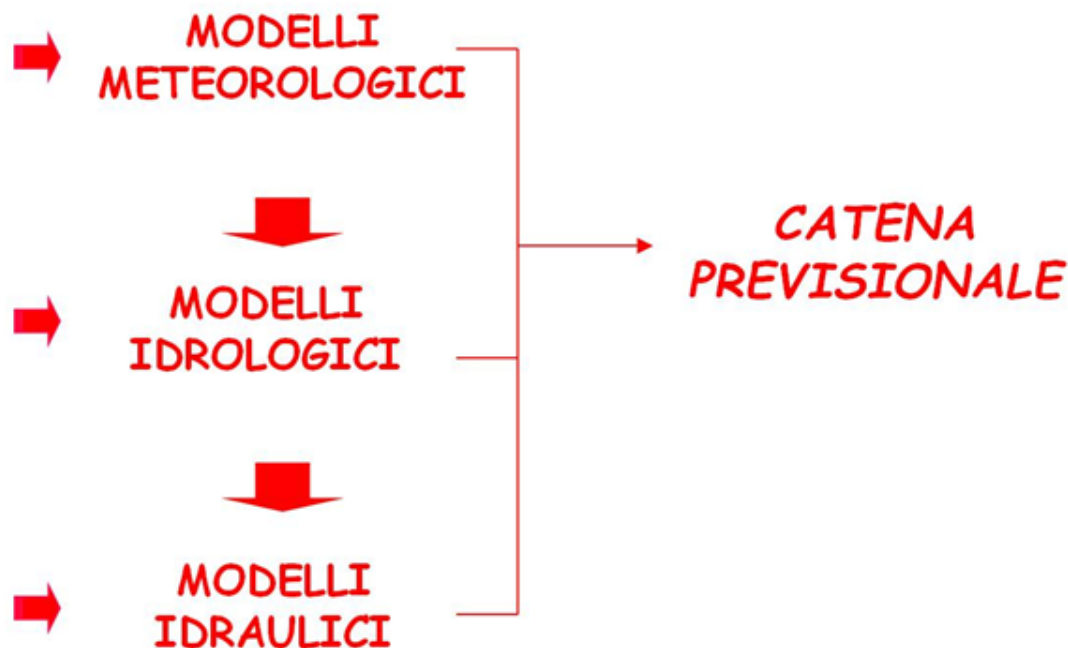
Principali processi coinvolti nel bilancio idrologico ed energetico



Trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali

Un'efficace previsione delle piene dipende dalla corretta previsione:

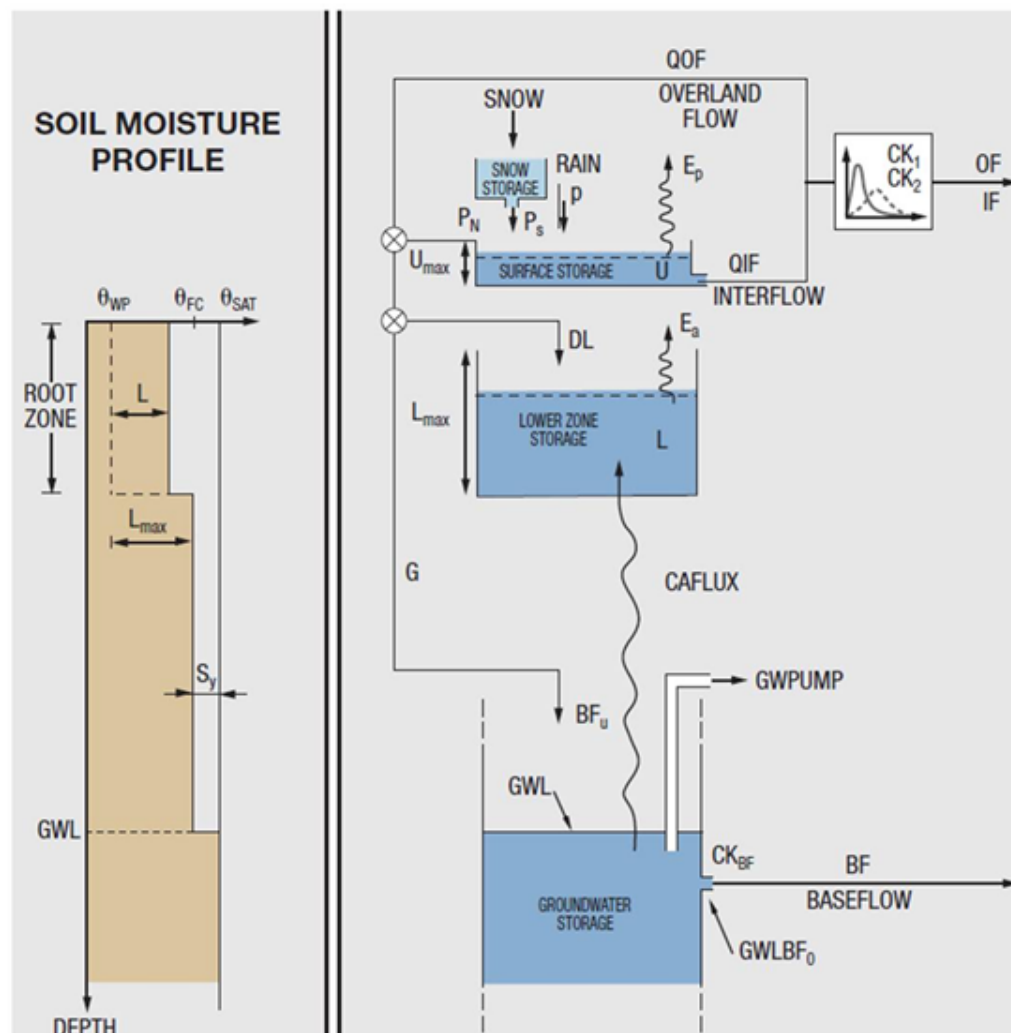
- dell'evento meteorologico (intensità, durata, localizzazione);
- del processo di trasformazione afflussi-deflussi;
- del processo di propagazione della piena lungo le aste fluviali.



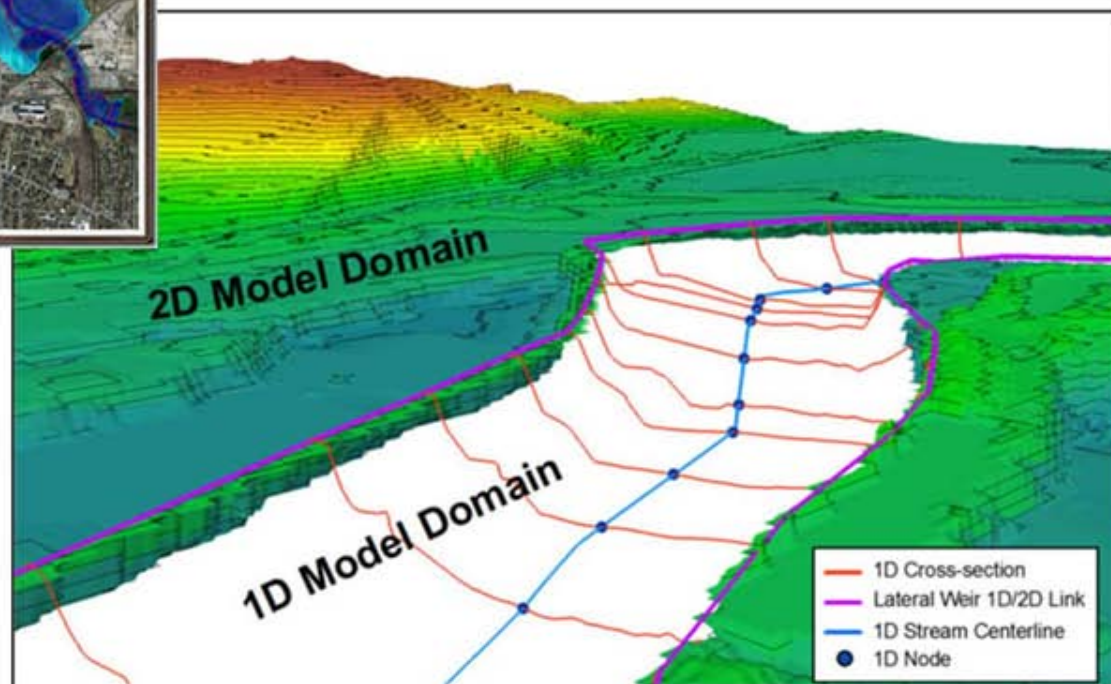
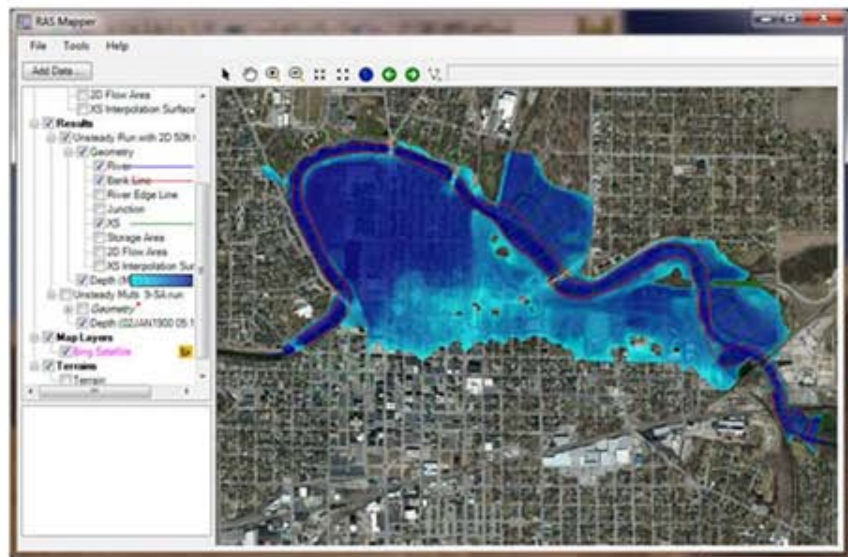
Il modello concettuale NAM

I quattro serbatoi in serie che rappresentano rispettivamente:

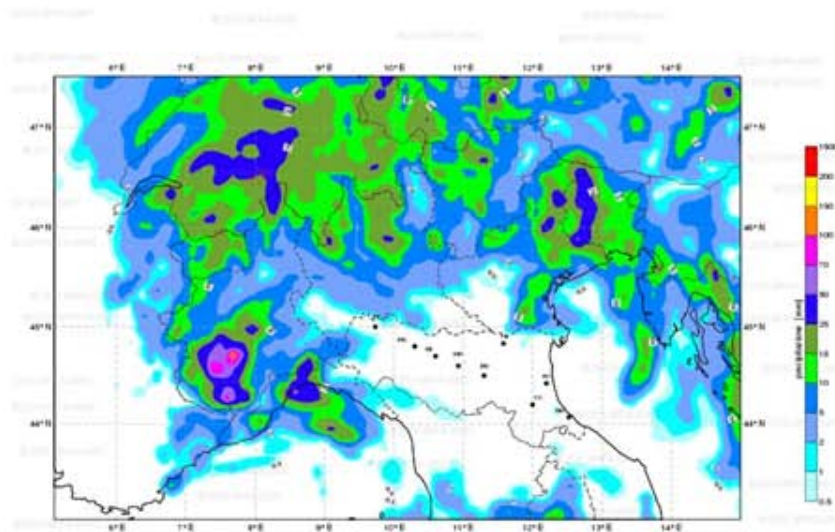
- i processi di formazione e fusione della neve (SNOW STORAGE);
- l'invaso temporaneo di parte dell'acqua piovana sulla superficie (SURFACE STORAGE);
- l'imbibizione dello strato superficiale del terreno, il cui stato regola la formazione del deflusso superficiale (LOWER ZONE STORAGE);
- la raccolta ed il rilascio nel sistema delle falde sotterranee dell'acqua che percola nel terreno (BASEFLOW).



Tipi di modelli idraulici



Integrazione tra previsione meteorologica, rilevamento a terra e modellistica idraulica



NOW

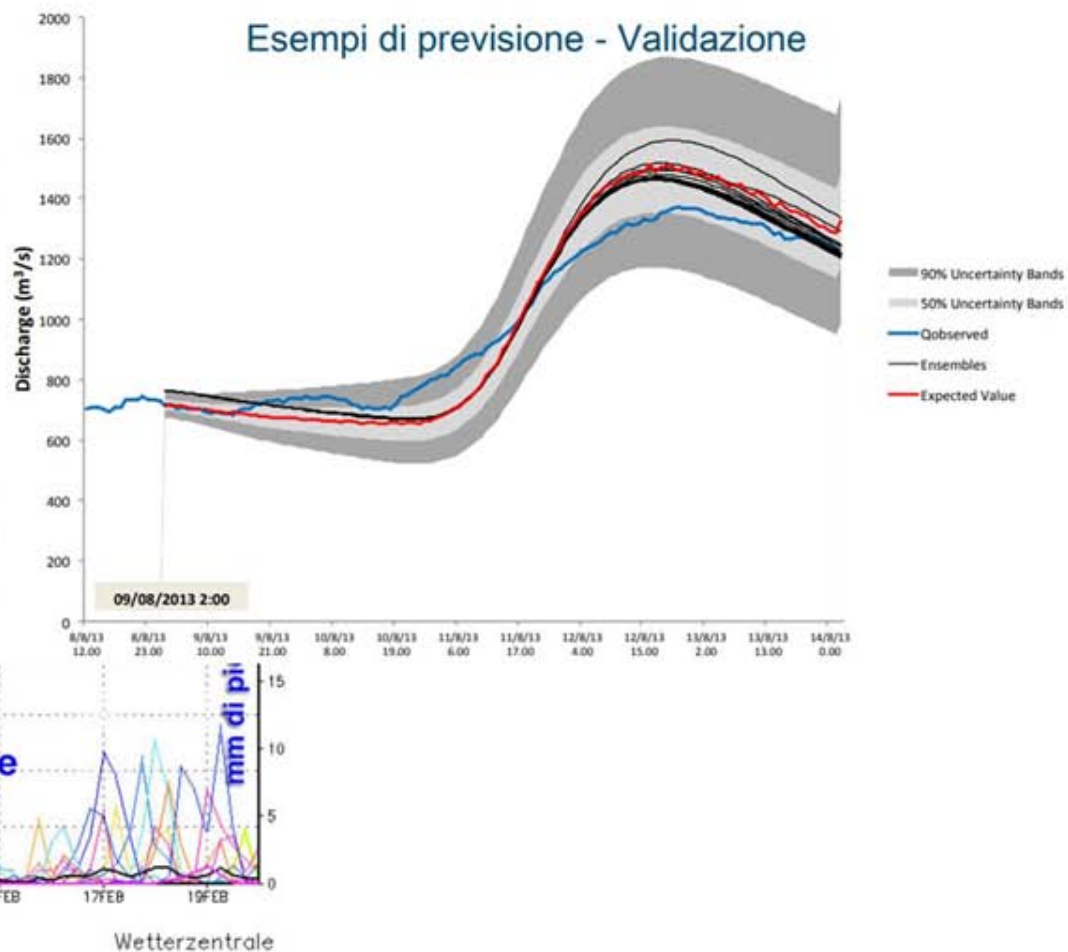
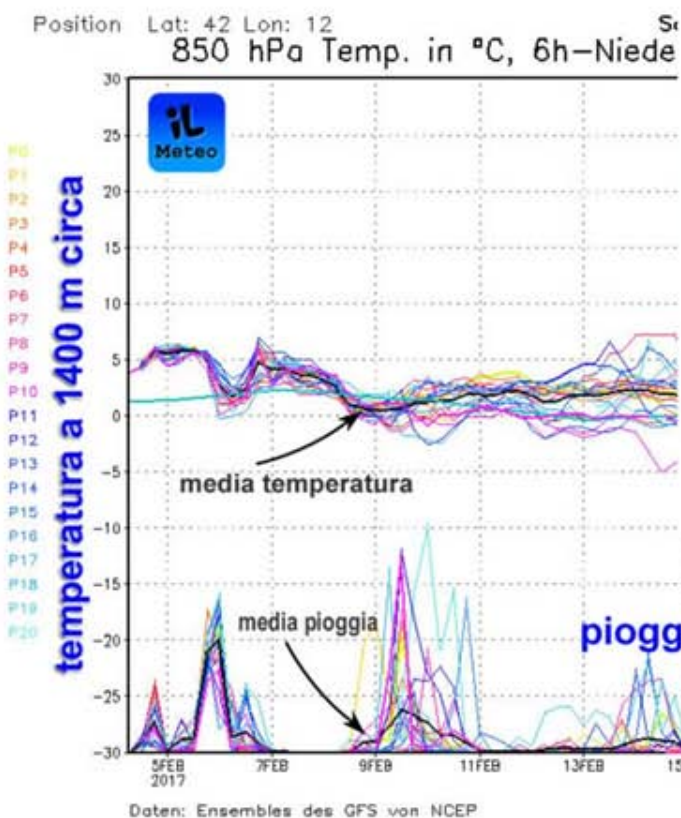
Rete di rilievo
idrometeorologico

Previsione meteorologica

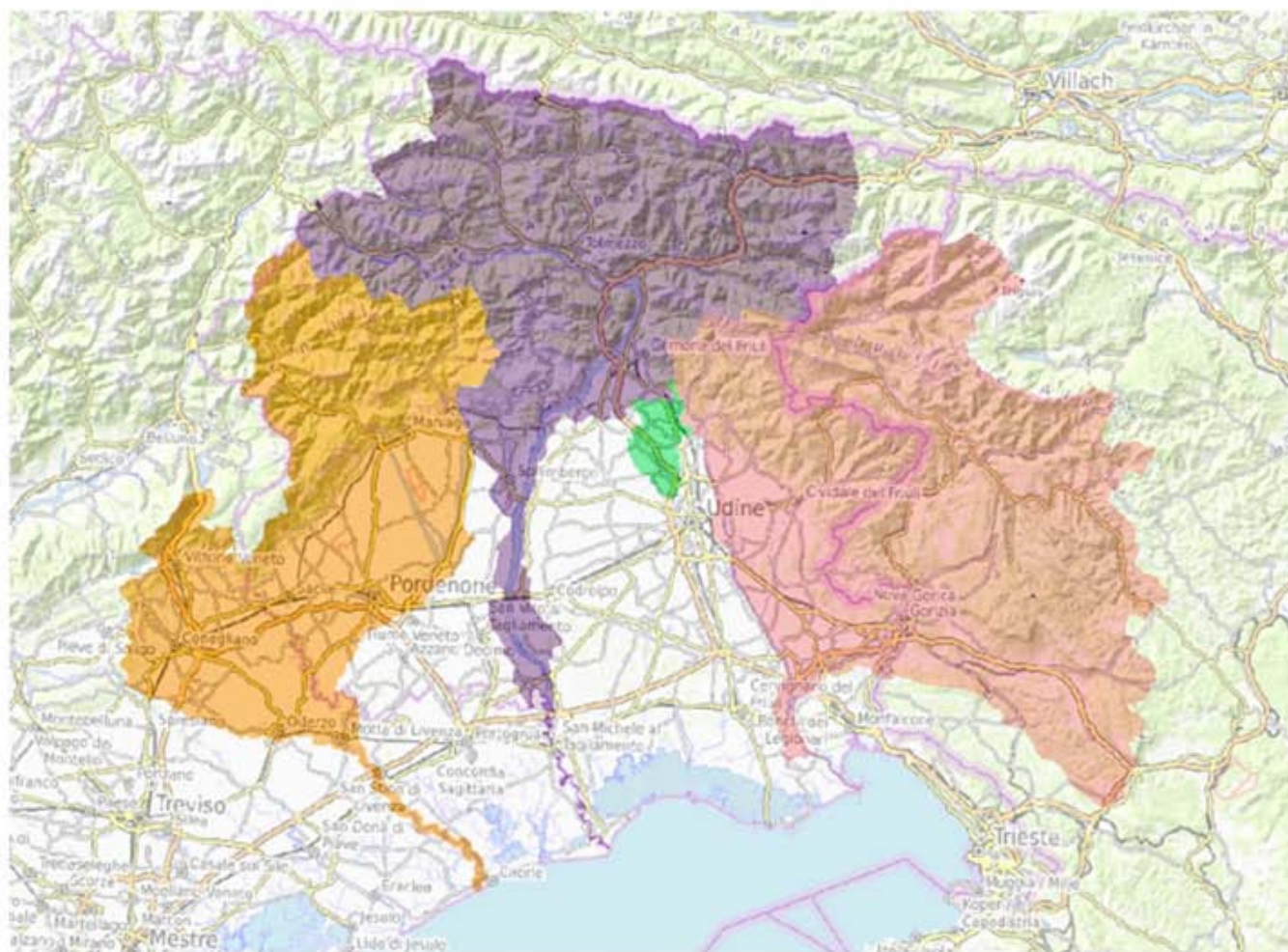
Modelli utilizzati:

COSMO I2
COSMO I7
COSMO RUC
ECMWF
WRF
ALADIN

Modelli deterministici e probabilistici



La Regione Friuli Venezia
 Giulia si è dotata di
 modelli idrologici e
 idraulici per i bacini del
 Cellina-Meduna,
 Tagliamento, Isonzo e
 Cormor con interfaccia
 GIS per il monitoraggio
 ambientale e la
 previsione di piena in
 tempo reale.

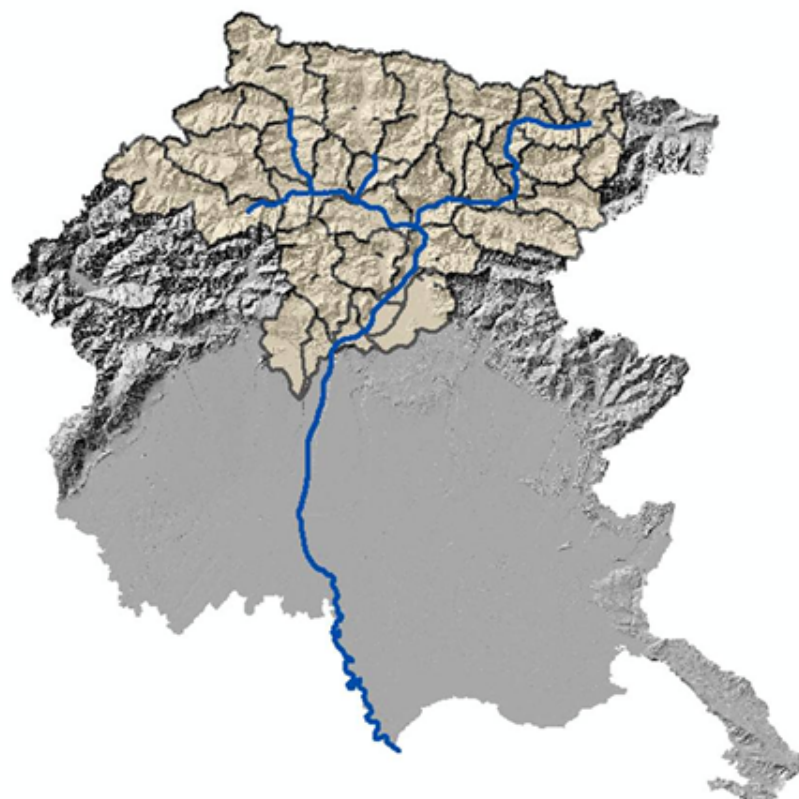


Esempio Tagliamento: Modulo idrologico

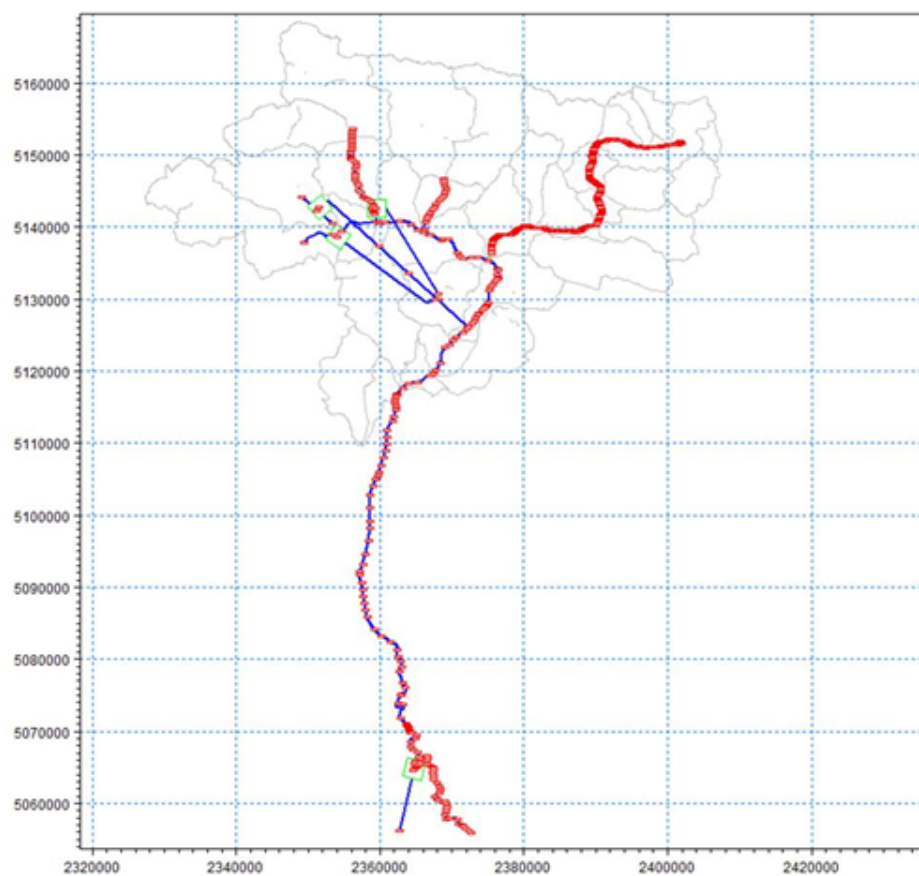
Il bacino del Tagliamento è stato suddiviso in 34 sottobacini.

Ogni sottobacino idrologico è collegato alla rete idrografica secondo due modalità:

- bacini di testata, sono quelli che recapitano il deflusso in modo concentrato nel punto più a monte di un ramo della rete idrografica o in una confluenza puntuale;
- bacini laterali, che recapitano il loro deflusso in modo distribuito lungo un determinato segmento di un corso d'acqua.



Esempio Tagliamento: Modello idraulico HD



ELEMENTI INTRODOTTI:

479 sezioni

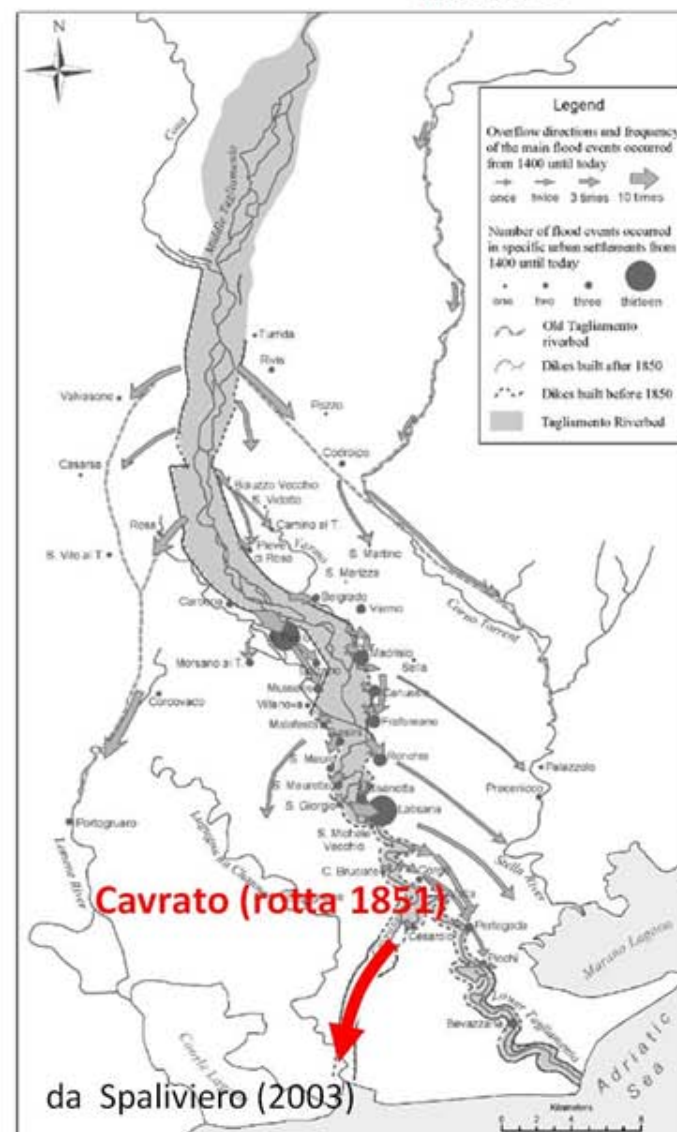
3 ponti (Braulins, Latisana SS e FF)

Scolmatore Cavrato

Rete di derivazione a scopo idroelettrico dell'Alto Tagliamento, Degano e schematizzazione dell'invaso di Sauris

Registrazione del livello marea a Lignano come condizione di valle

Rotte del Tagliamento

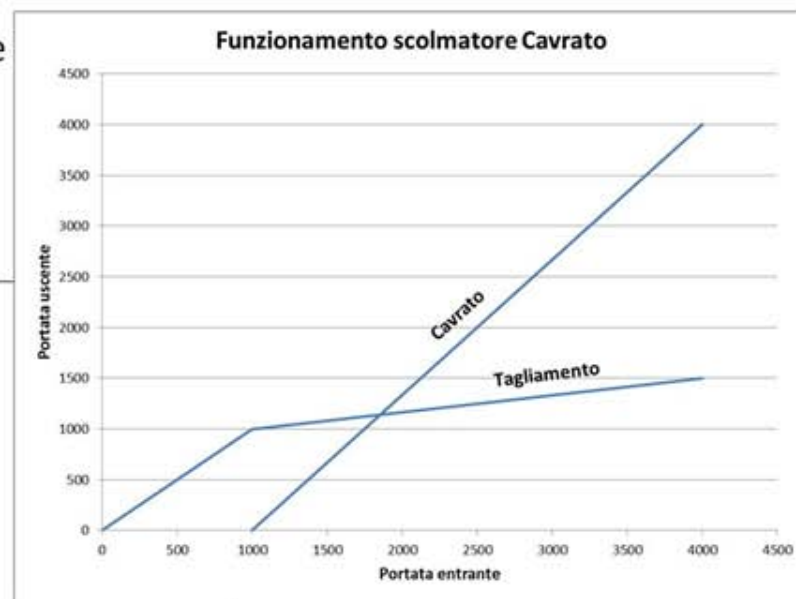
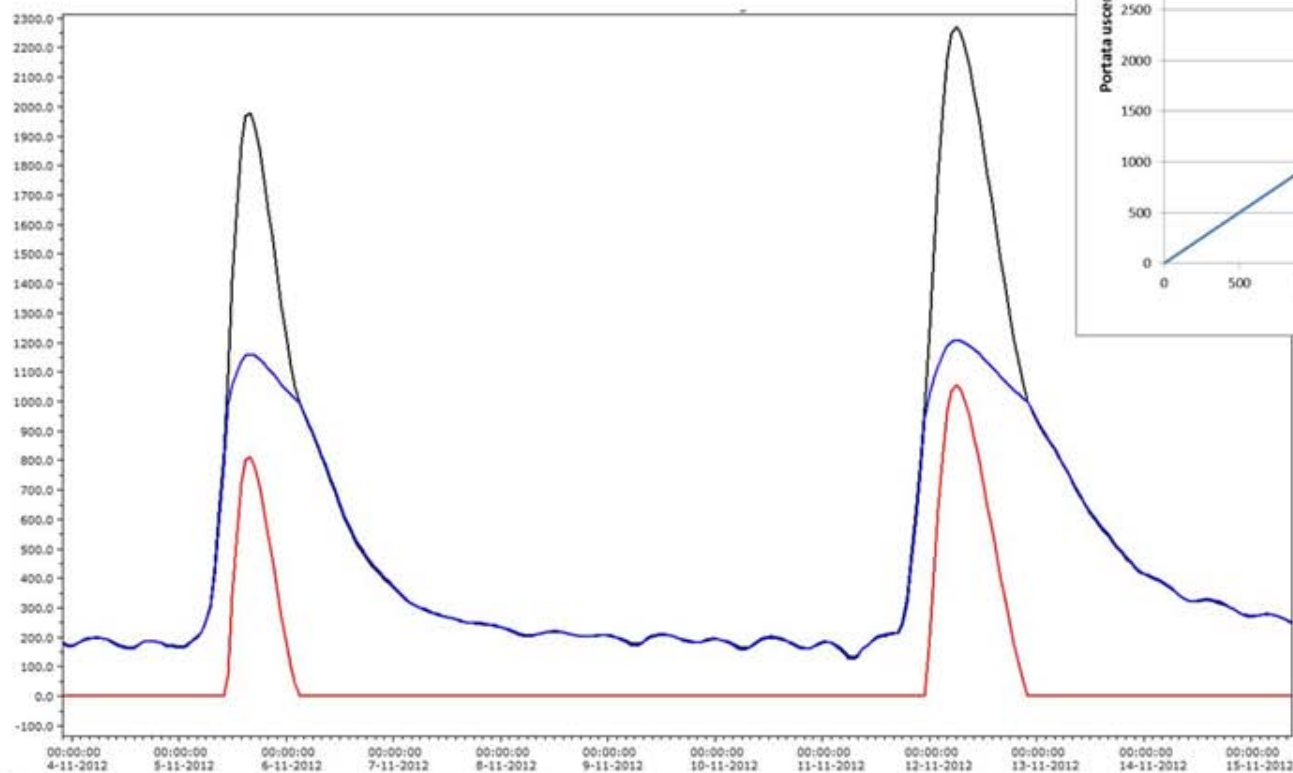


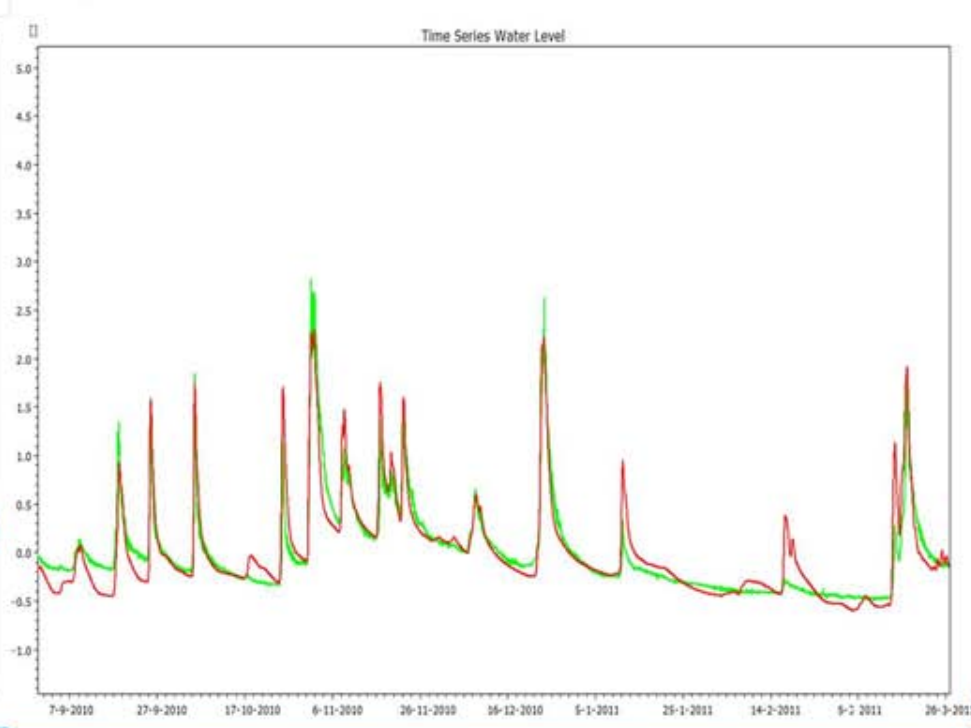
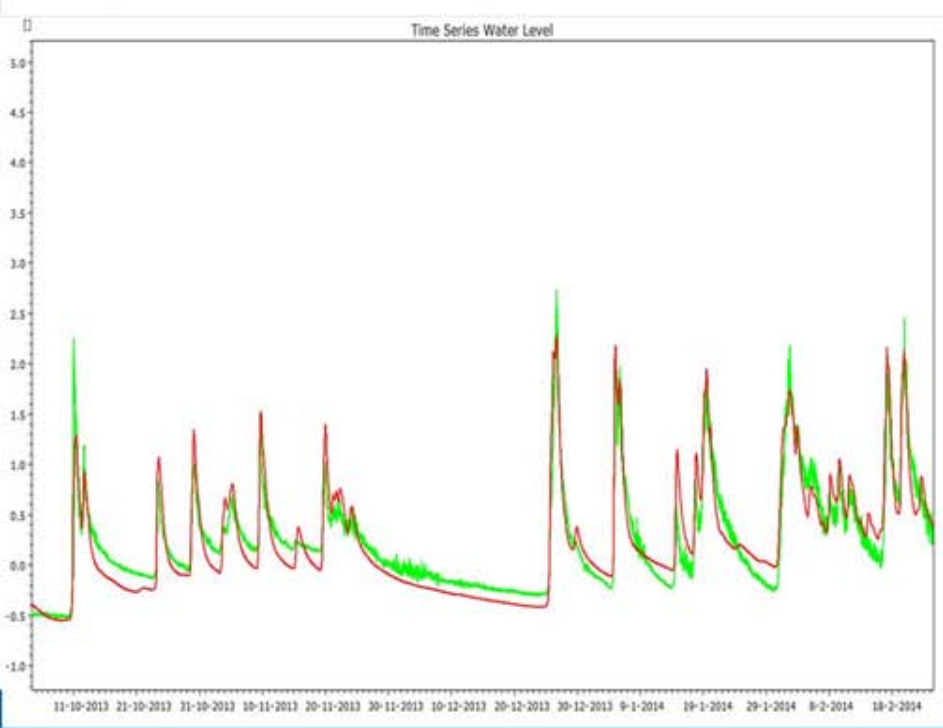
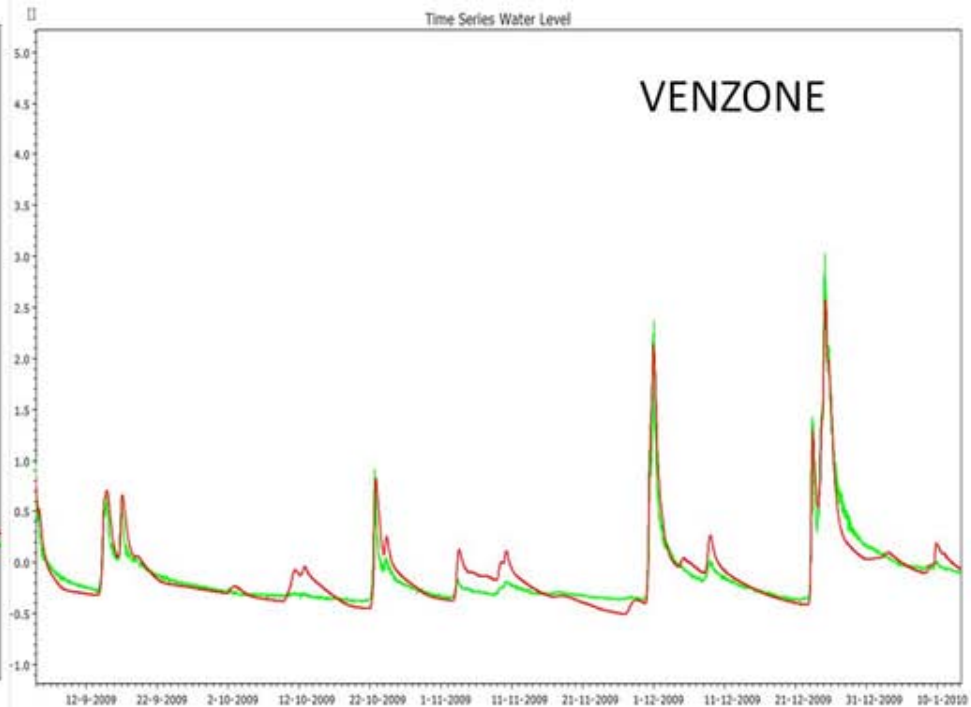
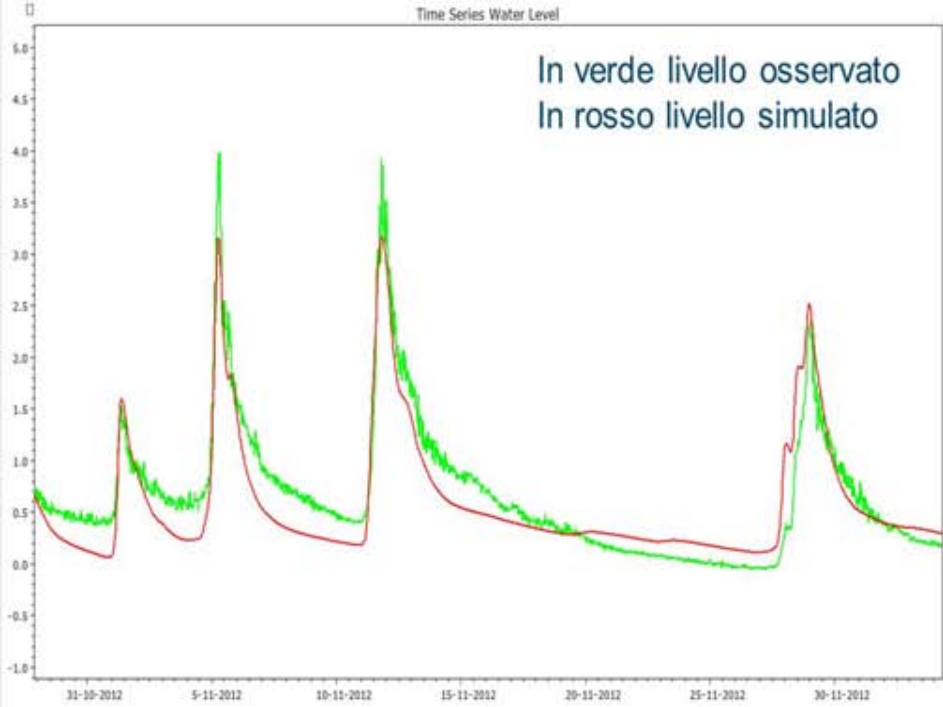
Scolmatore Cavrato

In nero la portata del Tagliamento a monte dello scolmatore Cavrato

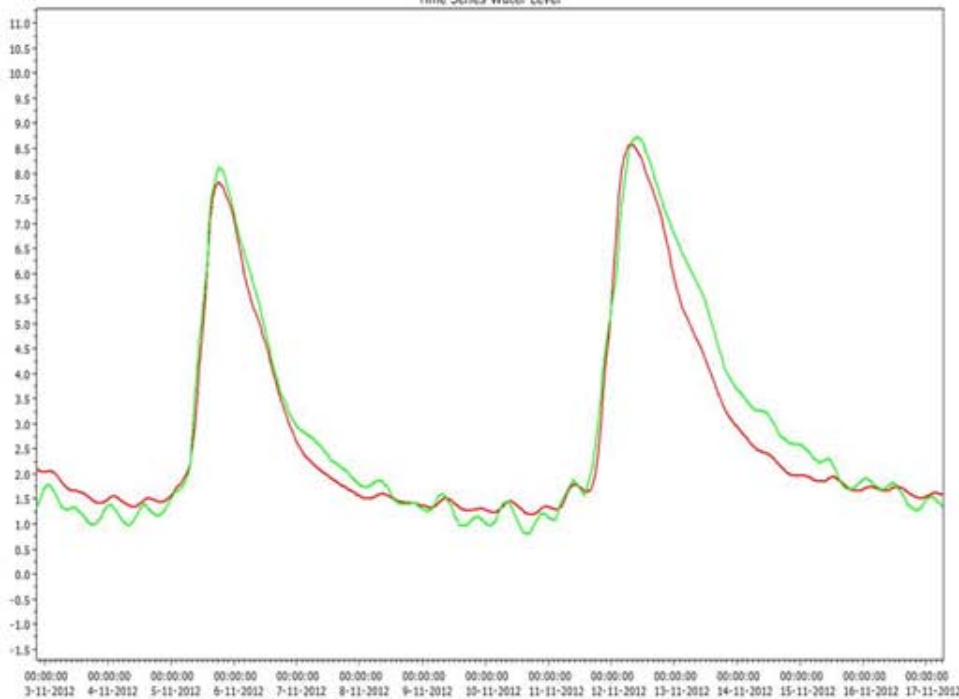
In blu la portata del Tagliamento a valle del Cavrato

In rosso la portata del Cavrato

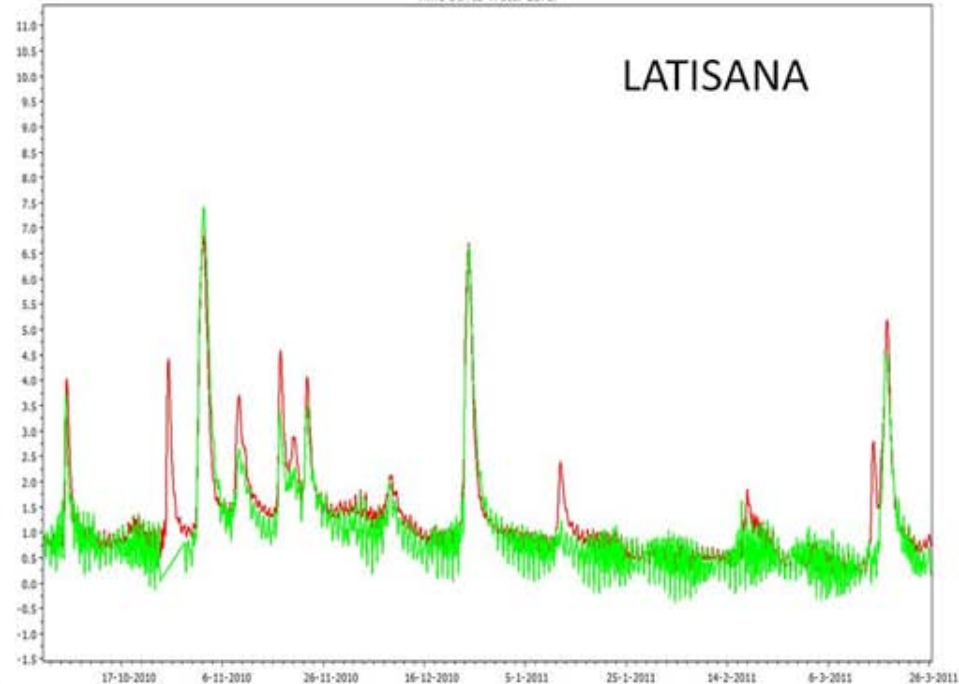




Time Series Water Level

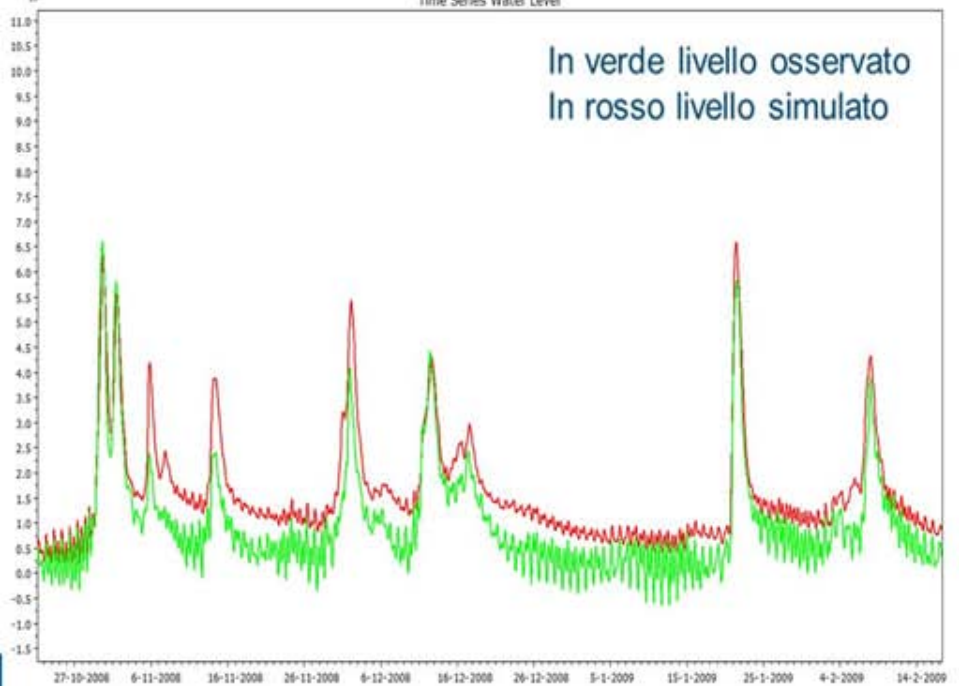


Time Series Water Level



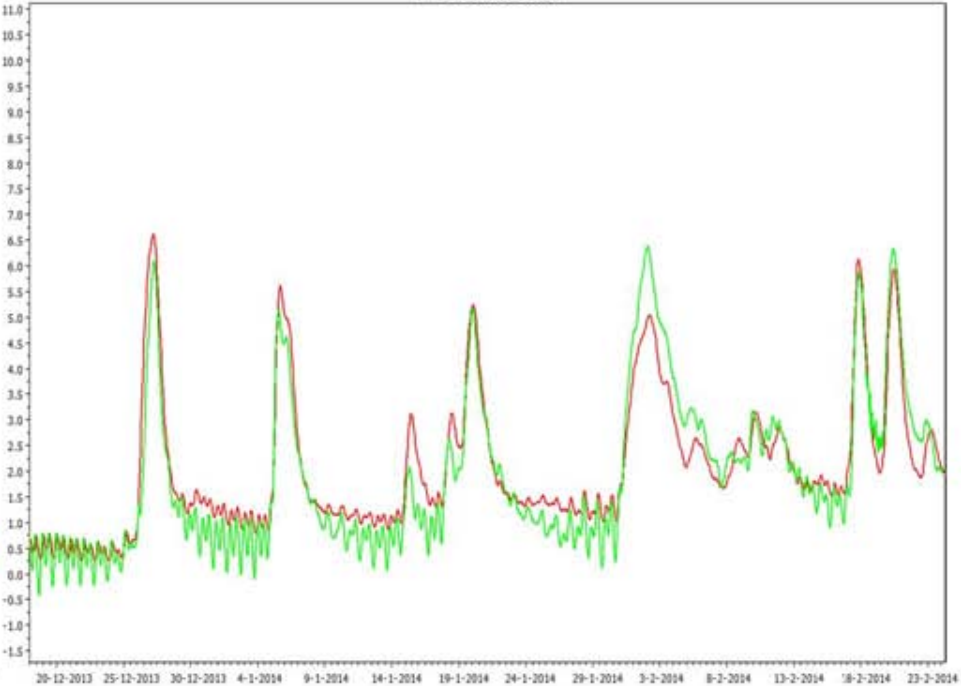
LATISANA

Time Series Water Level



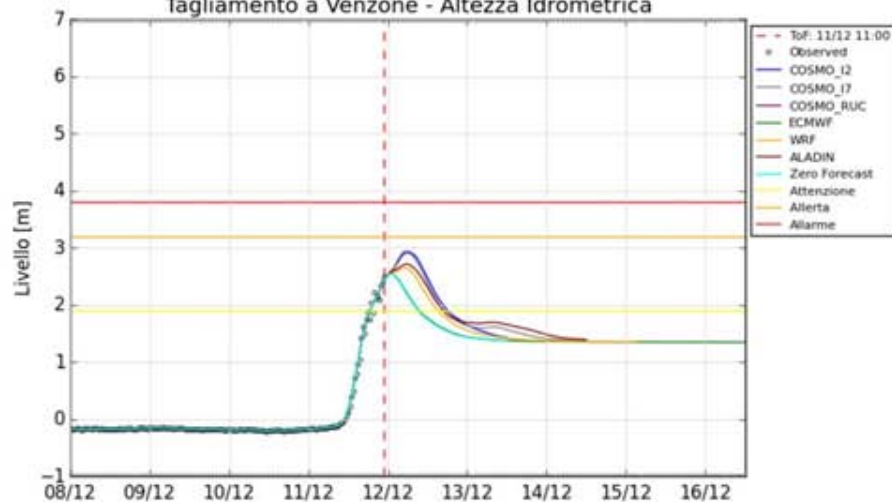
In verde livello osservato
In rosso livello simulato

Time Series Water Level



Sistema di Pubblicazione WEB

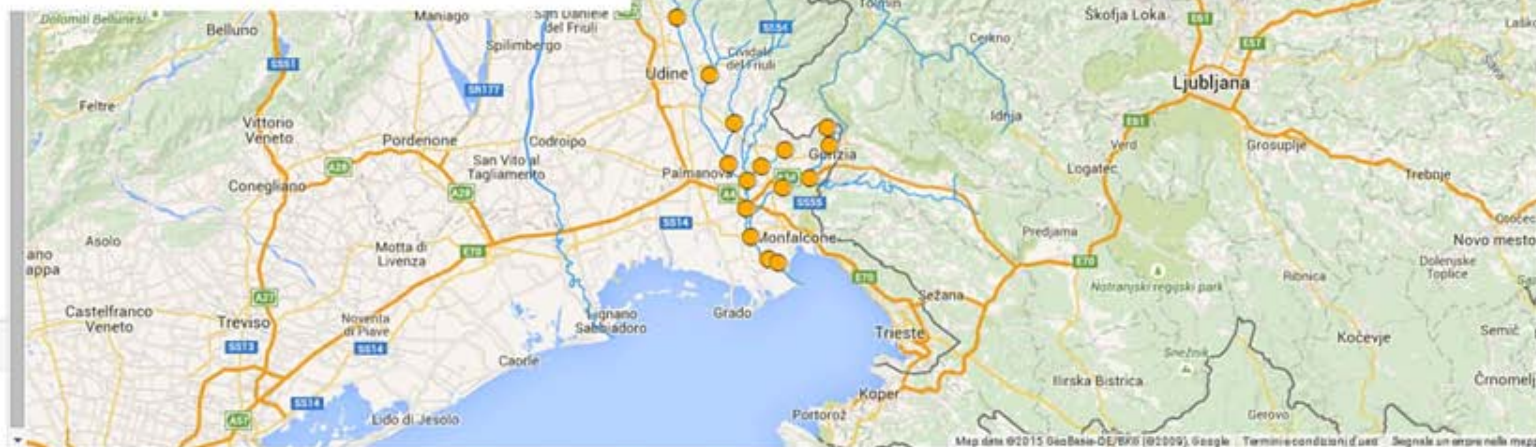
Tagliamento a Venzone - Altezza Idrometrica



- ☐ Temperature
- ☒ Previsioni
- ☐ Pioggia
- ☐ Temperature
- ☐ Runoff
- ☐ Maree
- ☒ Tagliamento nwk
- ☒ Isonzo - Torre nwk

Documenti

Bollettino Allertamento Tagliamento
Bollettino Allertamento Isonzo



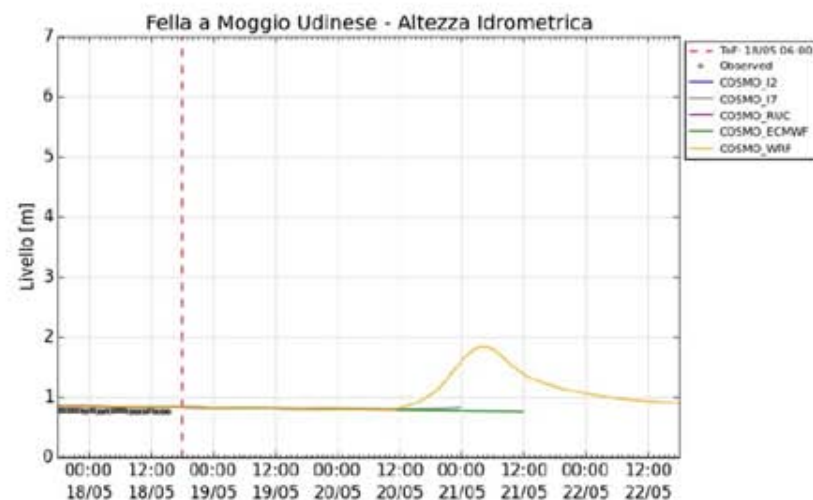
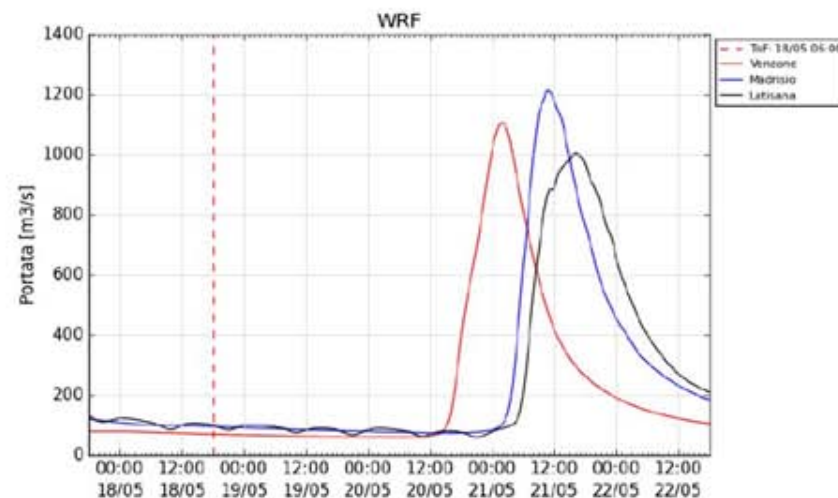
Report di allerta

Mike Customised - Report RUN ore 18:01 UTC 18/05/2015

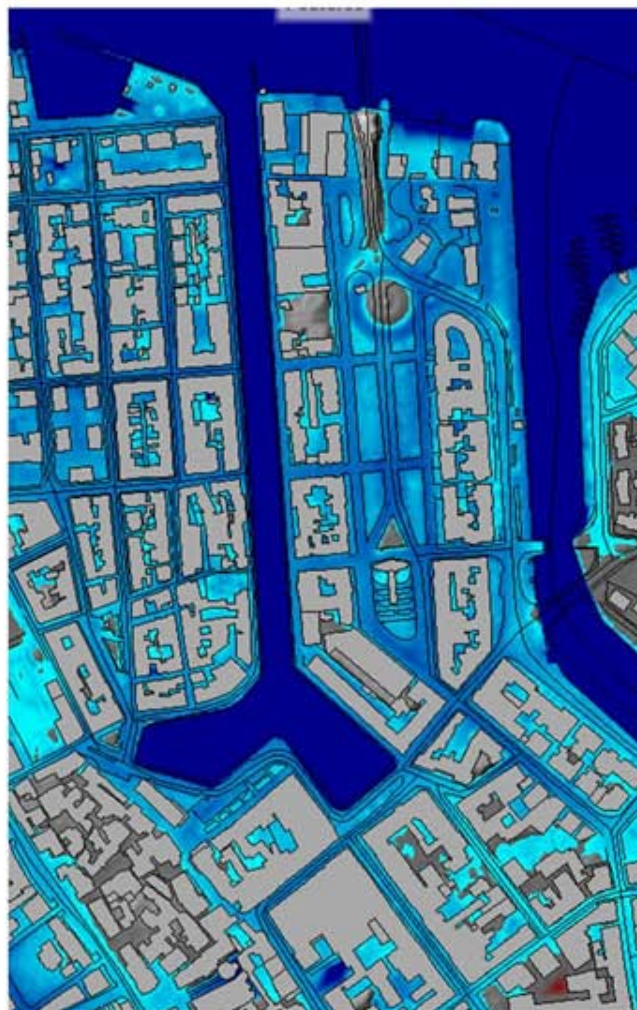
Risultati simulazione

Stazione	Cosmo-42	Cosmo-RUC	Cosmo-I7	ECMWF	WRF	I	II	III
Fella a Moggio Udinese - Altezza Idrometrica	0.82 18/05/2015 18:00	0.82 18/05/2015 18:00	0.82 21/05/2015 00:00	0.82 18/05/2015 18:00	1.83 21/05/2015 04:30			
Tagliamento a Venezia - Altezza Idrometrica	-0.09 18/05/2015 18:00	-0.09 18/05/2015 18:00	0.13 21/05/2015 00:00	-0.09 18/05/2015 18:00	2.53 21/05/2015 02:00	1.9	3.2	3.8
Tagliamento a Villuzza - Altezza Idrometrica	0.28 18/05/2015 18:00	0.28 18/05/2015 18:00	0.32 21/05/2015 00:00	0.28 18/05/2015 18:00	2.63 21/05/2015 05:30			
Tagliamento a Madsio - Altezza Idrometrica	1.13 18/05/2015 18:00	1.13 18/05/2015 18:00	1.13 18/05/2015 18:00	1.13 18/05/2015 18:00	4.37 21/05/2015 11:00	3.4	4.6	5.4
Tagliamento a Latisana - Altezza Idrometrica	0.72 18/05/2015 22:30	0.72 18/05/2015 22:30	0.72 18/05/2015 22:30	0.72 18/05/2015 22:30	5.39 21/05/2015 17:00	5.4	7.2	8.7
Fella a Moggio Udinese - Portata	20.94 18/05/2015 18:00	20.94 18/05/2015 18:00	21.06 21/05/2015 00:00	20.94 18/05/2015 18:00	243.20 21/05/2015 04:30			
Tagliamento a Ponte Aves - Portata	41.44 18/05/2015 18:00	41.44 18/05/2015 18:00	87.11 21/05/2015 00:00	41.44 18/05/2015 18:00	885.71 21/05/2015 00:00			
Tagliamento a Bressana - Portata	71.26 18/05/2015 18:00	71.26 18/05/2015 18:00	92.65 21/05/2015 00:00	71.26 18/05/2015 18:00	1122.60 21/05/2015 02:30			
Tagliamento a Villuzza - Portata	85.35 18/05/2015 18:00	85.35 18/05/2015 18:00	93.22 21/05/2015 00:00	85.35 18/05/2015 18:00	1238.42 21/05/2015 05:30			
Tagliamento a Latisana - Portata	100.01 19/05/2015 02:00	100.01 19/05/2015 02:00	100.02 19/05/2015 02:00	100.01 19/05/2015 02:00	1002.74 21/05/2015 16:00			

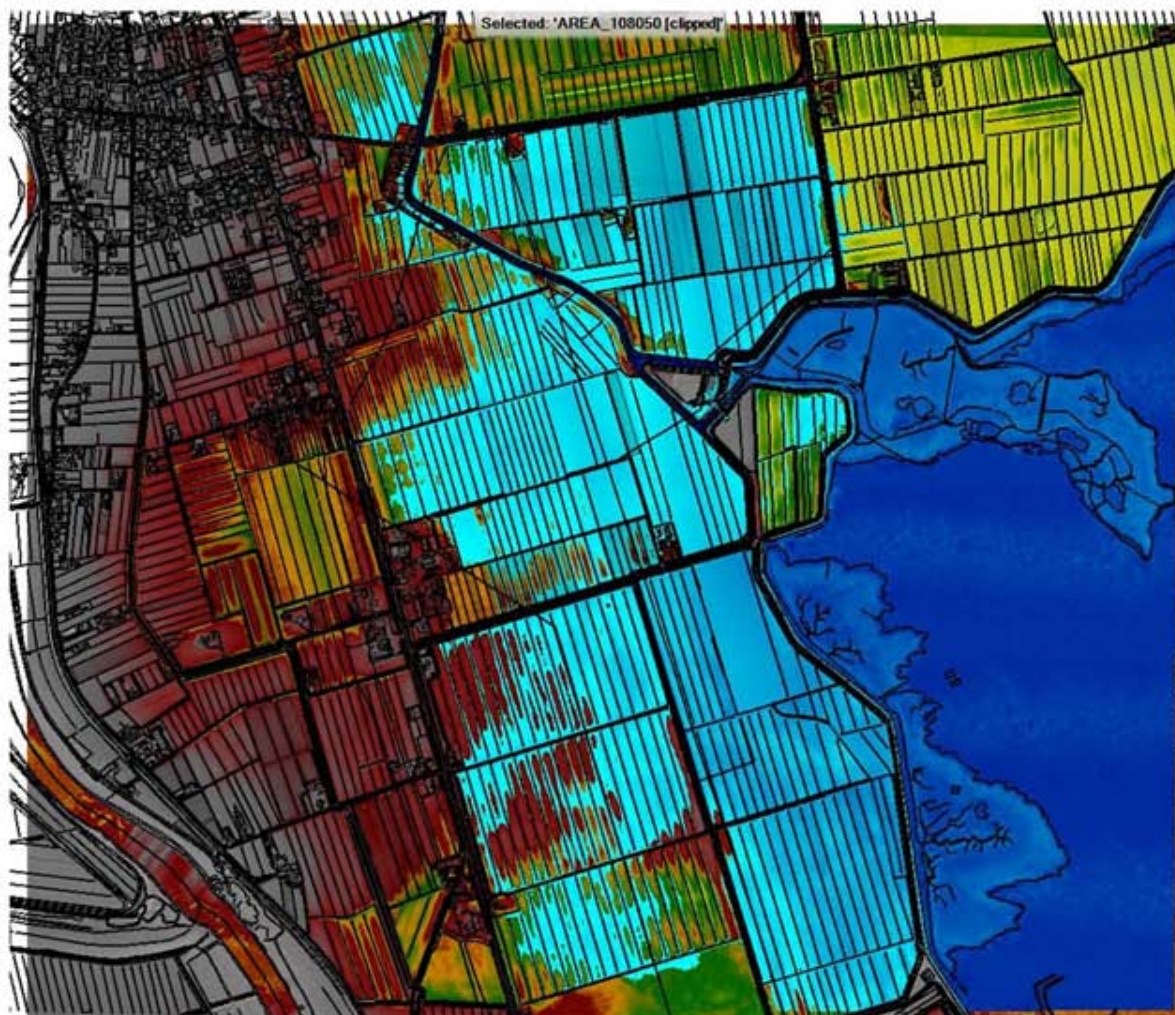
Legenda	
Attenzione	I
Preallarme	II
Stato	III



Simulazione marea: Grado



Rotture arginali: Pertegada



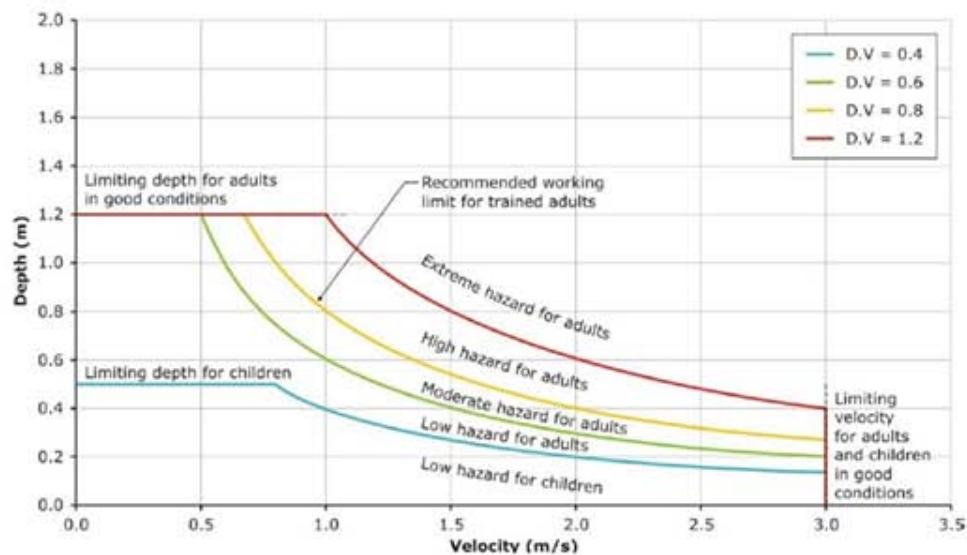
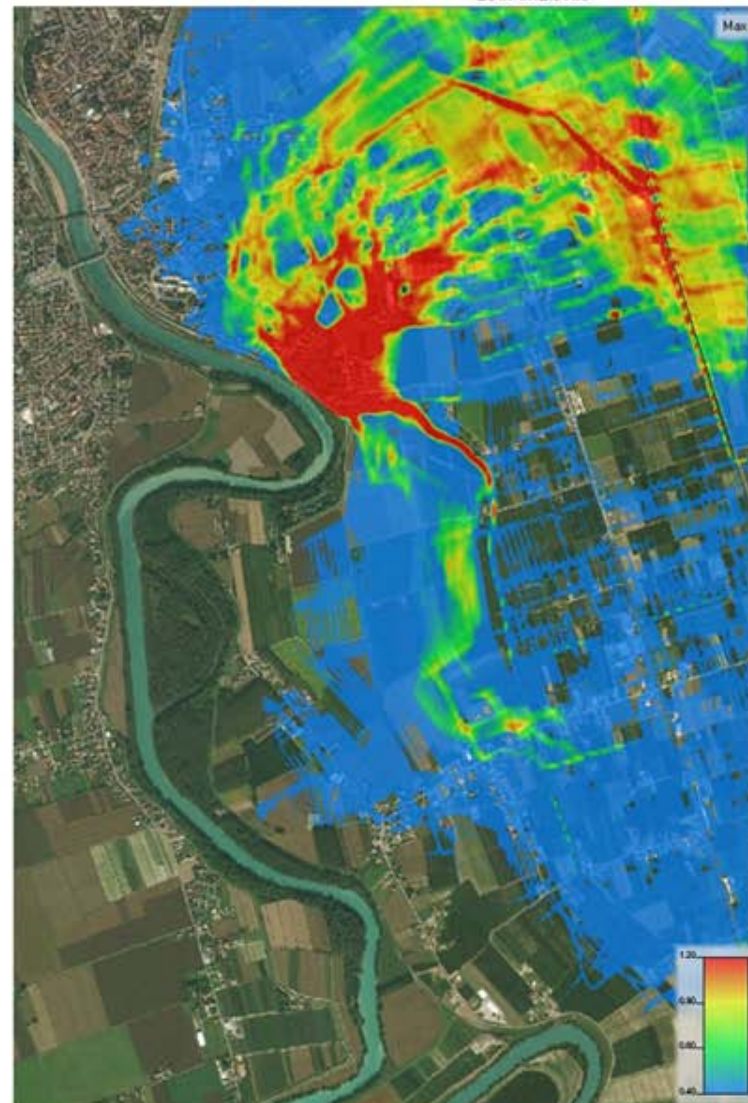


Figure 4: Thresholds for People Stability in Floods (After Cox *et al.*, 2010)



Il centro di calcolo regionale: una risorsa dedicata

Centro Regionale di Modellistica Ambientale

Dario B. Giaiotti

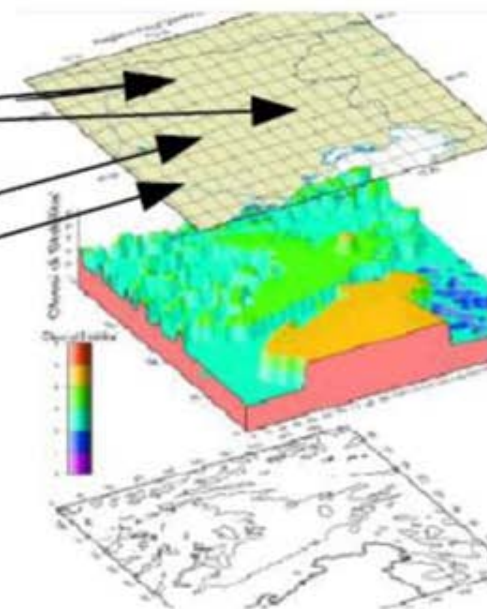
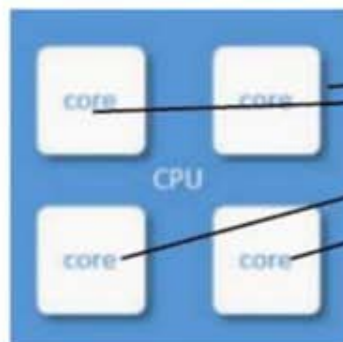
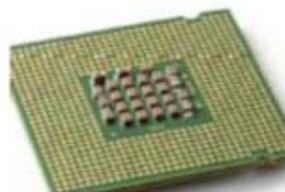
26 novembre 2020

Sommario

- Il calcolo ad alte performance, oggi.
- Il centro di calcolo di ARPA FVG
- Modelli di realtà e simulazioni modellistiche
- Complessità della realtà
- Interpretazione delle simulazioni modellistiche

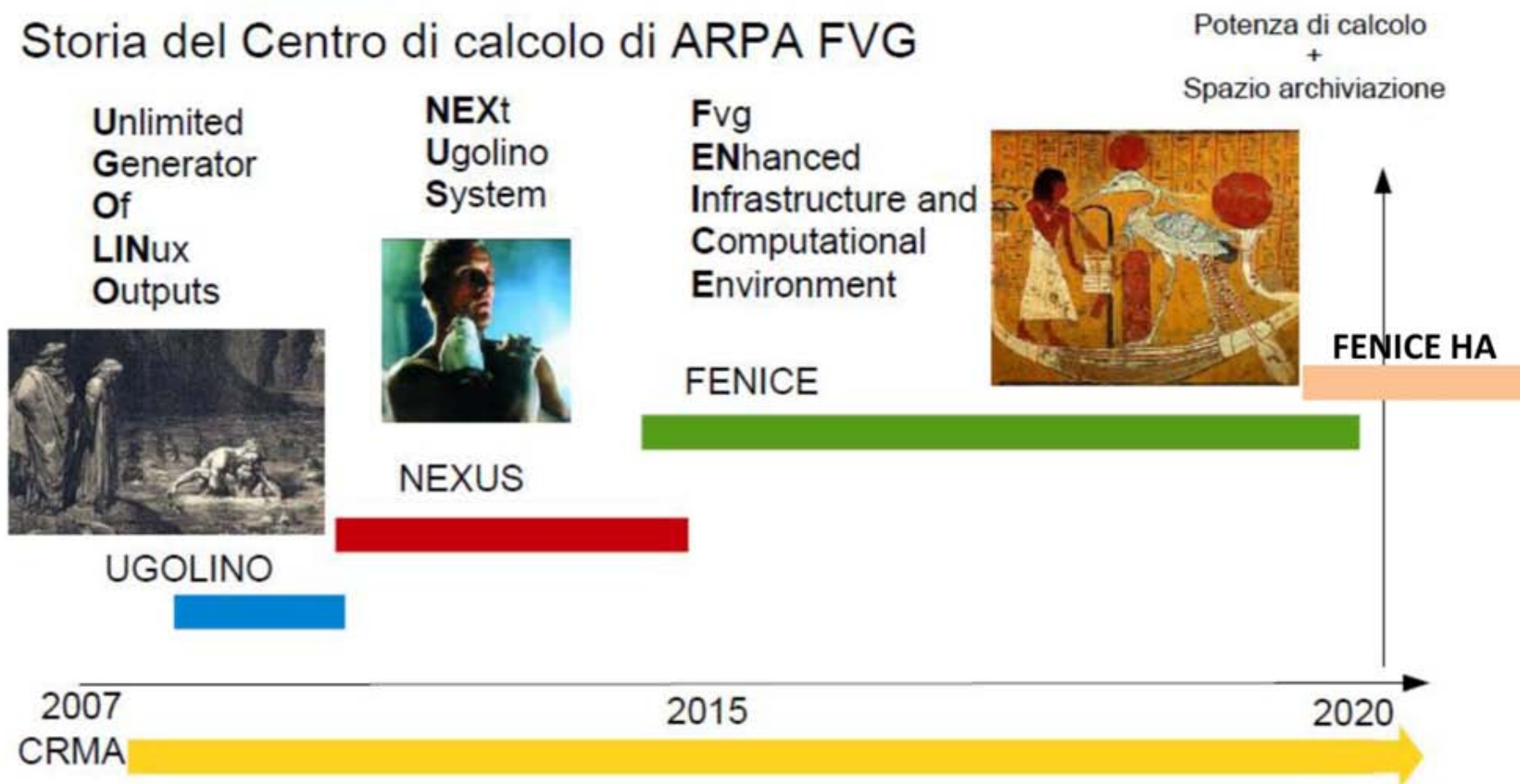
Il calcolo parallelo: la tecnica moderna per il supercalcolo

Unità di calcolo
CPU multicore



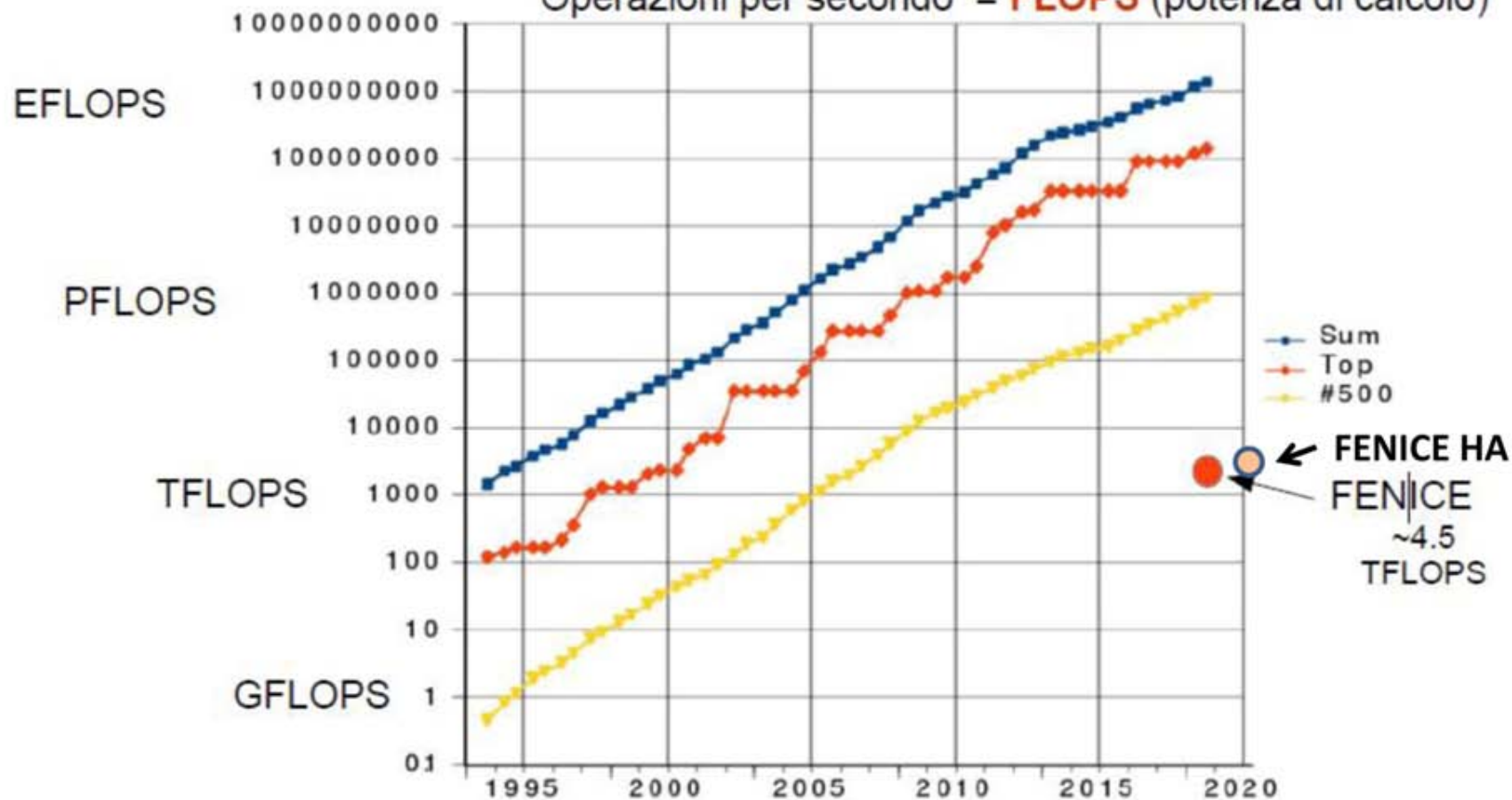
Molte unità di calcolo multicore = cluster di calcolo
 Core x Ore di calcolo = quantità risorsa utilizzata

Storia del Centro di calcolo di ARPA FVG



La FENICE a confronto con altri centri di calcolo (i Top 500)

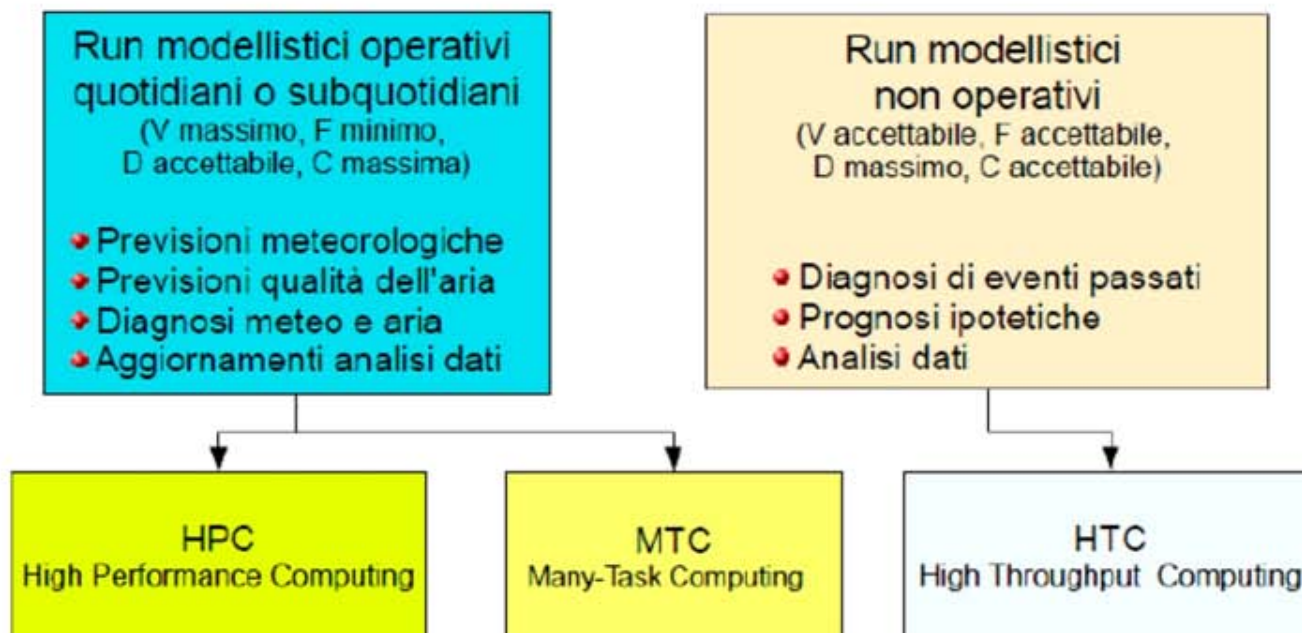
Operazioni per secondo = **FLOPS** (potenza di calcolo)



Non tutte le simulazioni si gestiscono allo stesso modo

Ci sono due classi di simulazioni che si distinguono per le seguenti caratteristiche:

- V = velocità di esecuzione
- D = spazio archiviazione
- F = probabilità di fallimento
- C = connessioni esterne e interne



Classificazione del calcolo intensivo (cifre indicative di una struttura minimale)

HPC

High Performance Computing

90 ore cpu/run giornaliero
(180 ore cpu/run giornaliero)

Fallimenti: 1-2 anno
Connessioni 1GB/ora

Spazio archivio 100MB/giorno

Previsioni meteorologiche
Previsioni qualità aria online

MTC

Many-Task Computing

150 ore cpu/run giornaliero
(250 ore cpu/run giornaliero)

Fallimenti: 1-2 anno
Connessioni 1GB/ora

Spazio archivio 1GB/giorno

Previsioni qualità aria offline
Diagnosi operativa
Analisi dati operativa

HTC

High Throughput Computing

5000 ore cpu/run annuale
(40000 ore cpu/run annuale)

Fallimenti: 10-50 anno
Connessioni 5TB/anno

Spazio archivio 1TB/anno

Diagnosi eventi passati
Prognosi ipotetiche
Analisi dati

Quid est veritas? (Ponzio Pilato - Vangelo secondo Giovanni 18:38)

Noi possiamo solo eseguire delle verifiche parziali della congruenza dei nostri modelli con la realtà



elaborazione
informazioni



modello di realtà

Quid est veritas? (Ponzio Pilato - Vangelo secondo Giovanni 18:38)

Noi possiamo solo eseguire delle verifiche parziali della congruenza dei nostri modelli con la realtà

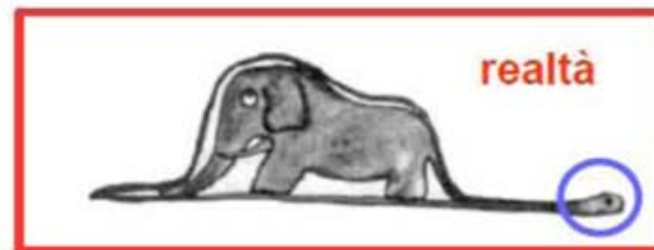


interazione con
la realtà



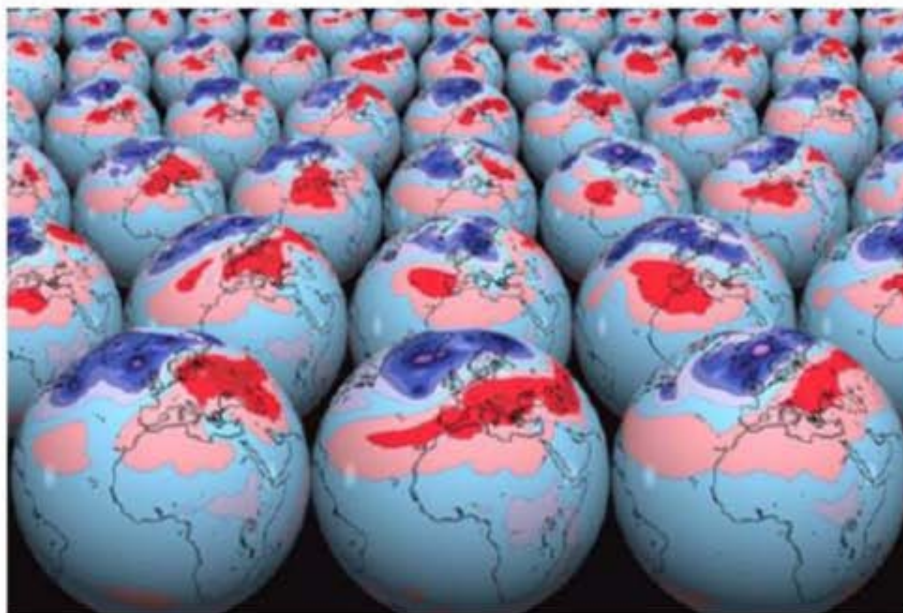
elaborazione
informazioni

modello di realtà

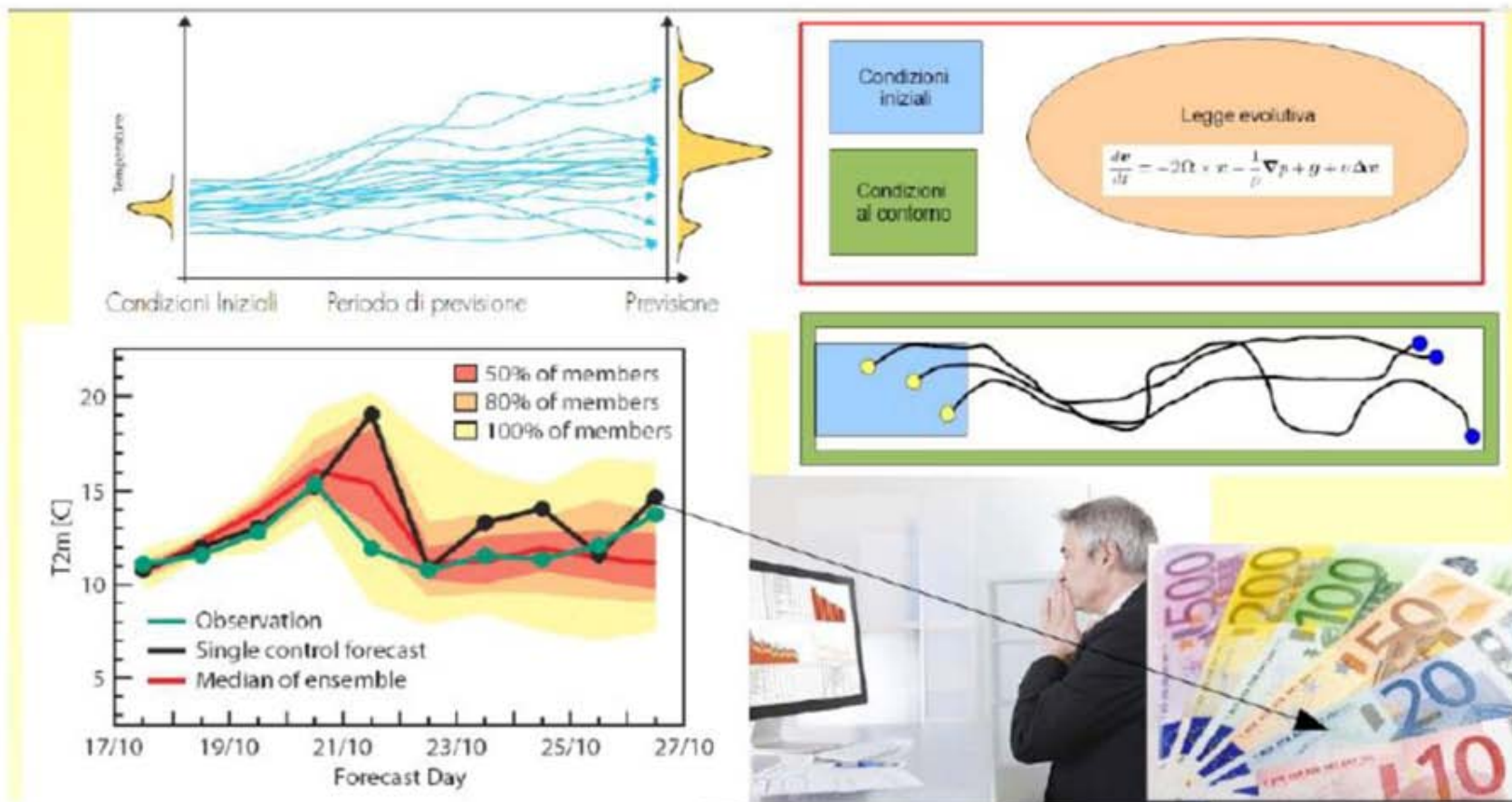


Il calcolo intensivo ci permette di replicare le simulazioni

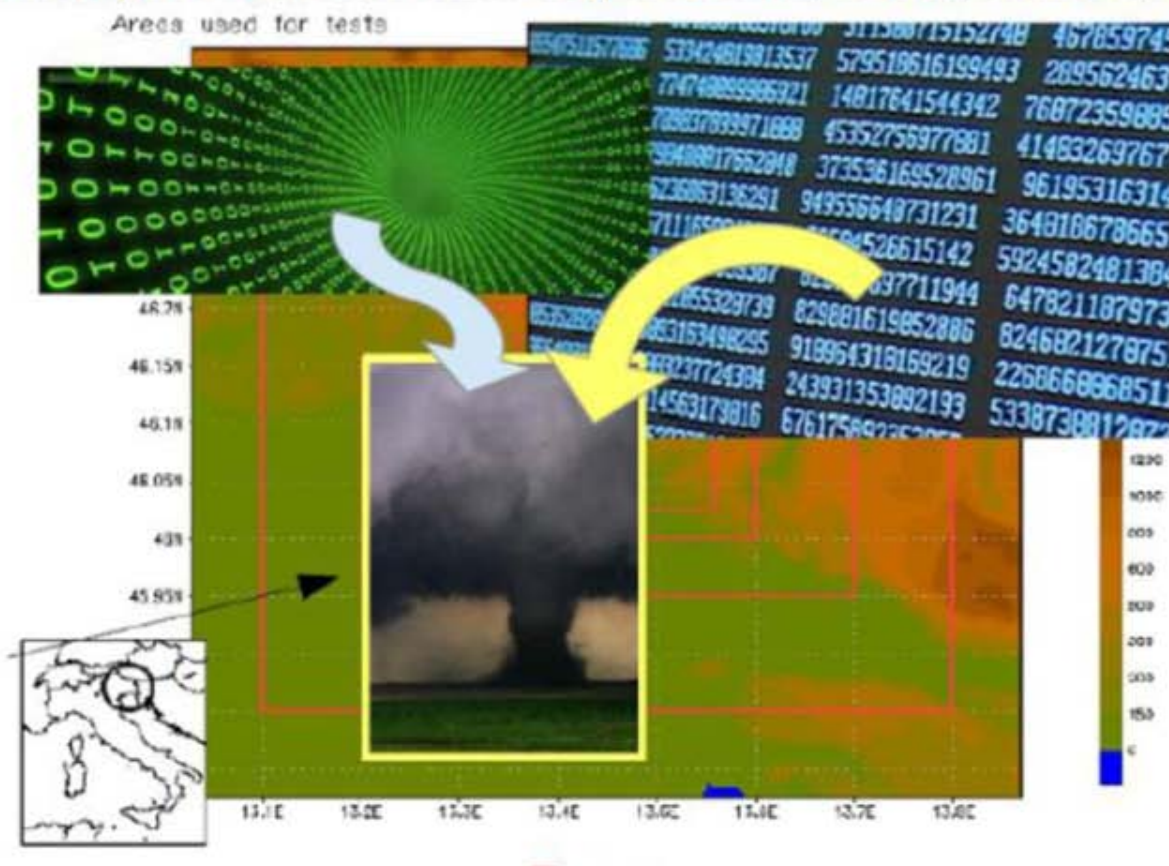
Esecuzione di **50 simulazioni identiche ma con condizioni iniziali e parametrizzazione leggermente perturbate**. Si ottengono 50 output diversi da cui si cerca di estrarre informazioni sulla predicibilità



Per i sistemi complessi: una sola simulazione è poco utile



Molto spesso le informazioni cercate sono immerse nei file
 (Il quarto paradigma della scienza: esperimento, teoria, calcolo, data mining)



Conclusioni

Il centro di calcolo regionale è una risorsa:

- ☐ dedicata all'ambiente del Friuli Venezia Giulia
- ☐ consente l'uso di modelli sofisticati che simulano la realtà
- ☐ permette di estrarre informazioni da grandi volumi di dati in tempi brevi
- ☐ realizza scenari evolutivi di sistemi complessi
- ☐ supporta oggettivamente scelte e pianificazioni

La modellistica marina: la fisica del mare, la biochimica, la balneabilità

Centro Regionale di Modellistica Ambientale

Dario B. Giaiotti

26 novembre 2020

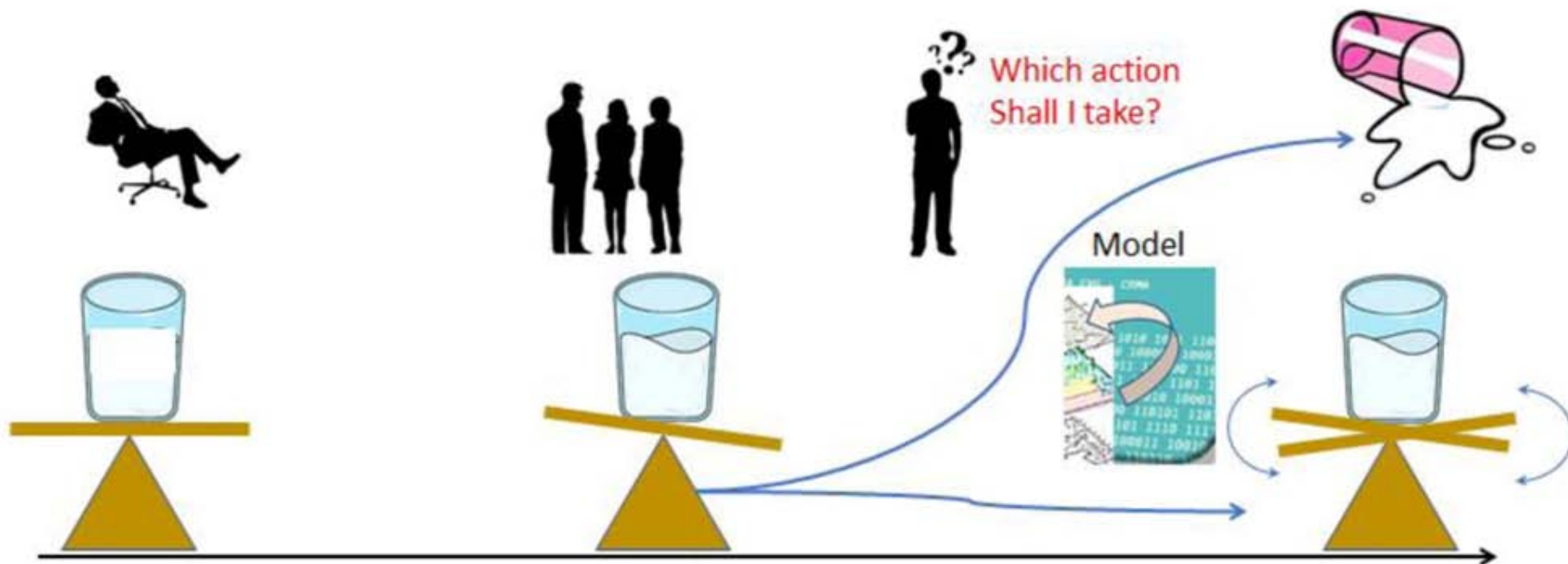
I motivi per cui l'ambiente marino sano è una risorsa

-  Sede di biodiversità
-  Risorsa economica
-  Risorsa turistica
-  Risorsa storica



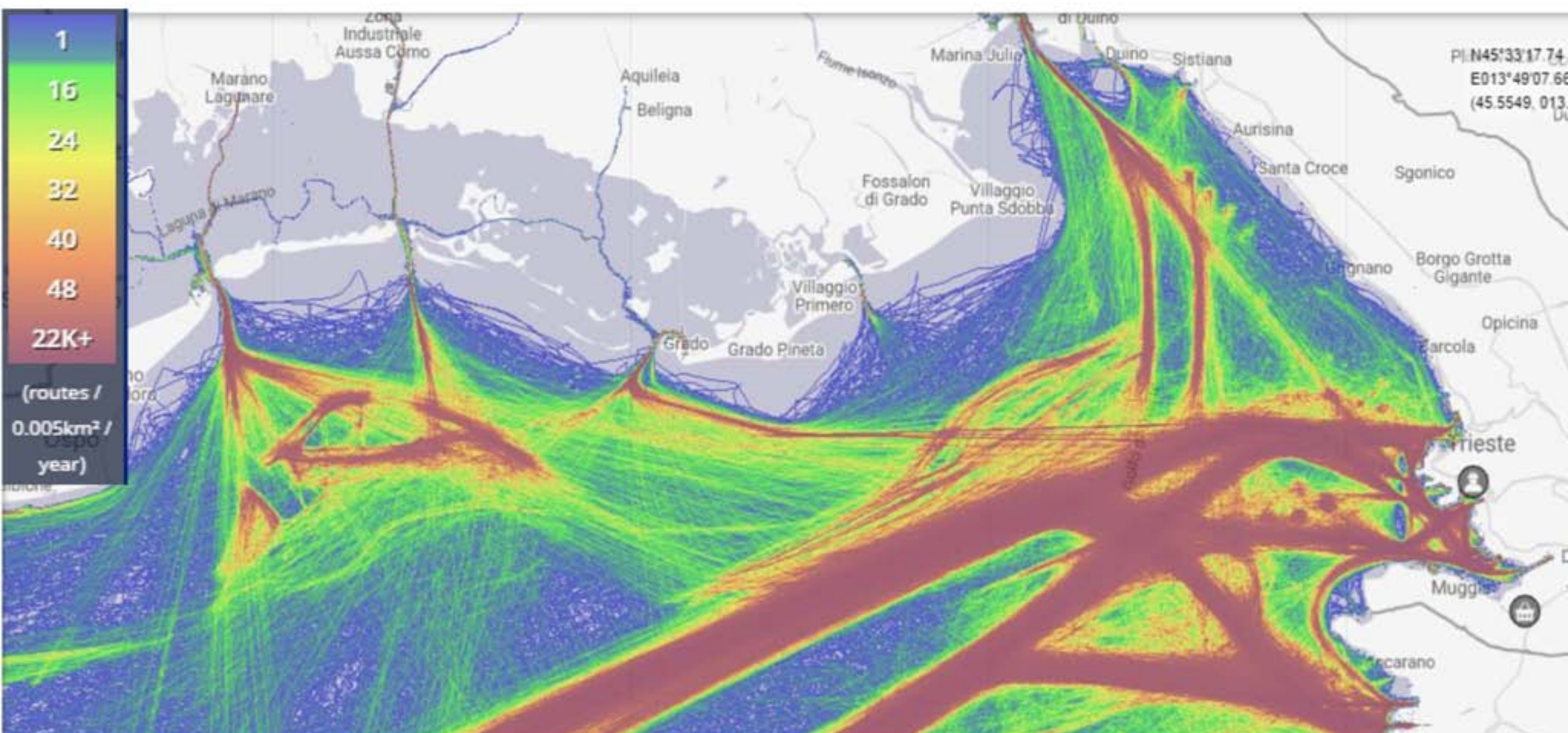
Perché è importante realizzare modelli che simulano lo stato del mare?

- I modelli simulano lo stato di un sistema
- I modelli prognostici simulano anche l'evoluzione del sistema.



Esempio di pressione ambientale

Dettaglio del traffico navale nel mare di competenza della Regione Friuli Venezia Giulia



Esempio di sistema vulnerabile ed esposto alle pressioni

I siti ambientali di rilevanza comunitaria (NATURA 2000) sulle coste ed il mare del Friuli Venezia Giulia

Birds Directive Sites (SPA)

Laguna di Marano e Grado (SiteCode: IT3320037)

 Area: 16.368,99 ha




 Natura 2000 Network Viewer

Habitats Directive Sites (pSCI, SCI or SAC)

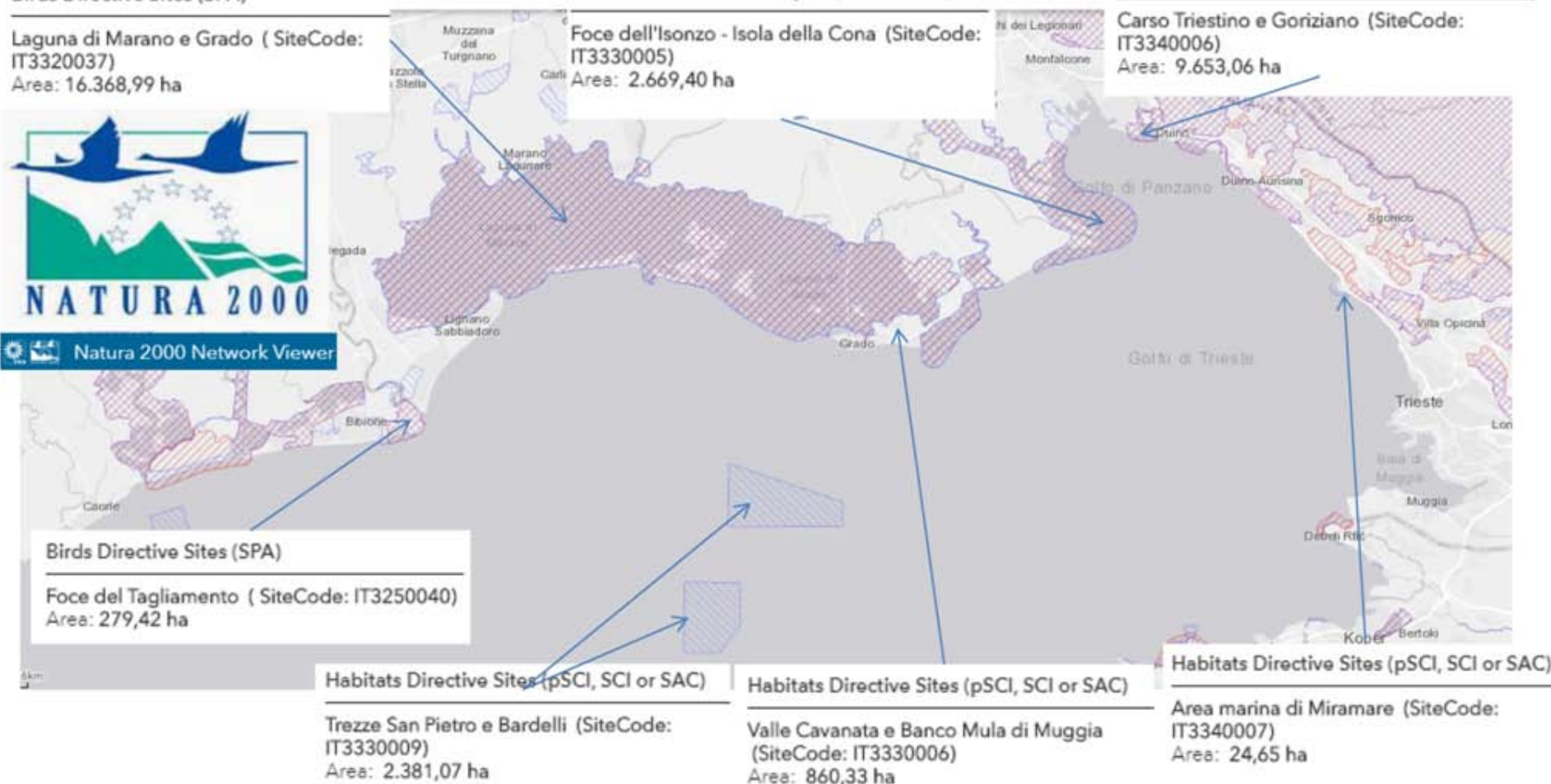
Foce dell'Isonzo - Isola della Cona (SiteCode: IT3330005)

 Area: 2.669,40 ha

Habitats Directive Sites (pSCI, SCI or SAC)

Carso Triestino e Goriziano (SiteCode: IT3340006)

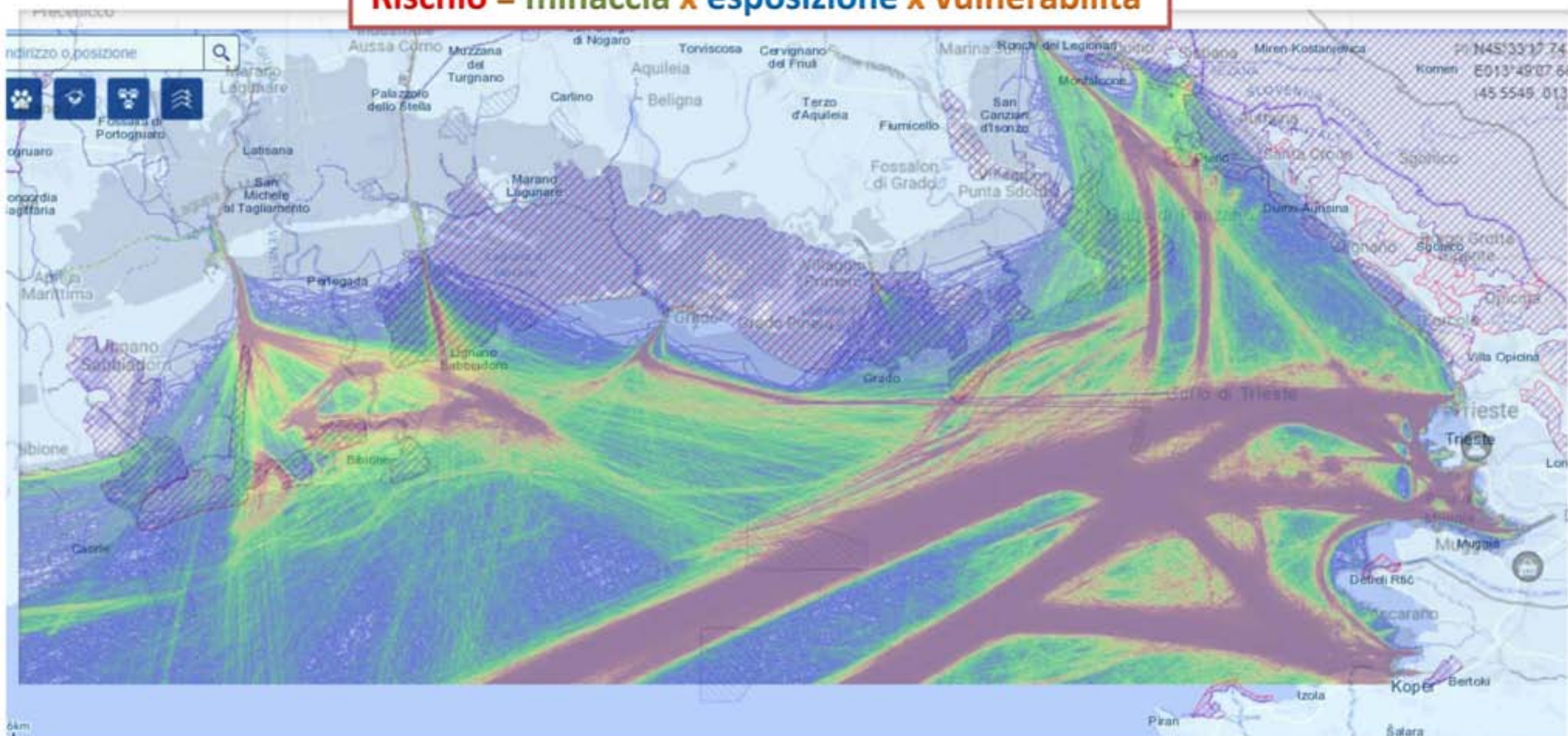
 Area: 9.653,06 ha



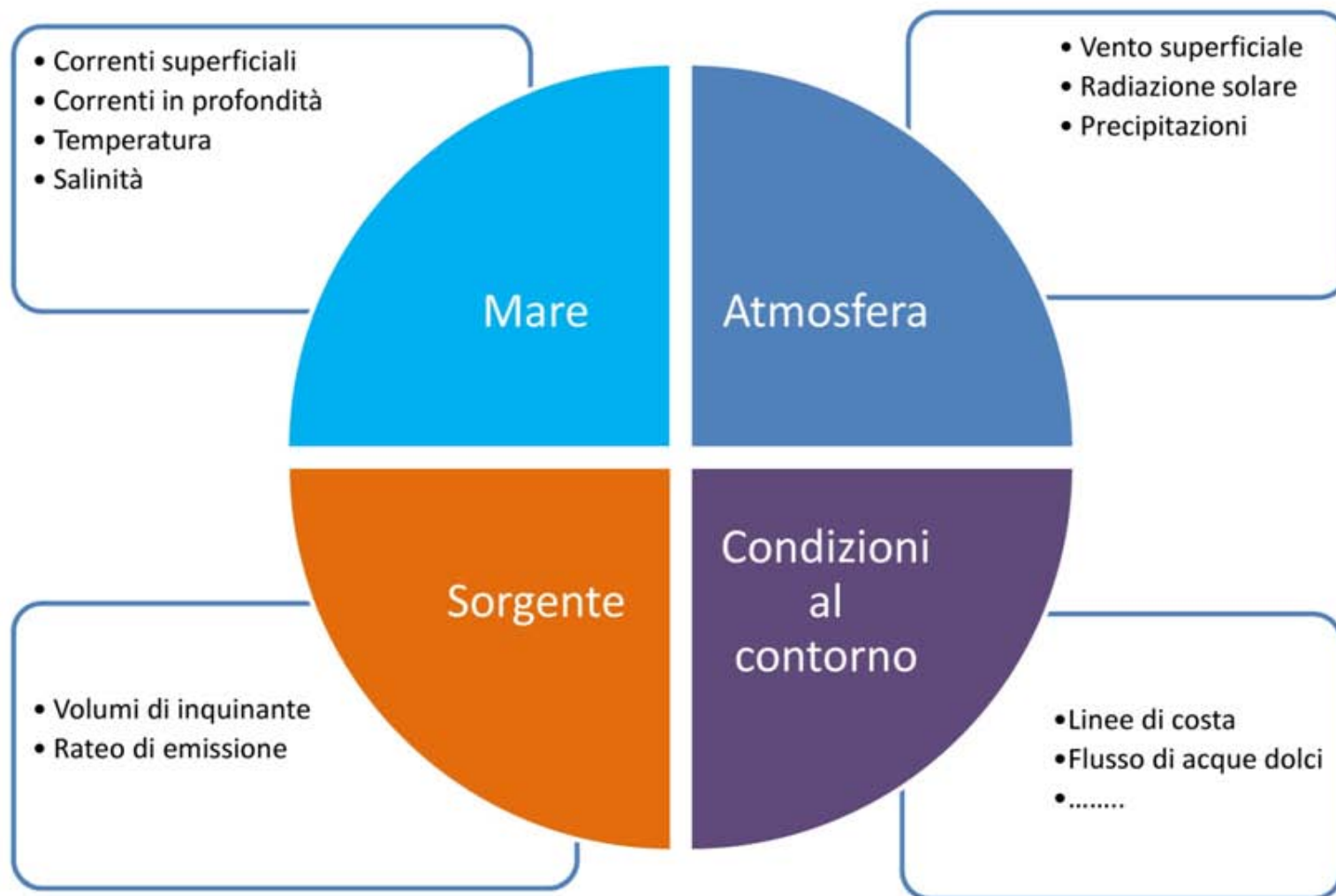
Esiste un rischio ambientale nelle acque del Friuli Venezia Giulia?

I modelli possono aiutare a rispondere alla domanda, a gestire le emergenze e a pianificare azioni.

Rischio = minaccia x esposizione x vulnerabilità



Elementi essenziali per la modellistica marina in caso di rilasci di inquinanti in mare

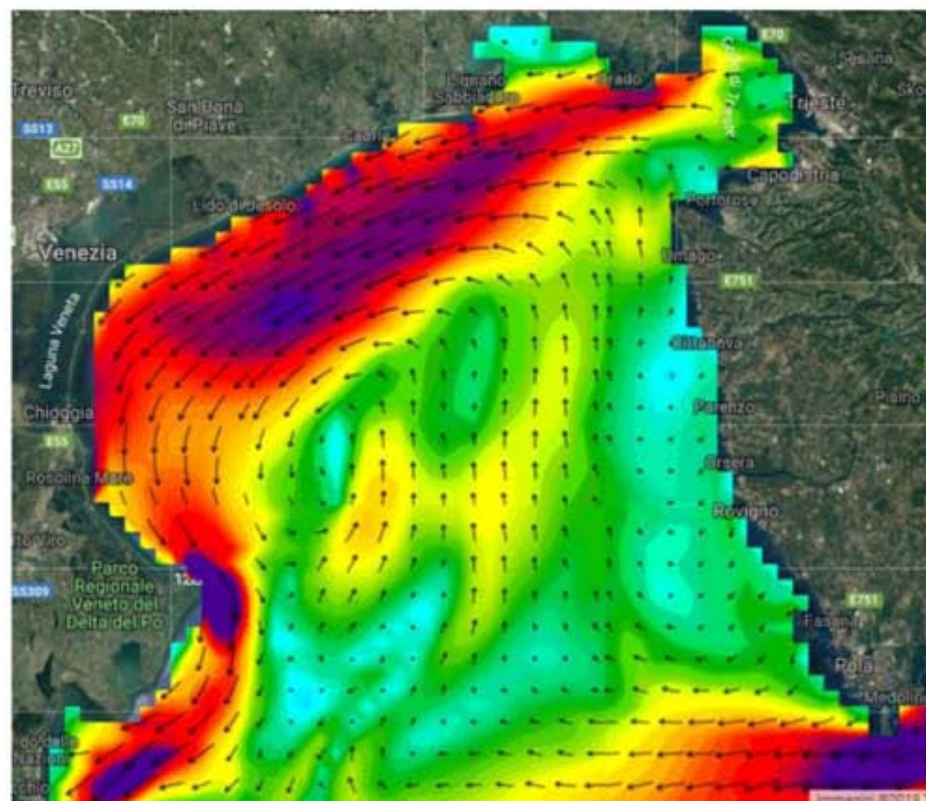


Aspetti importanti dello stato fisico e chimico del mare



Caratteristiche importanti :

- ☐ Risoluzione spaziale e temporale
- ☐ Estensione temporale delle previsioni
- ☐ Frequenza nell'aggiornamento delle previsioni

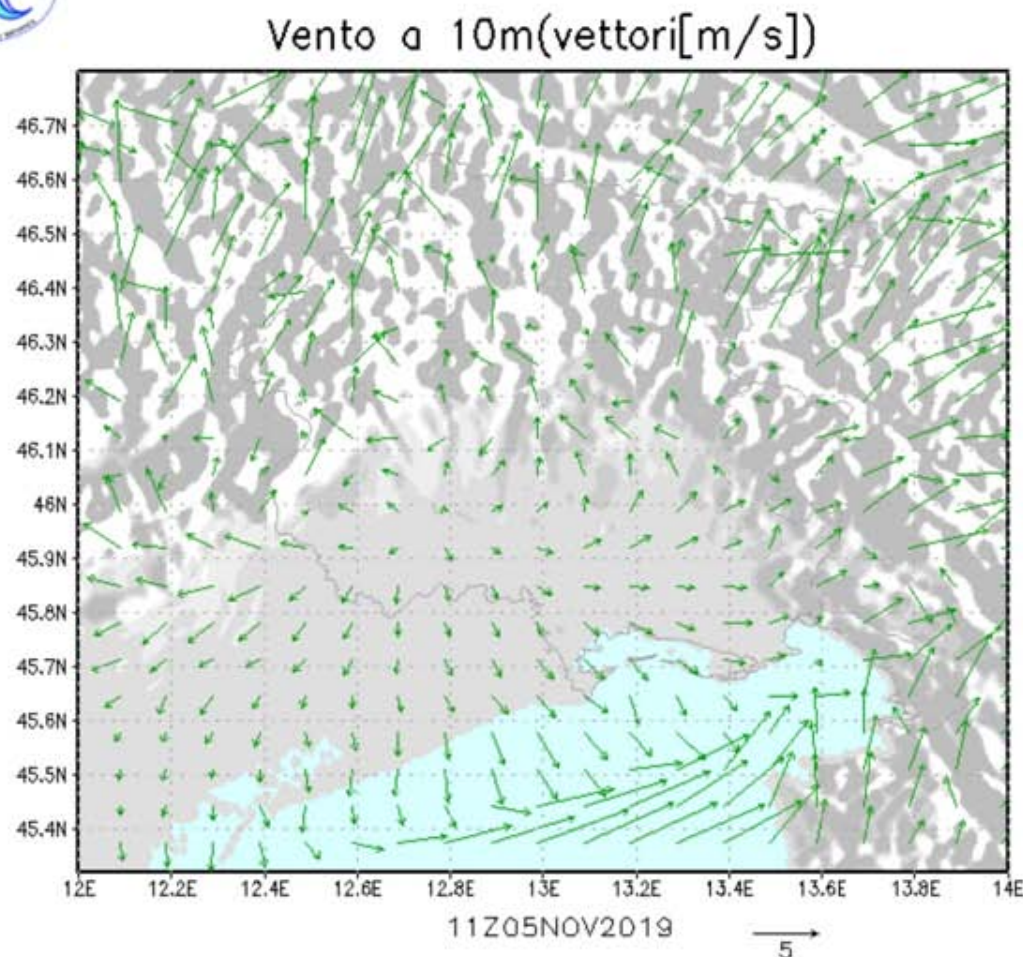


Aspetti importanti dello stato fisico e chimico del mare



Caratteristiche importanti :

- ☐ Risoluzione spaziale e temporale
- ☐ Estensione temporale delle previsioni
- ☐ Frequenza nell'aggiornamento delle previsioni



Le condizioni al contorno della simulazione



Caratteristiche importanti:

- ☐ Risoluzione spaziale
- ☐ Alcune sono costanti
- ☐ Alcune variano nel tempo

La sorgente dell'inquinante: alcuni esempi

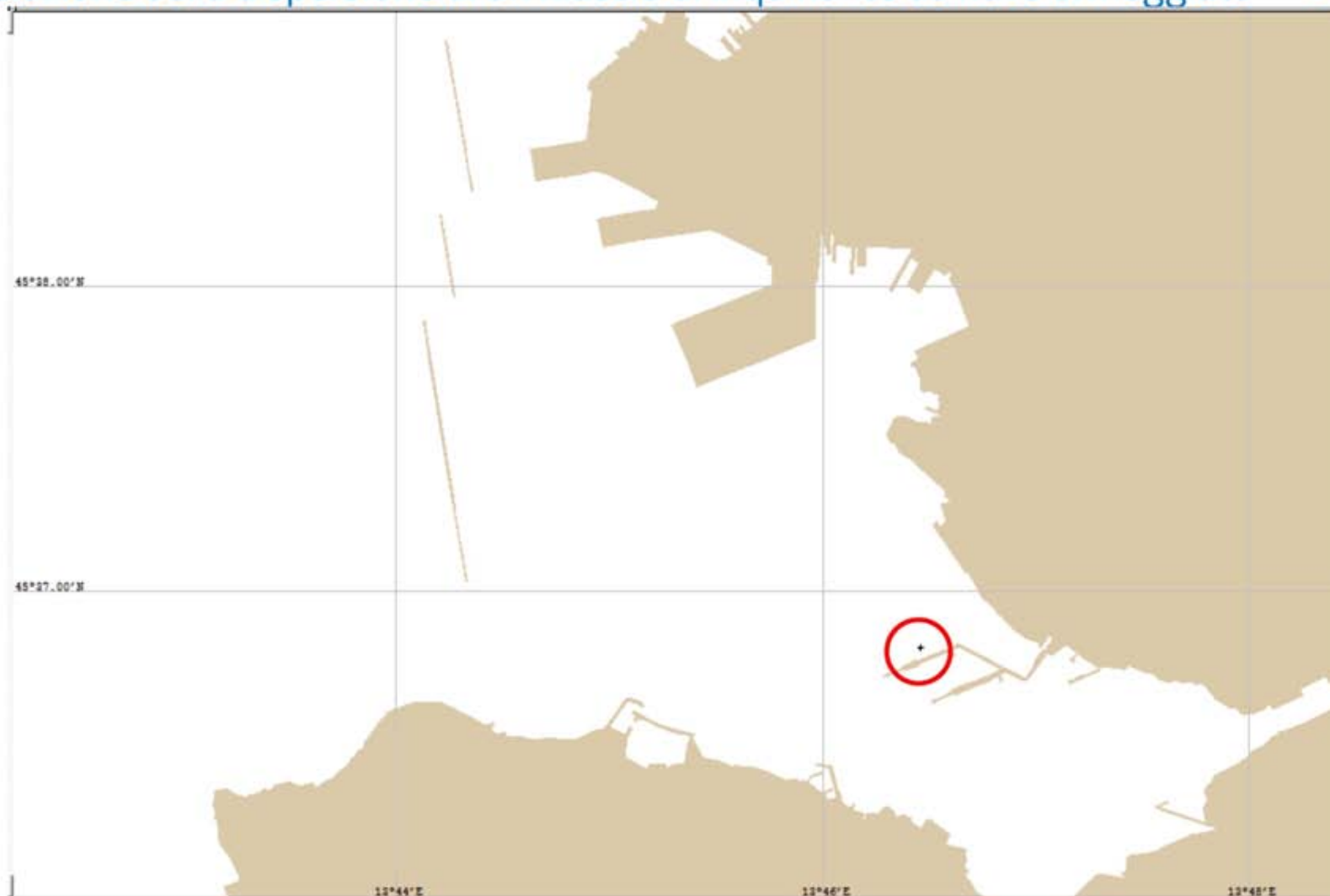
Sorgente

Caratteristiche importanti:

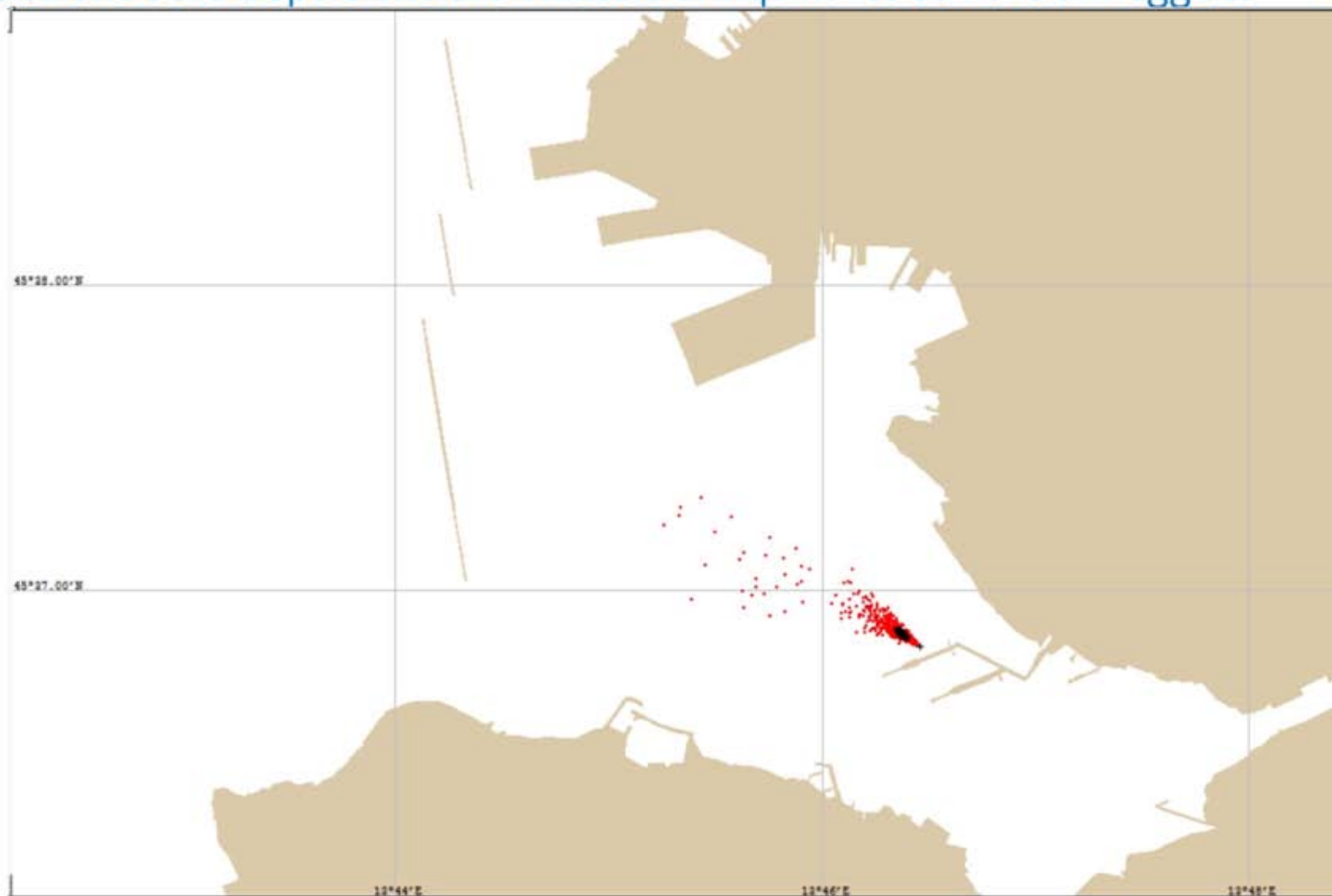
- ☐ Collocazione spazio-temporale
- ☐ Volumi o massa di inquinante
- ☐ Peculiarità dell'inquinante



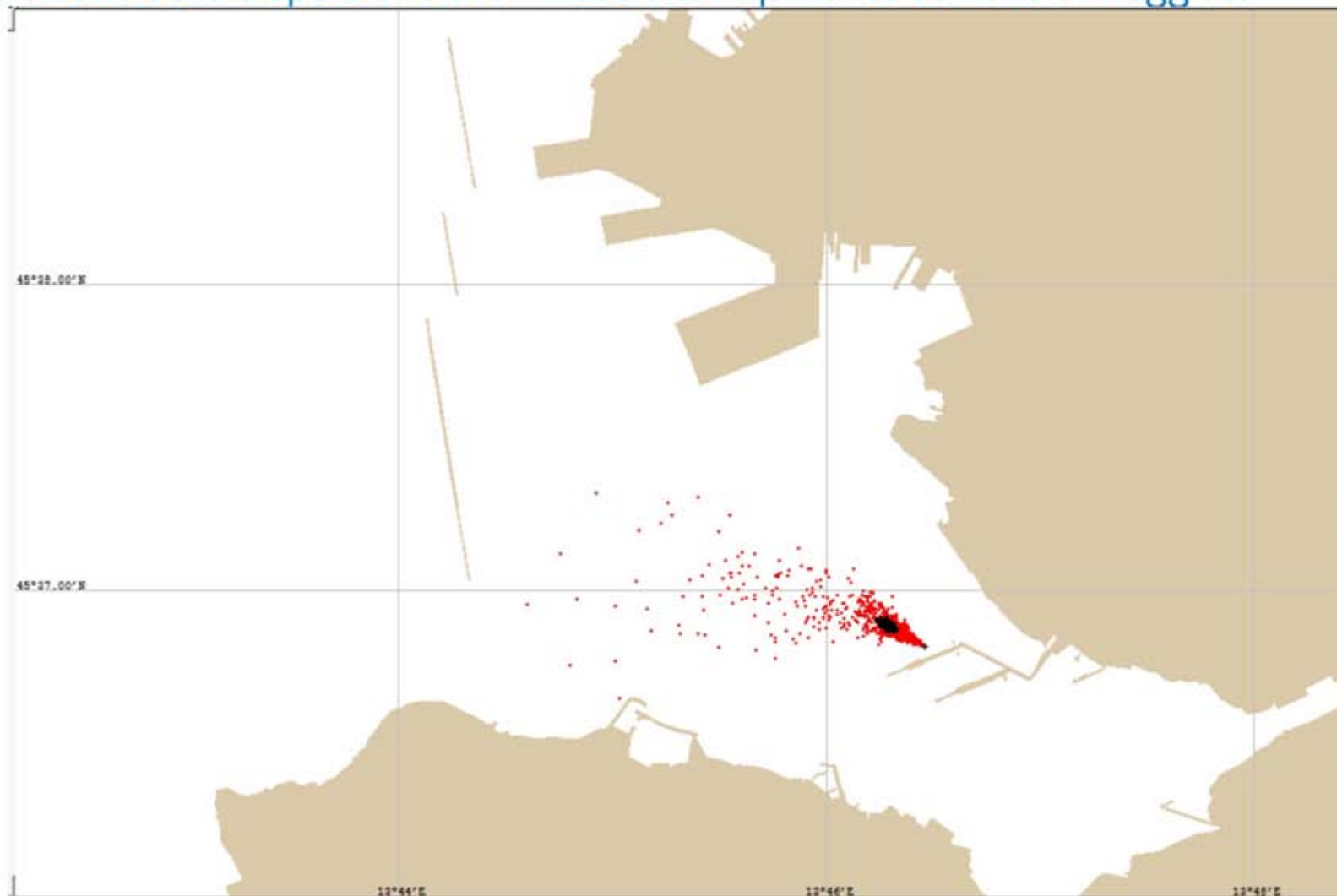
Simulazione della dispersione di un rilascio di inquinante da nave ormeggiata +00h



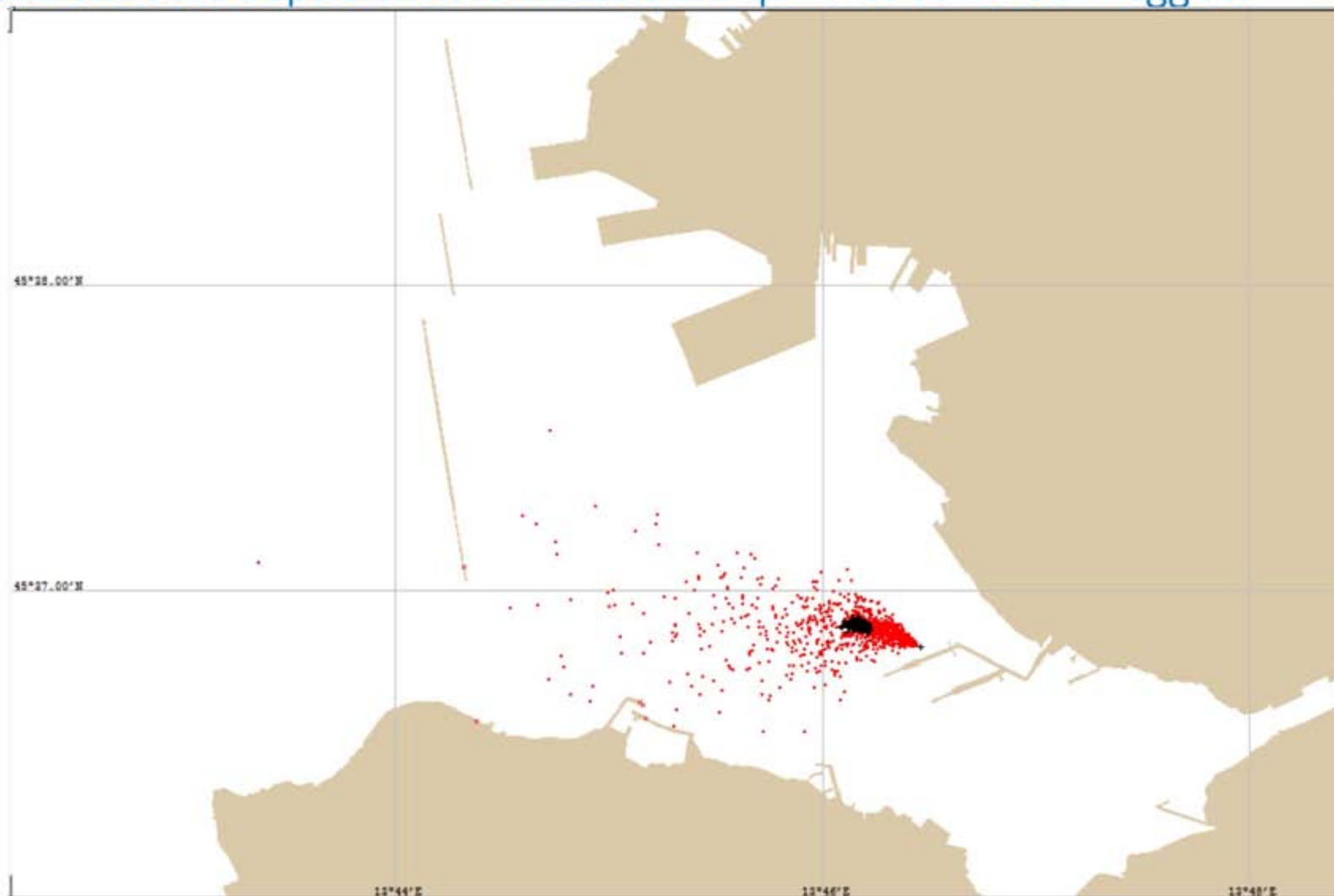
Simulazione della dispersione di un rilascio di inquinante da nave ormeggiata +03h



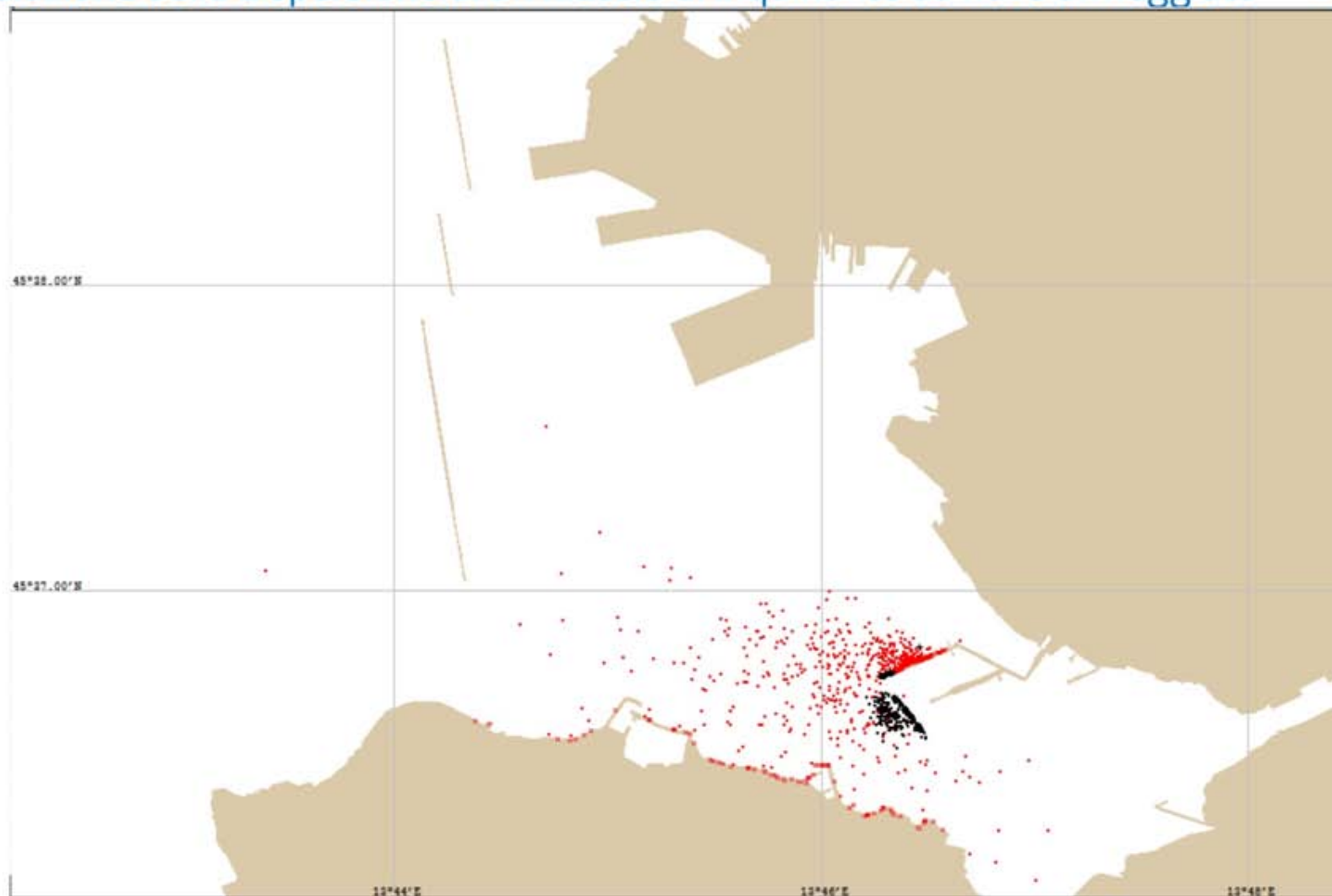
Simulazione della dispersione di un rilascio di inquinante da nave ormeggiata +06h



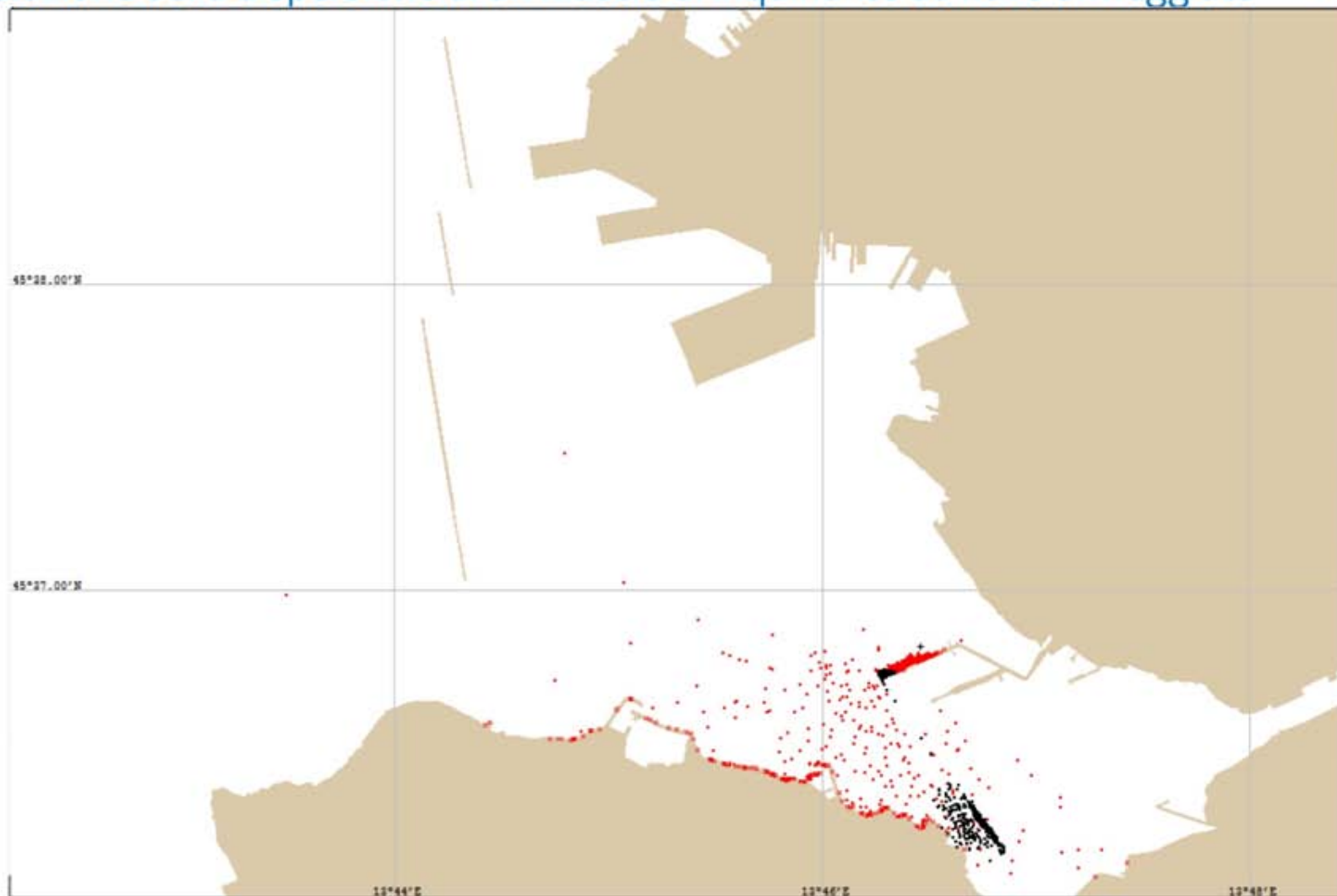
Simulazione della dispersione di un rilascio di inquinante da nave ormeggiata +09h



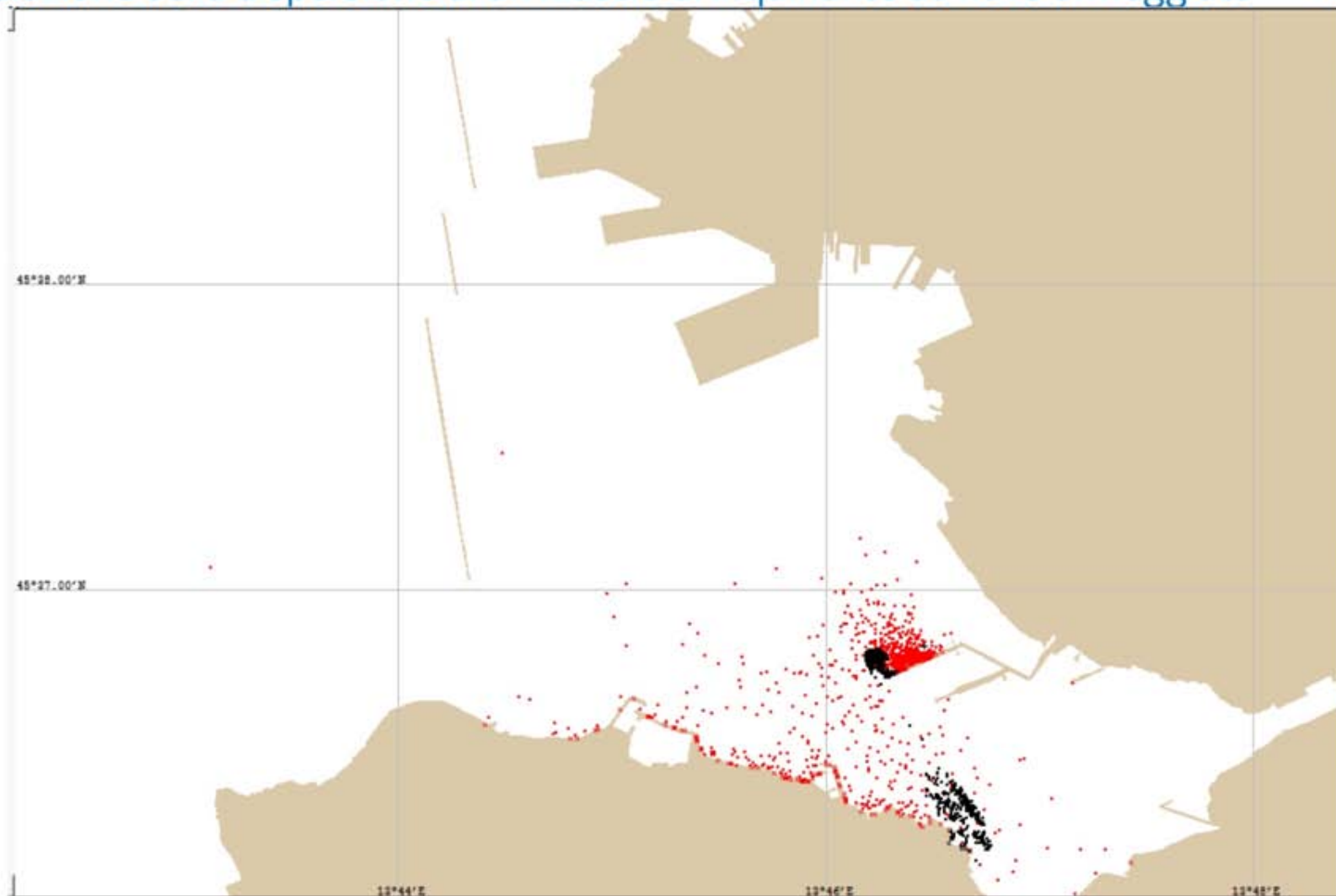
Simulazione della dispersione di un rilascio di inquinante da nave ormeggiata +12h



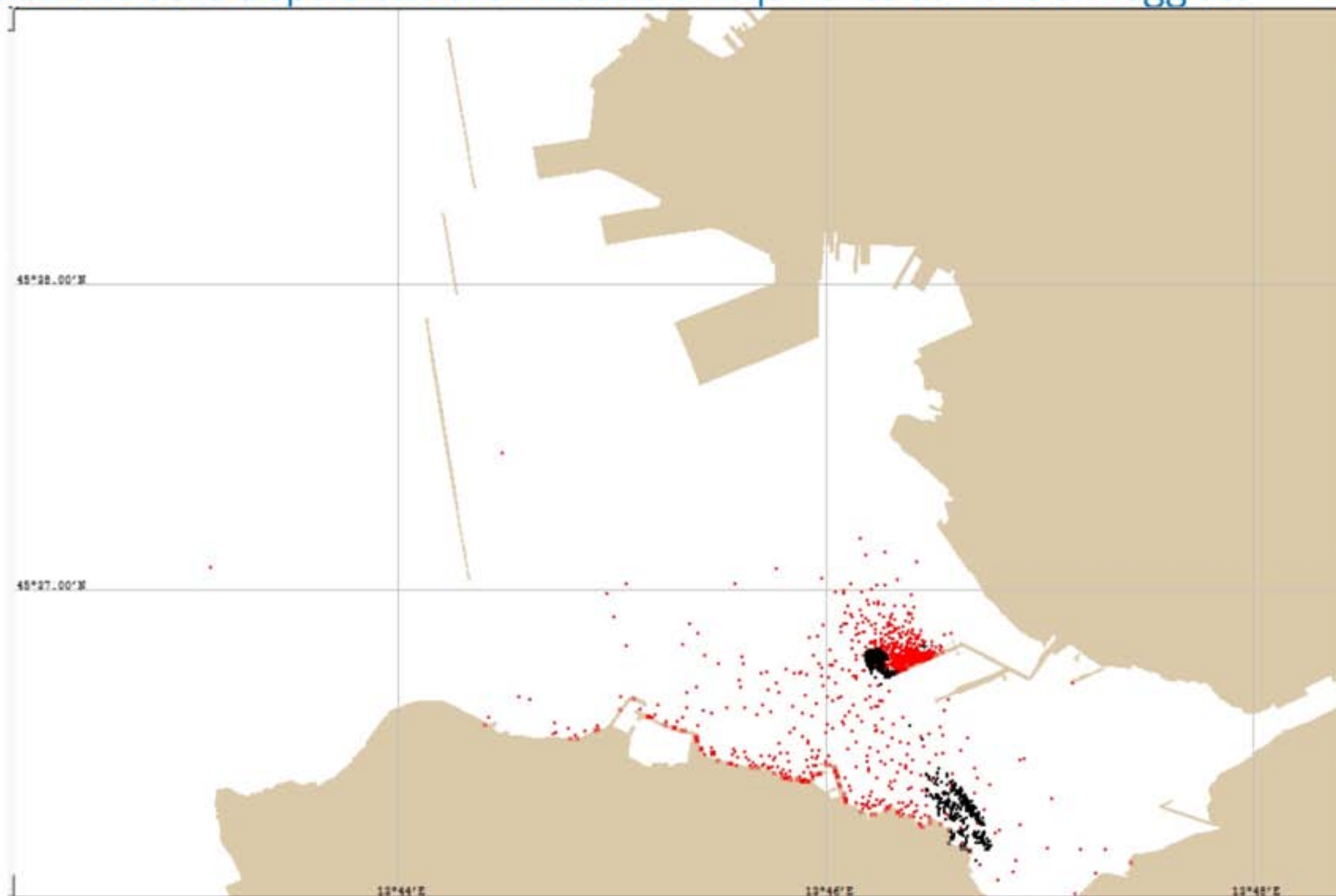
Simulazione della dispersione di un rilascio di inquinante da nave ormeggiata +15h



Simulazione della dispersione di un rilascio di inquinante da nave ormeggiata +18h



Simulazione della dispersione di un rilascio di inquinante da nave ormeggiata +21h



Conclusioni

La modellistica marina si occupa:

- ☐ dello stato del mare passato, presente e futuro: fisico, chimico, biologico
- ☐ della valutazione del rischio di impatti ambientali
- ☐ della pianificazione di azioni di prevenzione, rimedio, adattamento e mitigazione
- ☐ della gestione di situazioni di emergenza ambientale

La modellistica marina richiede:

- ☐ informazioni iniziali e al contorno su mare ed atmosfera
- ☐ informazioni sulle pressioni ambientali
- ☐ risorse di calcolo adeguate
- ☐ risorse umane preparare

Le emissioni in atmosfera

Petrini Alessandra

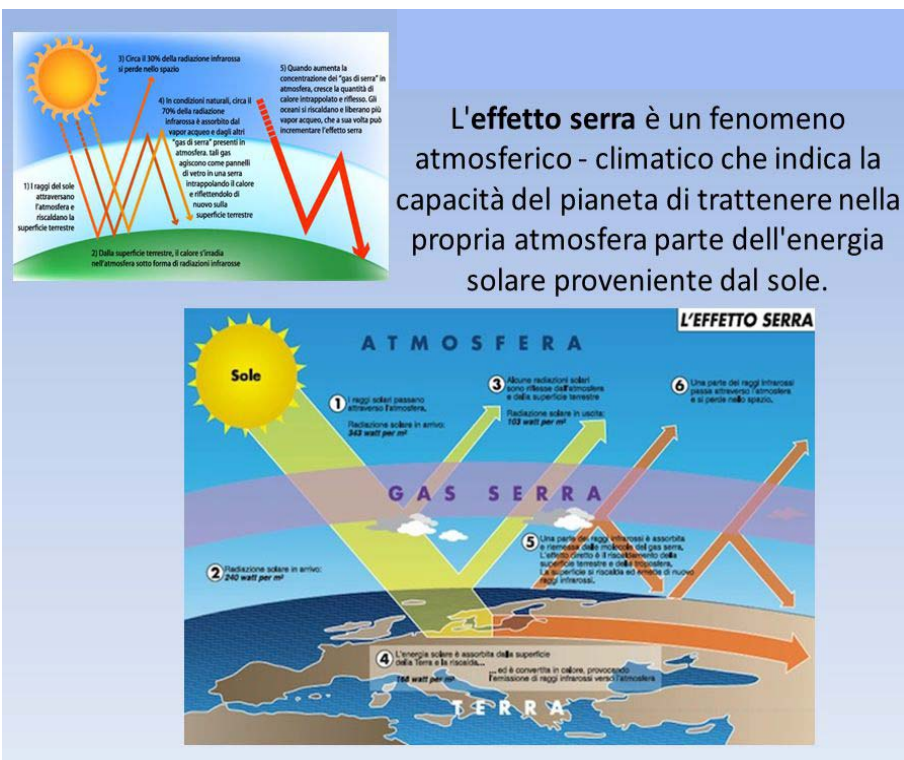
Centro Regionale di Modellistica Ambientale

Gas serra e qualità dell'aria:
spesso si fa confusione!

L' inquinamento atmosferico è

l'insieme di tutti gli agenti fisici, chimici e biologici che modificano le caratteristiche naturali dell'atmosfera terrestre

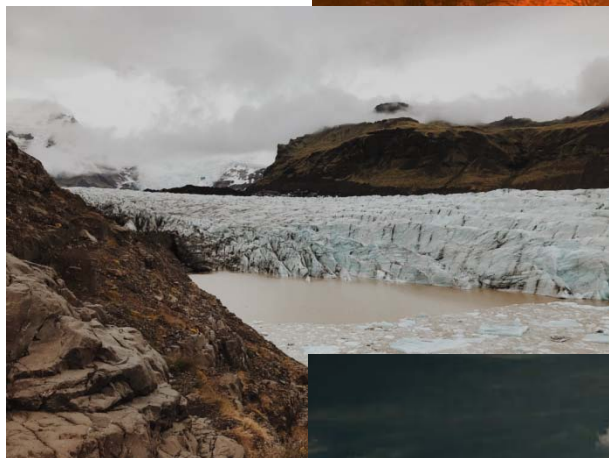
GAS CLIMA ALTERANTI



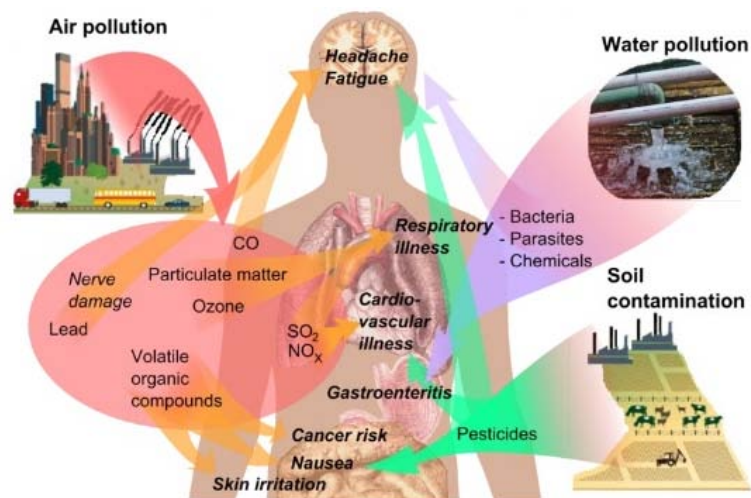
QUALITA' DELL'ARIA



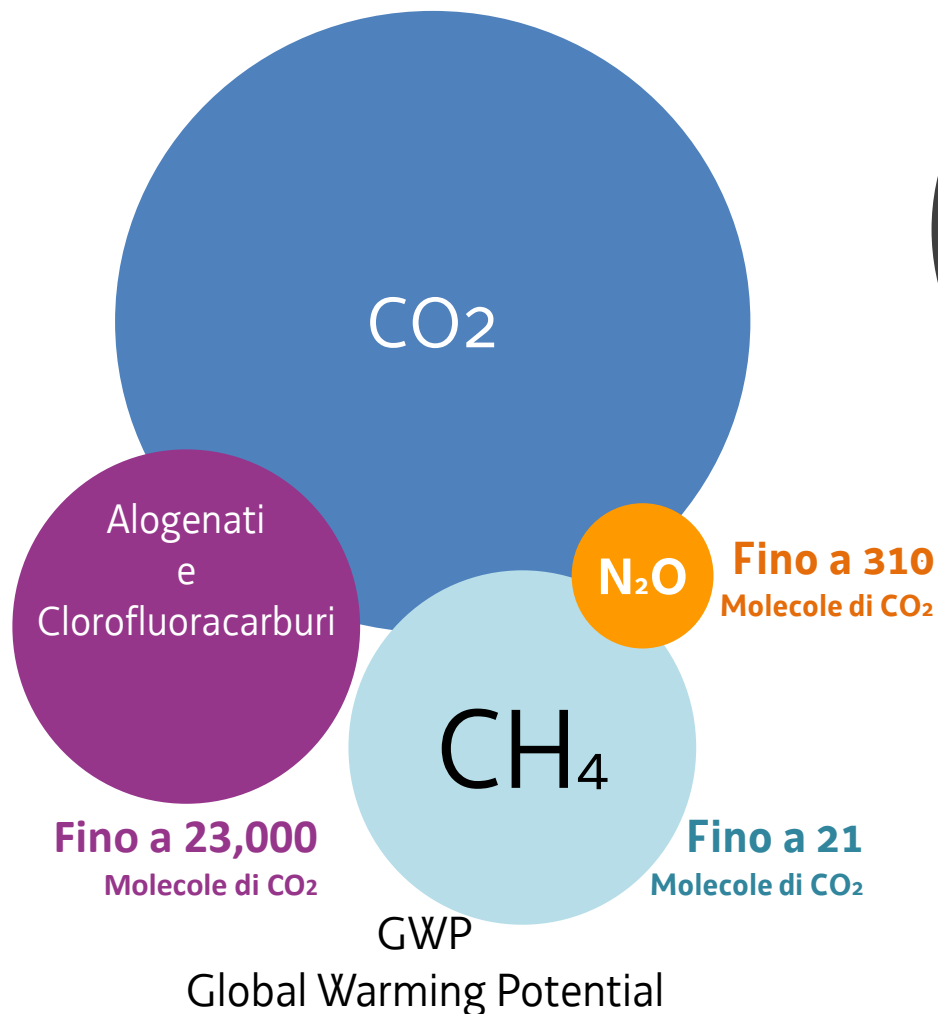
GAS CLIMA ALTERANTI



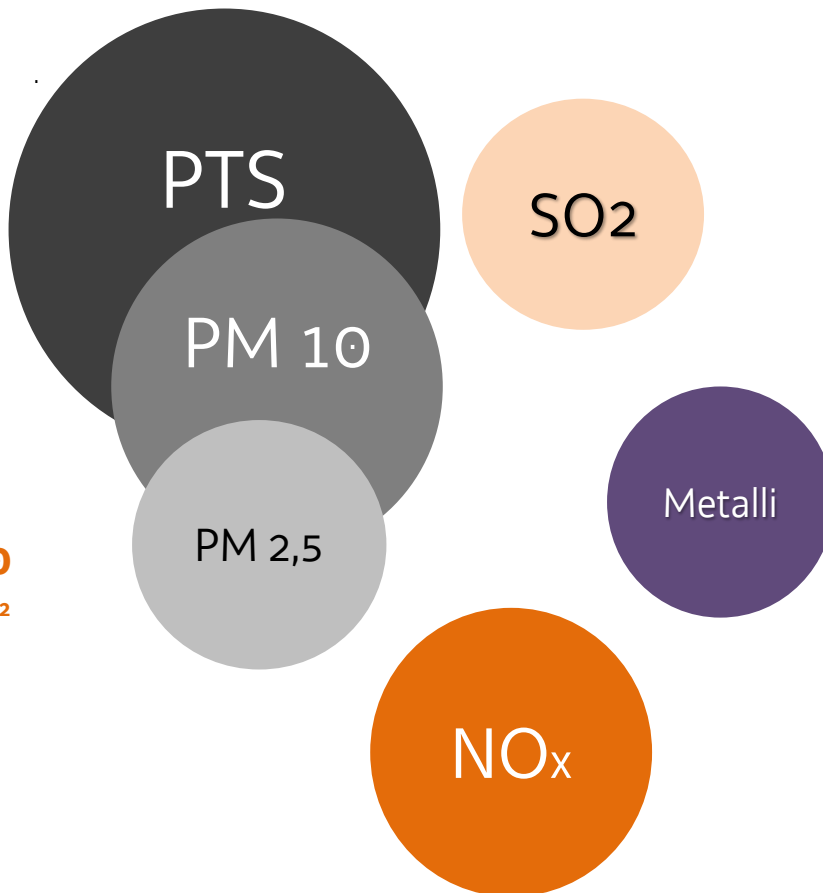
QUALITA' DELL'ARIA



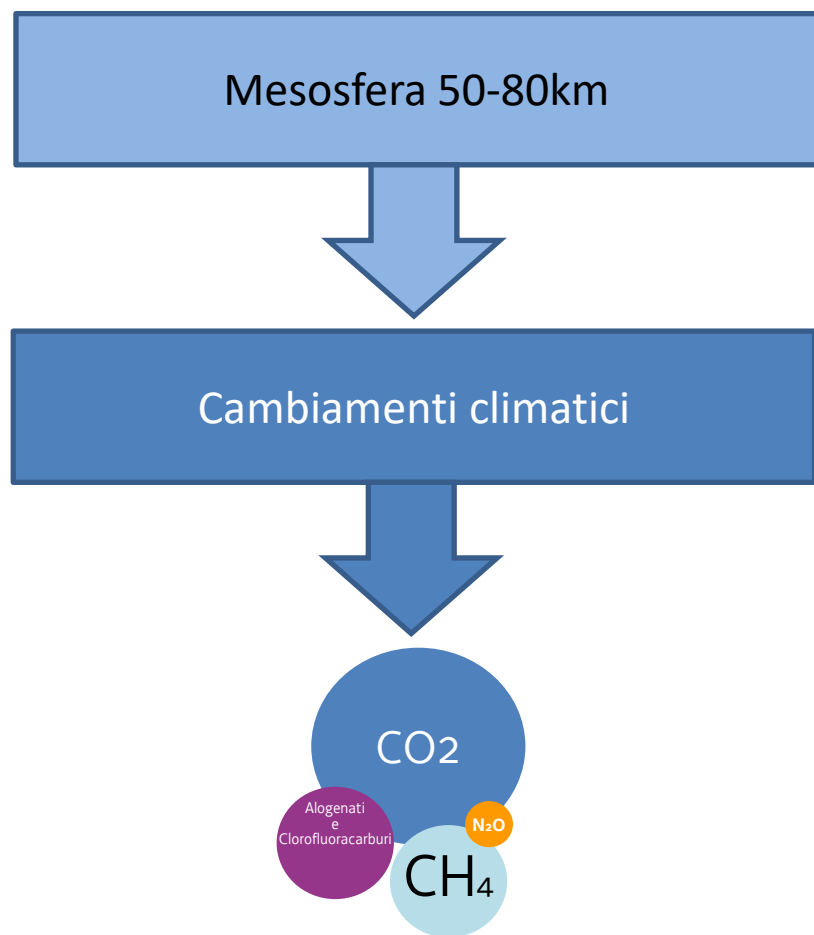
GAS CLIMA ALTERANTI



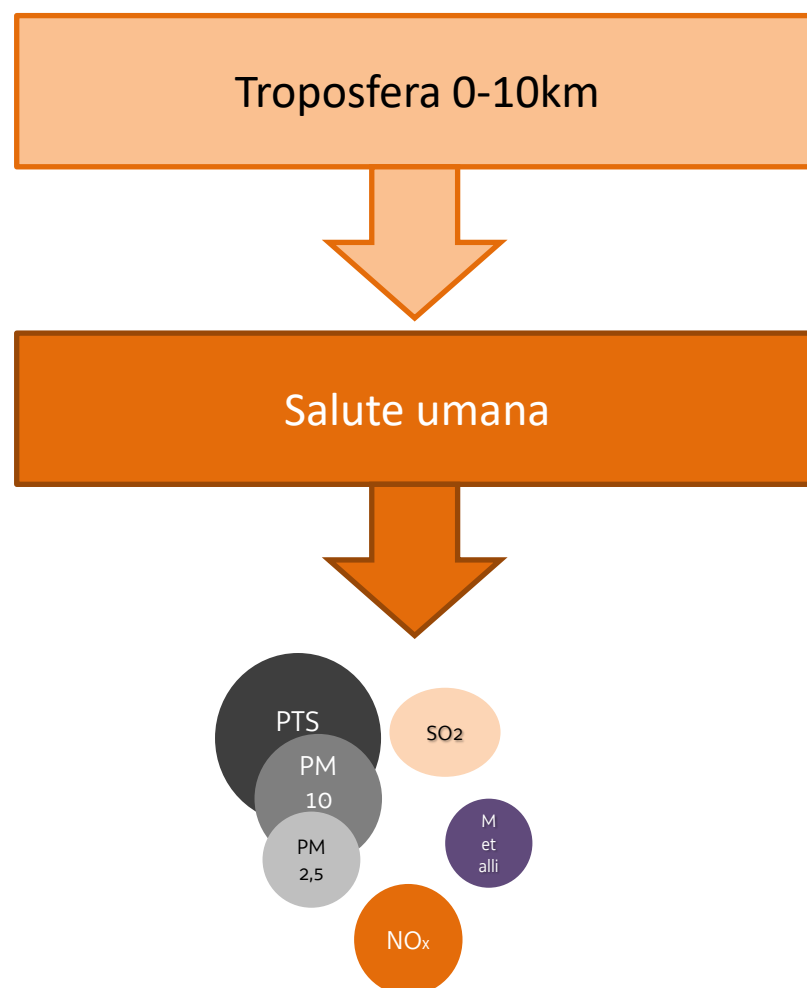
QUALITA' DELL'ARIA

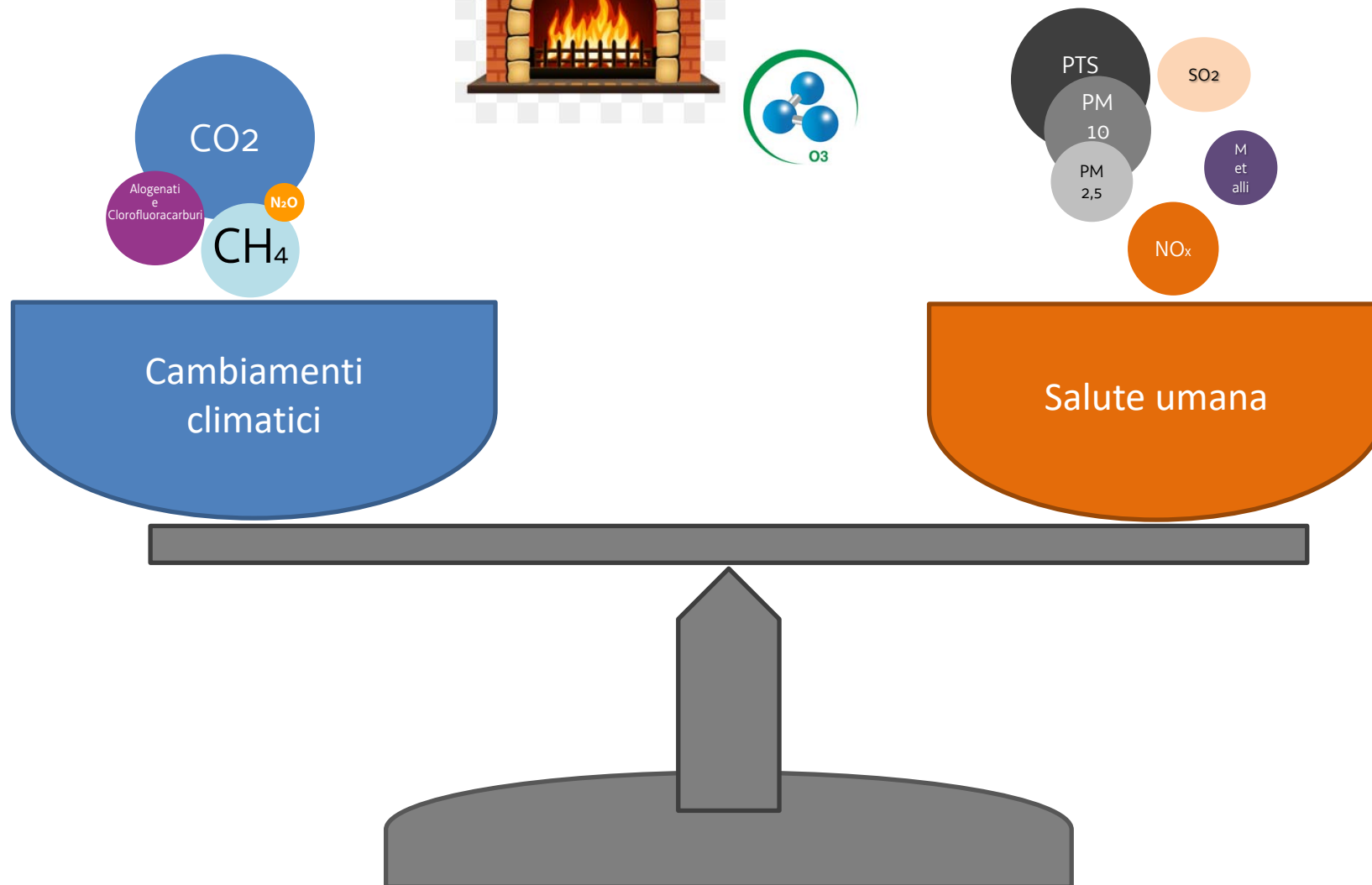


GAS CLIMA ALTERANTI



QUALITA' DELL'ARIA

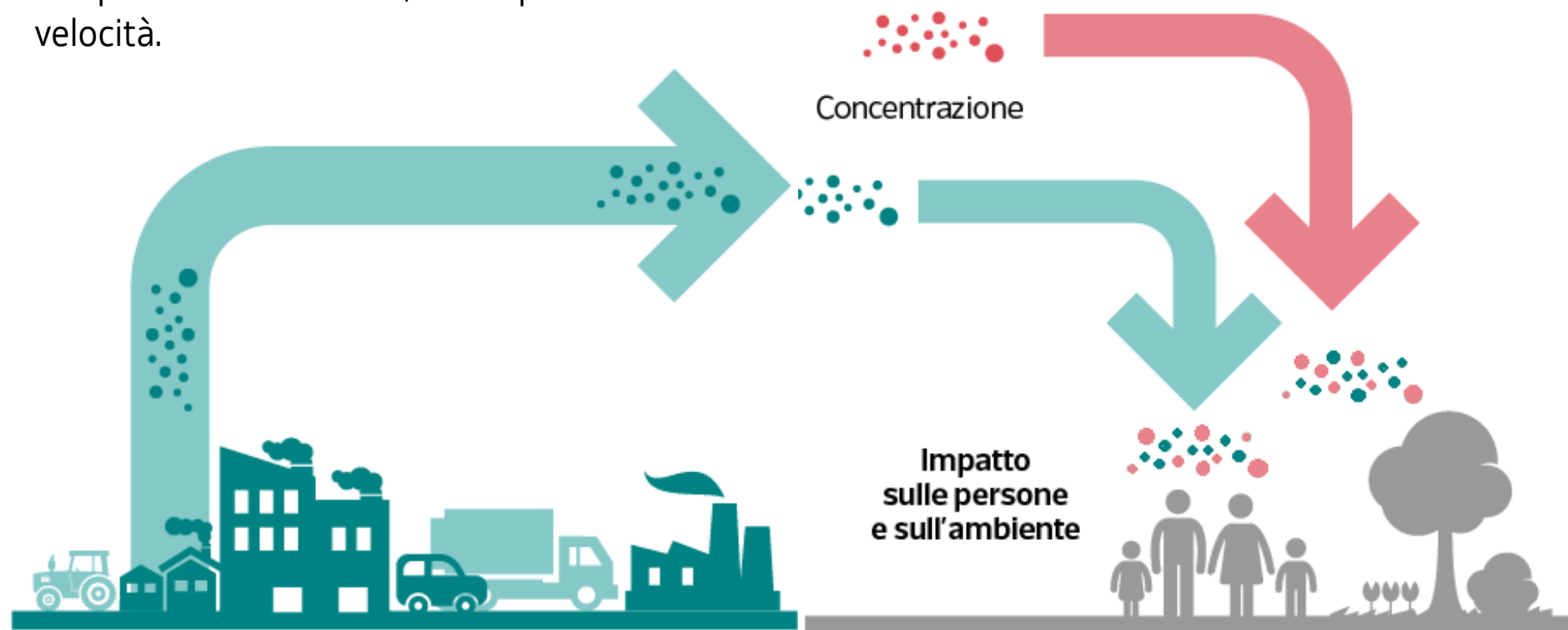


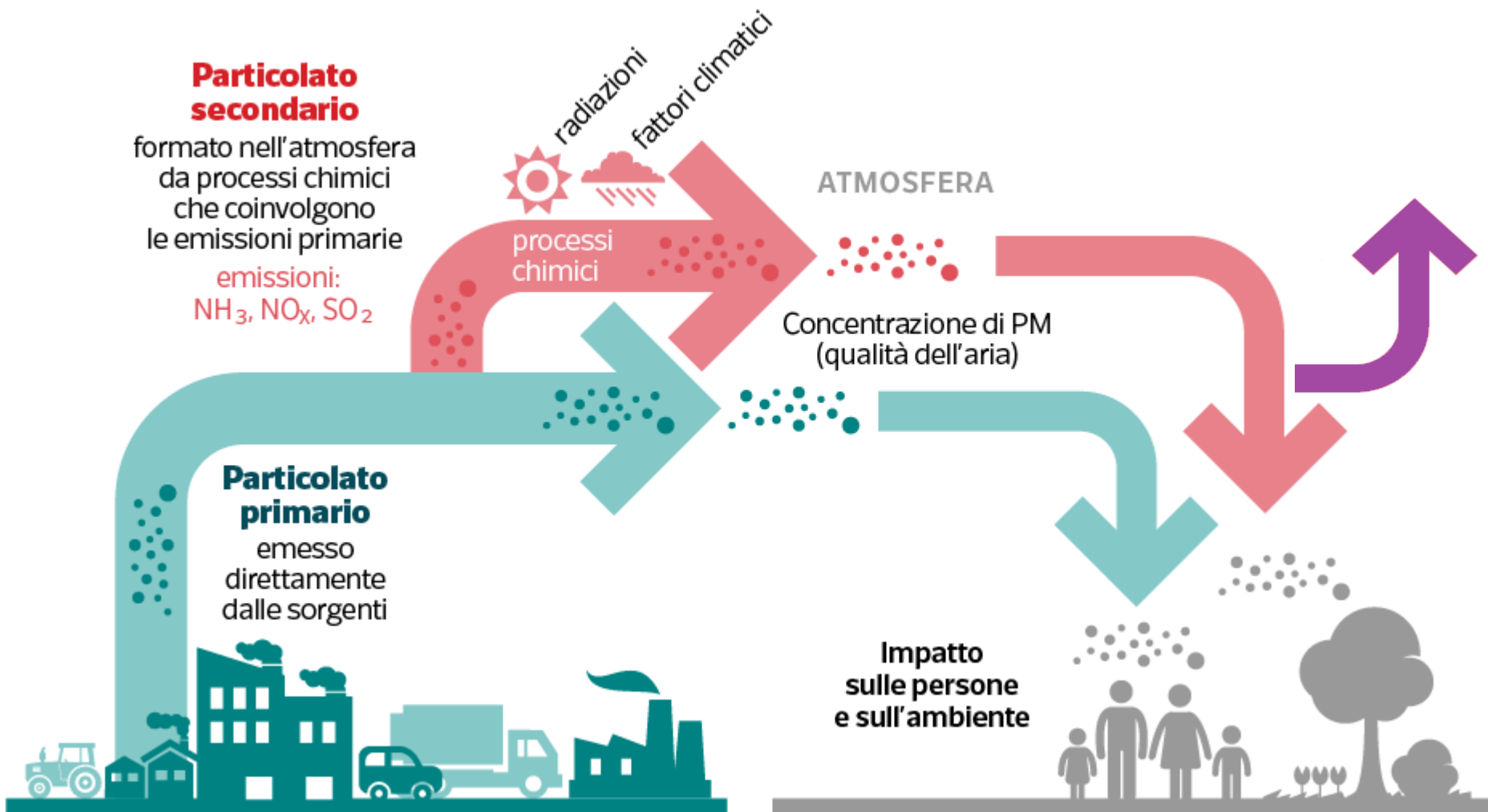


Emissioni vs concentrazioni in aria (DPSIR)

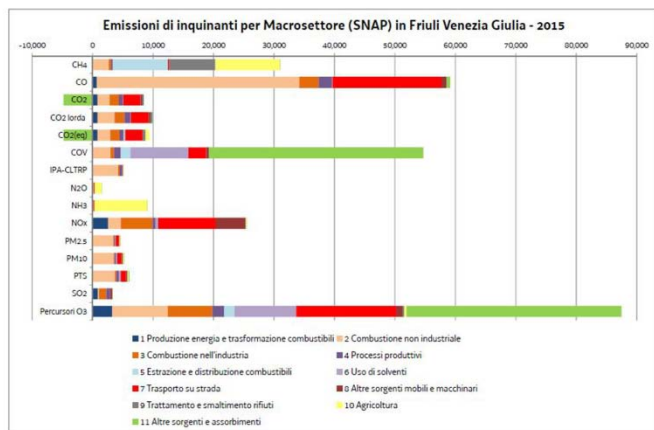
EMISSIONE: Per emissione si intende la quantità di sostanza inquinante introdotta in atmosfera, da una certa fonte inquinante e in un determinato arco di tempo è misurata in base alla portata volumetrica, la temperatura e la velocità.

IMMISSIONE: è la concentrazione della sostanza al suolo ed è misurata in base alla quantità presente in unità di volume.

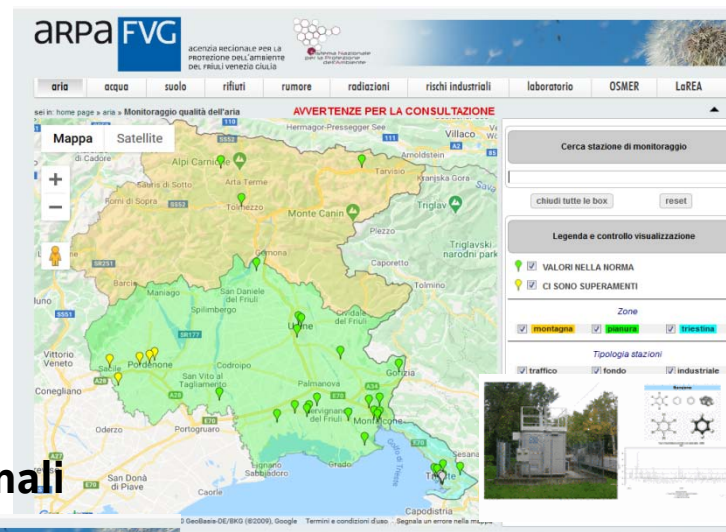




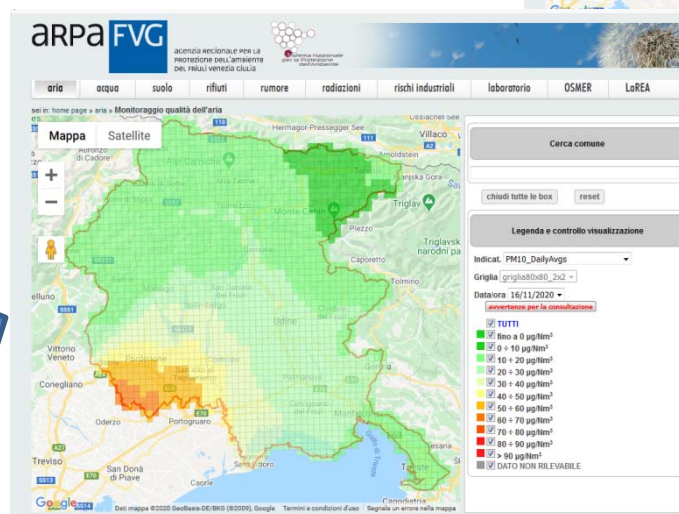
Emissioni

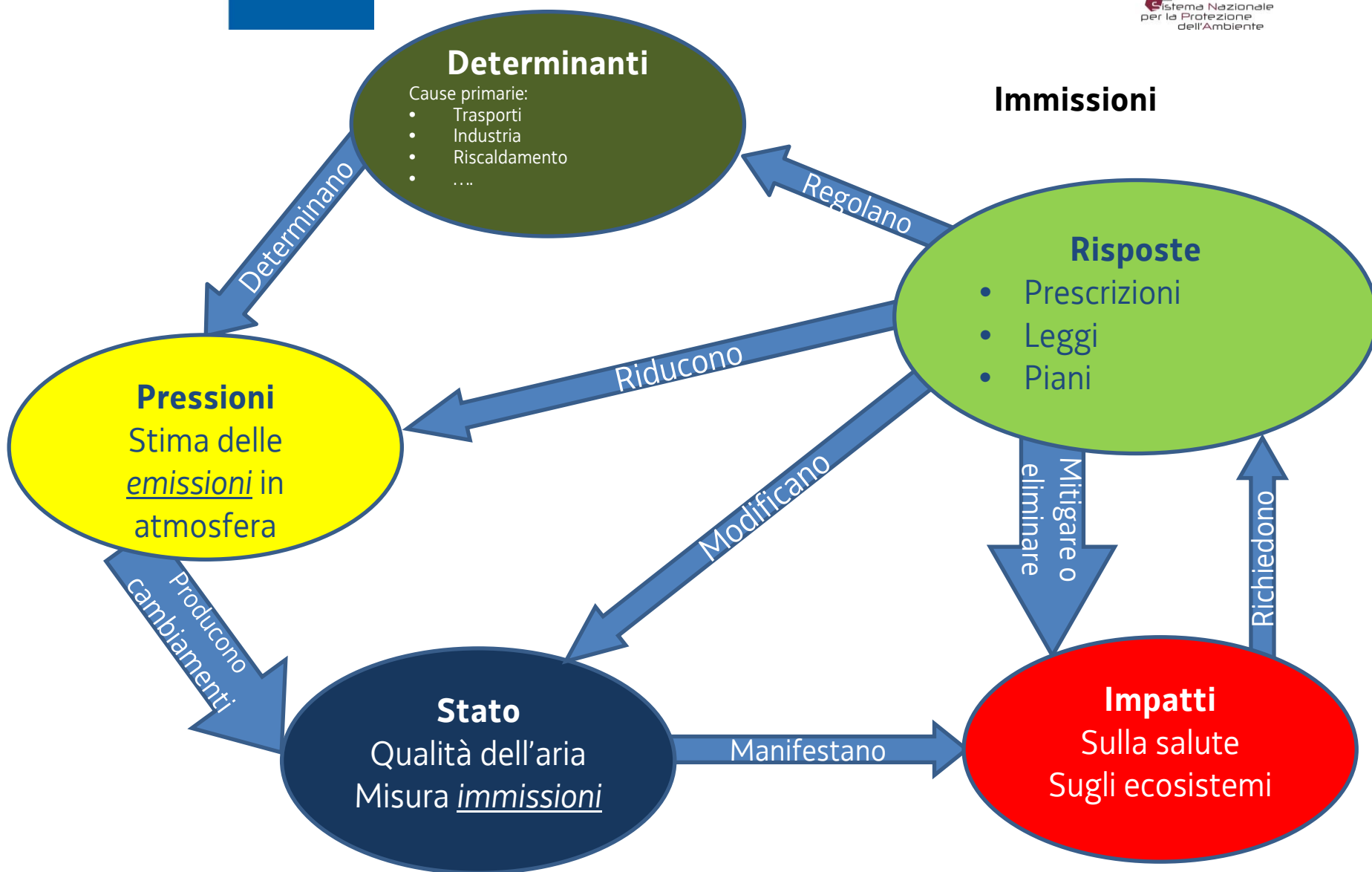


Immissioni



Modelli previsionali





Inventario regionale: come, quando e perché

**Un Inventario è un insieme
ordinato di emissioni che
fotografa lo stato emissivo di un
determinato territorio in un
determinato anno.
In base alle conoscenze e alle
tecnologie note in quel
determinato momento.**

SNAP 97

(**S**elected **N**omenclature for sources of **A**ir **P**ollution)
definita nell'ambito del progetto CORINAIR
anno 1997:

Suddivise in 11 Macrosettori

- 1) Produzione energia e trasformazione combustibili
- 2) Combustione non industriale
- 3) Combustione nell'industria
- 4) Processi produttivi
- 5) Estrazione e distribuzione combustibili
- 6) Uso di solventi
- 7) Trasporto su strada
- 8) Altre sorgenti mobili e macchinari
- 9) Trattamento e smaltimento rifiuti
- 10) Agricoltura
- 11) Altre sorgenti e assorbimenti

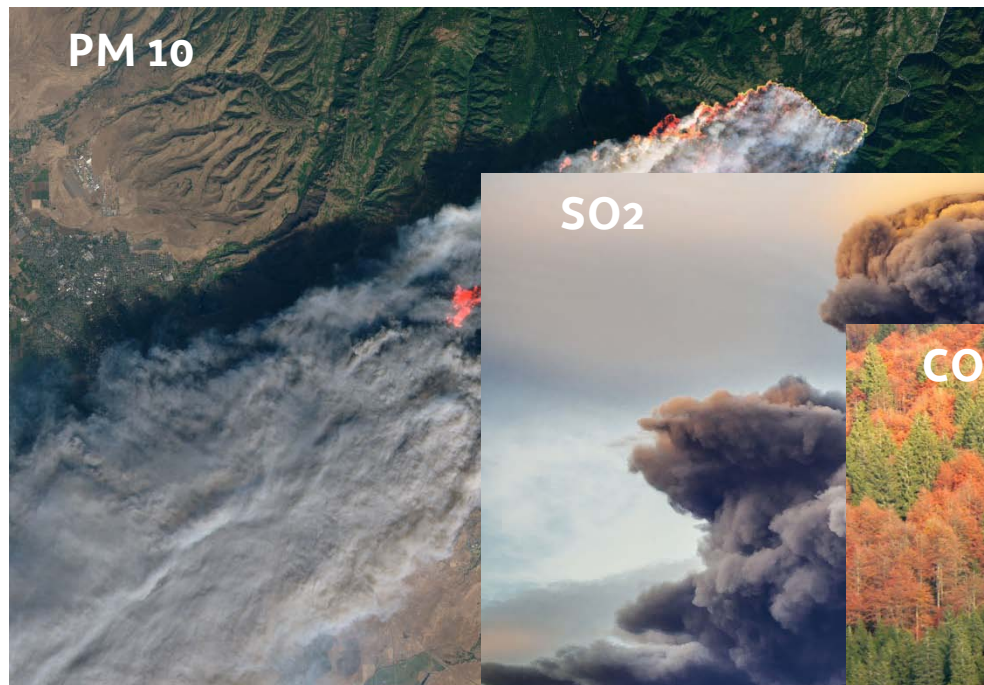
Articolati in 515 attività

FONTI ANTROPICHE



FONTI NATURALI

PM 10



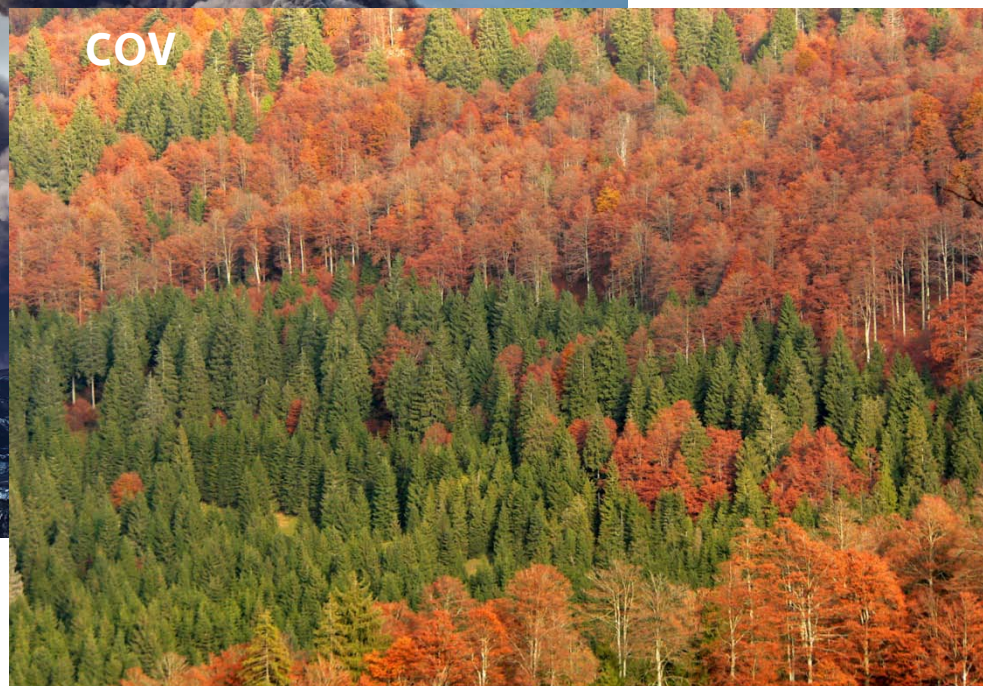
Pinatubo 1991 emessi 20
milioni di t di SO₂

SO₂



Incendio di luglio 2010 in Siberia 4,5
milioni di ha emessi 153.000 t PTS

COV



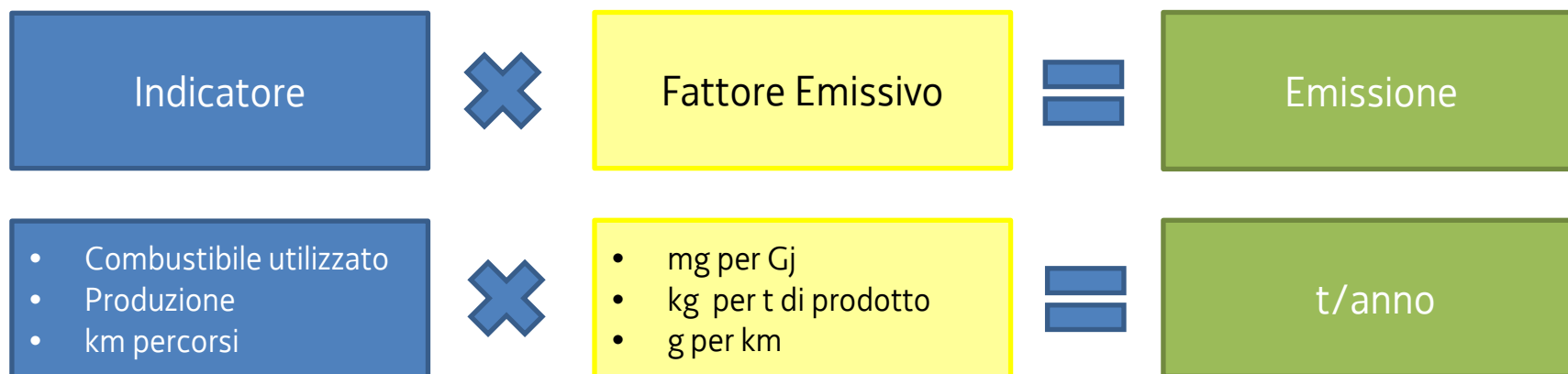
Emissioni di COV foreste

Possiamo MISURARE le emissioni per tutte queste 515 attività?

Ottenere l'effettiva quantità emessa da una sorgente sarebbe possibile solo effettuando misure in continuo su di essa.

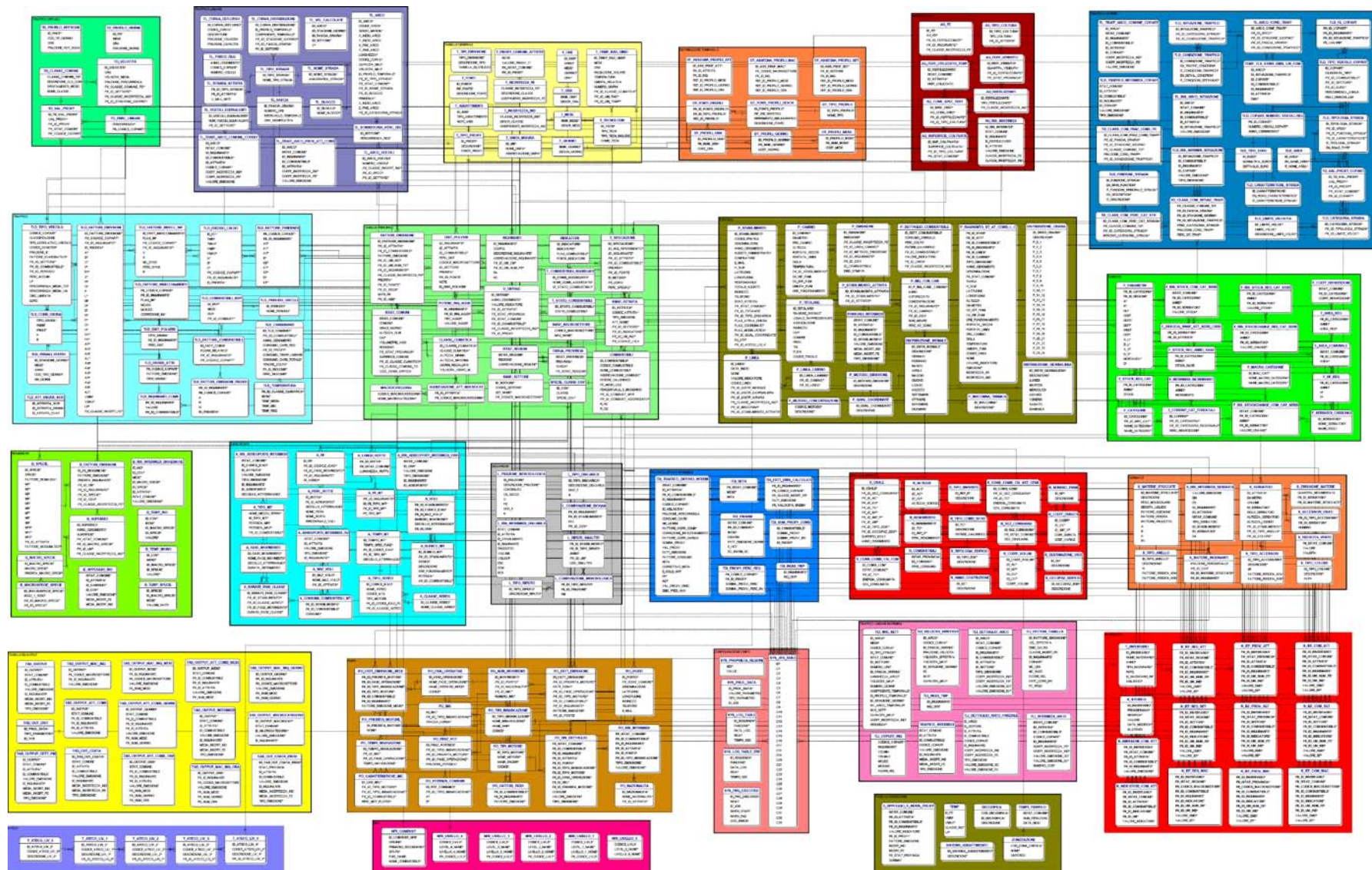
DOBBIAMO QUINDI STIMARLE

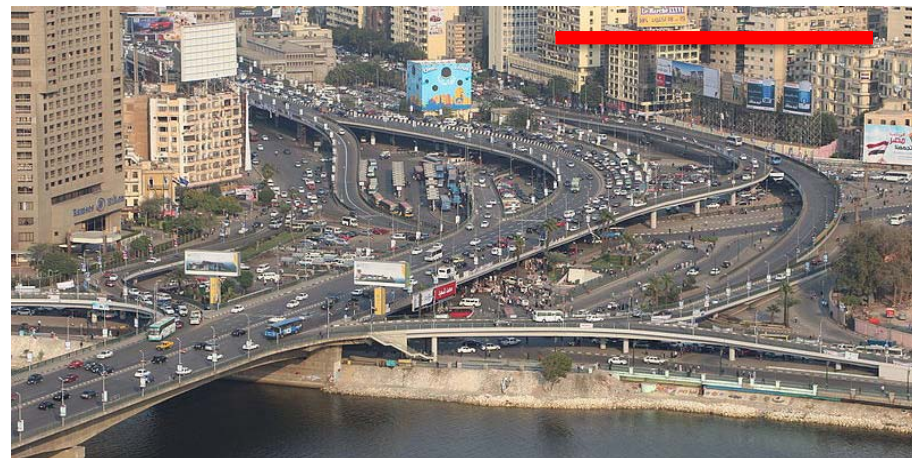
Tutte le restanti emissioni sono stimate





Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente







Sistema Nazionale
per la Protezione
del



Distribuzione combustibili



Sigarette



Verniciatura



Solventi



Discariche



Incendi



Aeroporti



Allevamenti



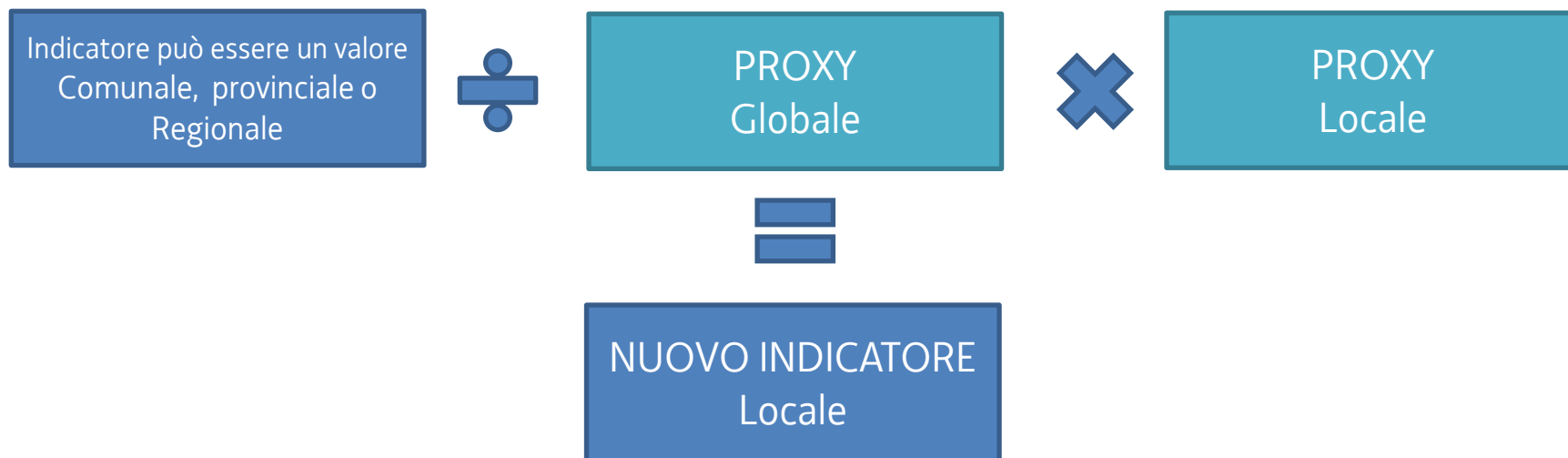
Riscaldamento domestico

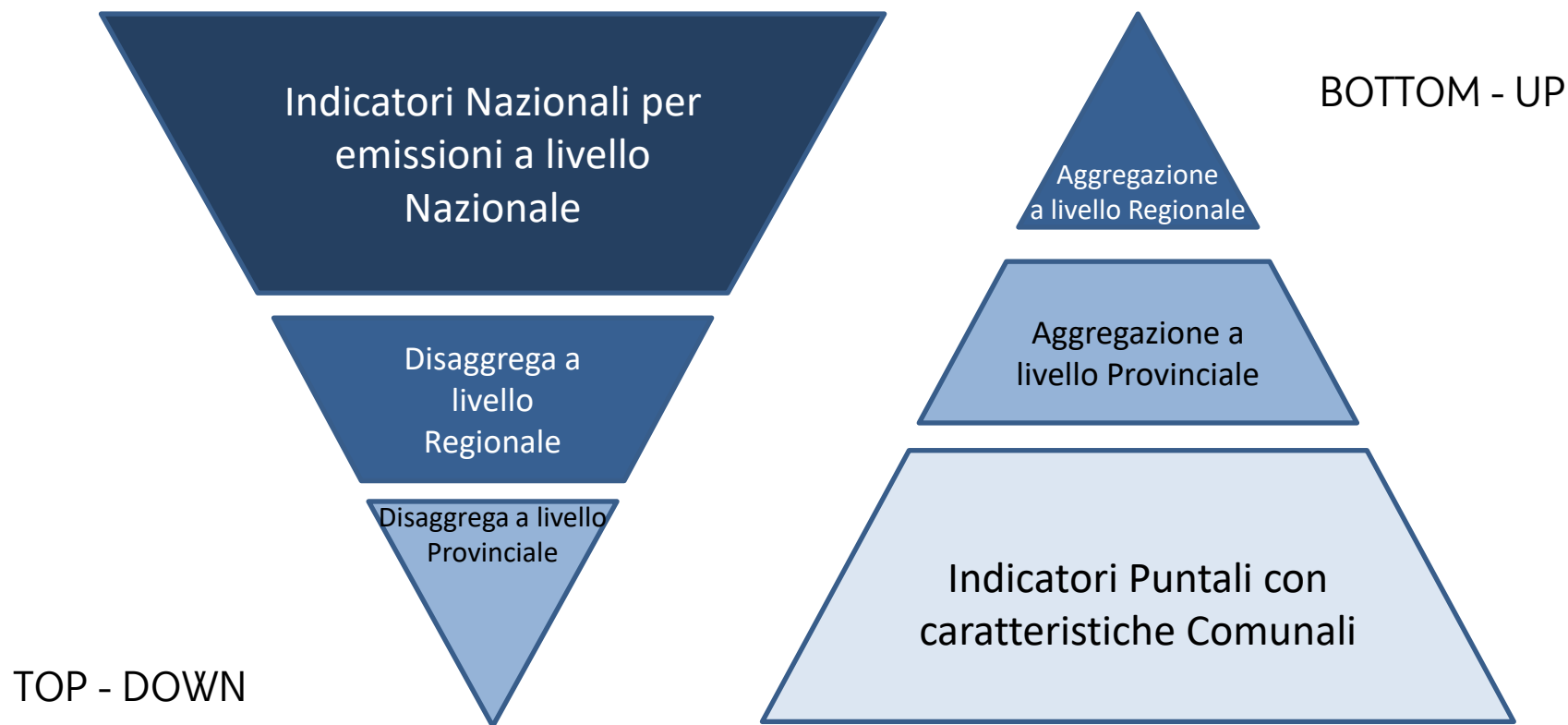


Agricoltura

STIMATE

Tutte le restanti emissioni sono stimate

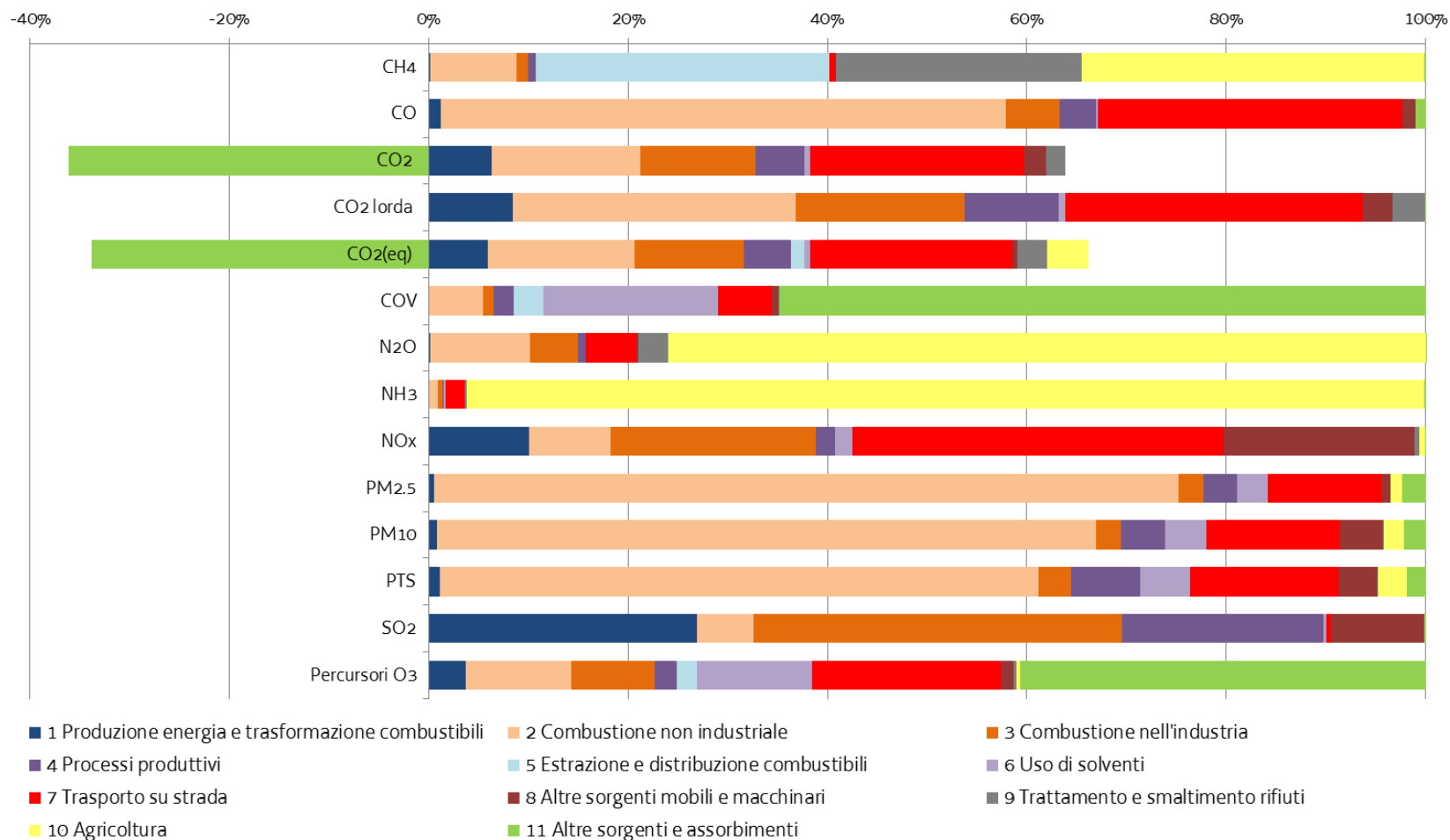




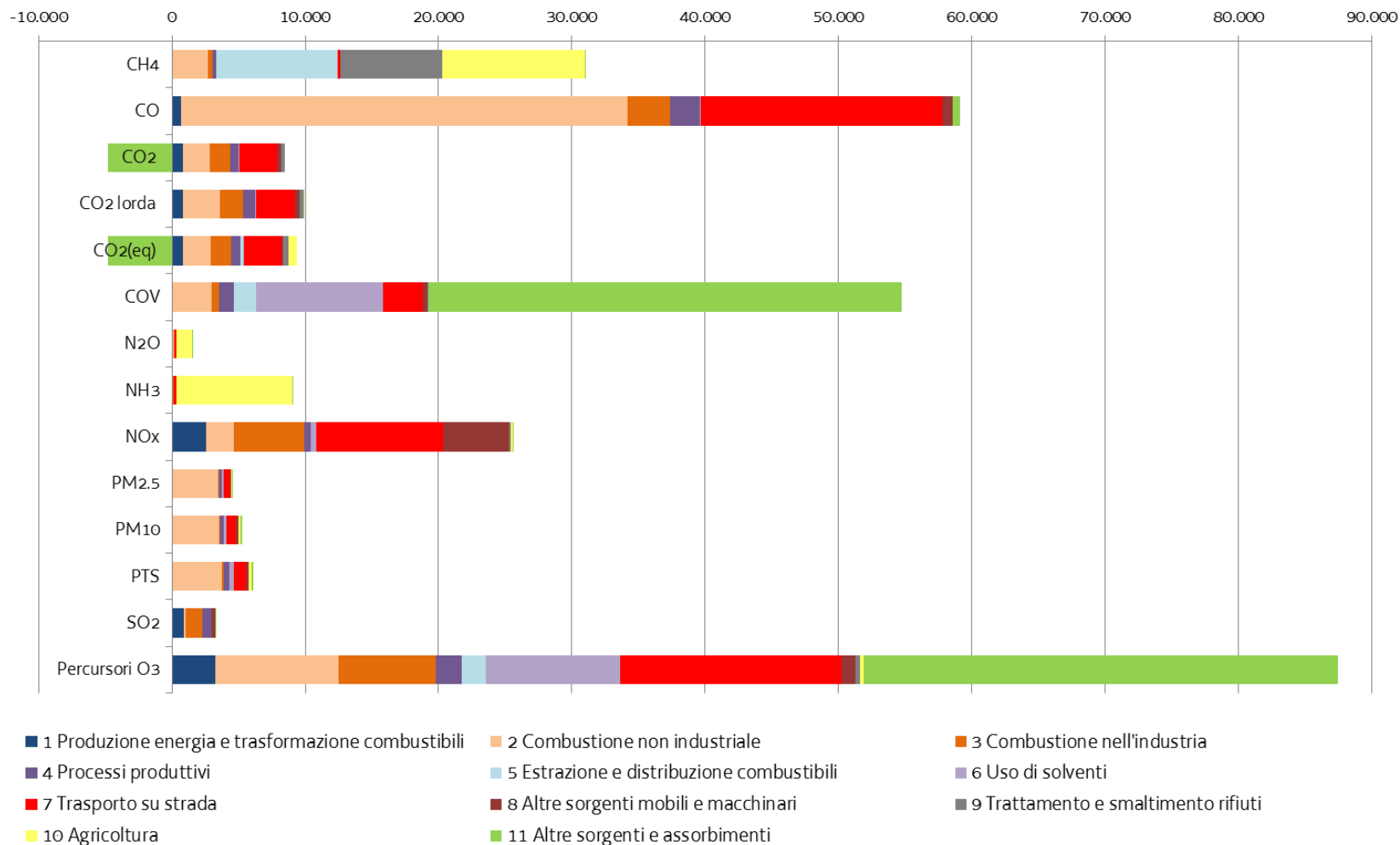
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

<http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/WebHome>

Distribuzione percentuale delle emissioni in atmosfera Macrosettore (SNAP) in Friuli Venezia Giulia - 2015



Emissioni di inquinanti per Macrosettore (SNAP) in Friuli Venezia Giulia - 2015

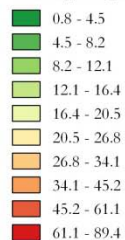


Emissioni di PM_{2,5} da biomassa per riscaldamento t/anno

Legenda

MAC2_legna

Comuni_FVG_2015 _MAC2_legna

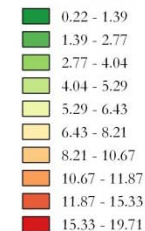


Emissioni di PM_{2,5} da biomassa per riscaldamento kg/anno per residente

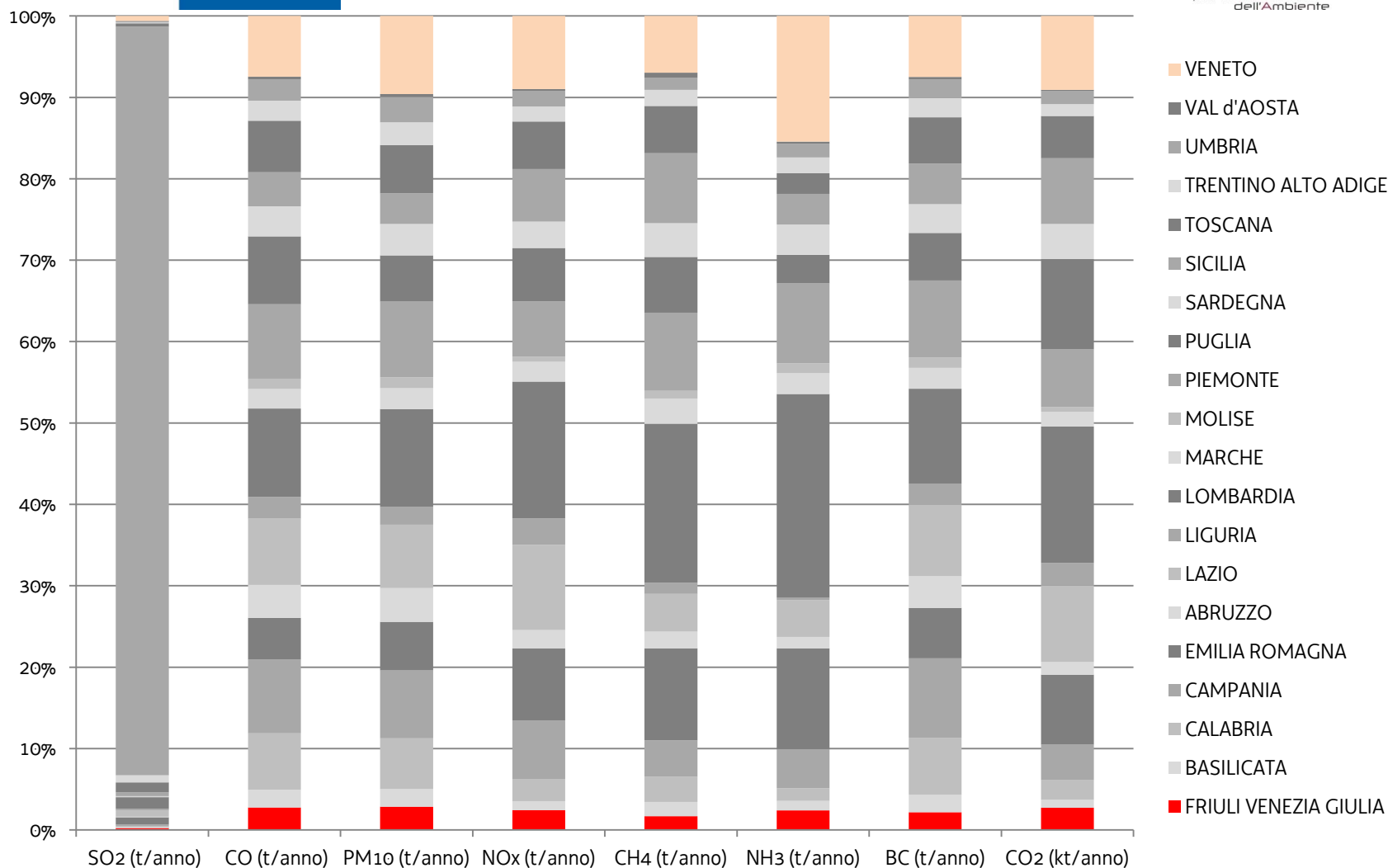
Legenda

MAC2_legna

Comuni_FVG_2015 _MAC2_legna



Emissioni totali regionali 2015



<http://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/aria-ed-emissioni-in-atmosfera>

- Qui un elenco di alcune norme riguardanti gli inquinanti atmosferici, limiti e obblighi per la **Comunità Europea** (CEE) e attuati in **Italia**.
- Direttiva CE 96/62 cosiddetta (*direttiva quadro*).
- Direttive CE "figlie" 1999/30, 2000/69, 2002/03, 2004/107.
- Direttiva CE 2008/50 definisce e riorganizza le normative precedenti in un testo unico, tiene in considerazioni e linee guida sviluppate dall'OMS su base di studi scientifici, definisce un elenco di inquinanti normati, fornisce le definizioni di aria e ambiente, inquinanti e livelli, delinea gli obiettivi da ottenere in futuro, definisce i limiti, i livelli critici soglie di allarme e di informazione.
- D. Lgs. n°155/2010 recepisce la direttiva europea CE 2008/50 applicandola a livello italiano.
- Direttiva UE 2016/2284 stabilisce la riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici, direttiva NEC.
- Recepita D. Lgs. n°81/2018

OBIETTIVI per l'Italia rispetto al 2005

	2020	2030
SO ₂ :	-35%	-71%
NO _x :	-40%	- 65%
CVNM:	- 35%	-46%
NH ₃ :	-5%	-16%
PM _{2,5} :	-10%	-40%

Redazione degli INVENTARI

Ogni 4 anni a partire dal 2019

Prima era ogni 5 non 1 intermedio a scelta

Grazie per l'attenzione



INQUINANTE	PERIODO DI MEDIAZIONE	VALORE LIMITE
Biossido di zolfo (SO_2)	Orario (da non superare più di 24 volte per anno civile)	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Giornaliero (da non superare più di 3 volte per anno civile)	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Biossido di azoto (NO_2)	Orario (da non superare più di 18 volte per anno civile)	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Annuo	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzene (C_6H_6)	Annuo	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monossido di carbonio (CO)	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore ⁽¹⁾	10 mg/m^3
Piombo (Pb)	Annuo ⁽²⁾	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM_{10}	Giornaliero (da non superare più di 35 volte per anno civile)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Annuo	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$\text{PM}_{2.5}$ (Fase 1)	Annuo da raggiungere entro il 2015 ⁽³⁾	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Modellistica per la qualità dell'aria

scala globale, regionale, locale

Giovanni Bonafè

Centro Regionale di Modellistica Ambientale, ARPA-FVG

quesito 1

La tua tribù di pastori vive e prospera in un'area di pianura a clima temperato. Le greggi sempre più numerose stanno esaurendo le risorse. L'estate si avvicina e se fosse secca come l'anno scorso sarebbe difficile sopravvivere. A ponente oltre il fiume Aghe si dice ci siano ricchi pascoli e verdi colline, ma anche popoli poco ospitali. A levante oltre le montagne c'è la misteriosa Terra di Jugo, da cui vengono gli orsi.

Che fai?

- 1) vado a ponente oltre l'Aghe
- 2) vado a levante in Jugo
- 3) rimango qui
- 4) invio esploratori

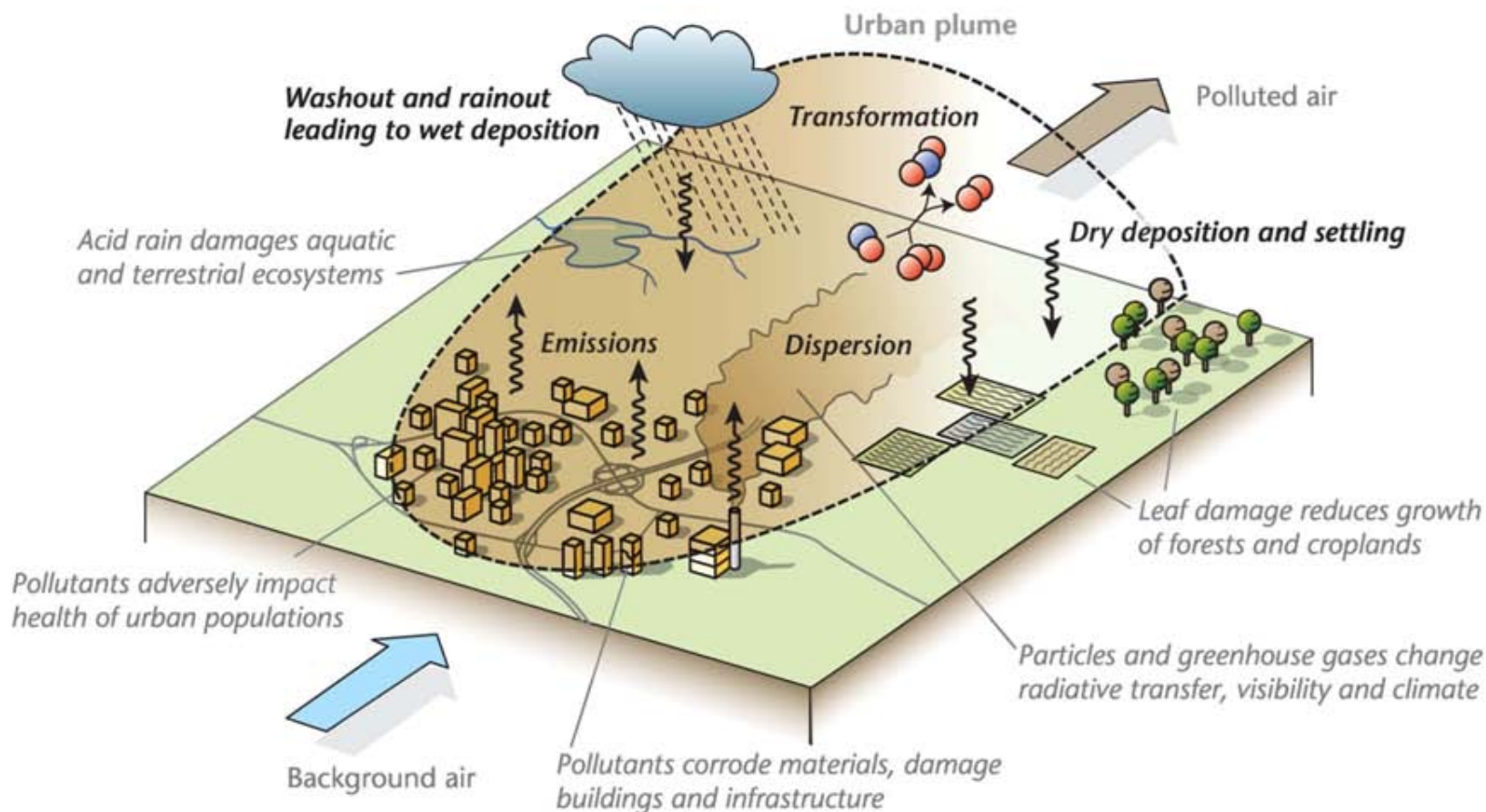


figura da: [Oke et al., 2017]

cosa serve per far funzionare un modello di qualità dell'aria?



- dati sulle emissioni
- geometria dei camini
- dati meteo
- orografia, uso del suolo
- condizioni al contorno
- concentrazioni osservate

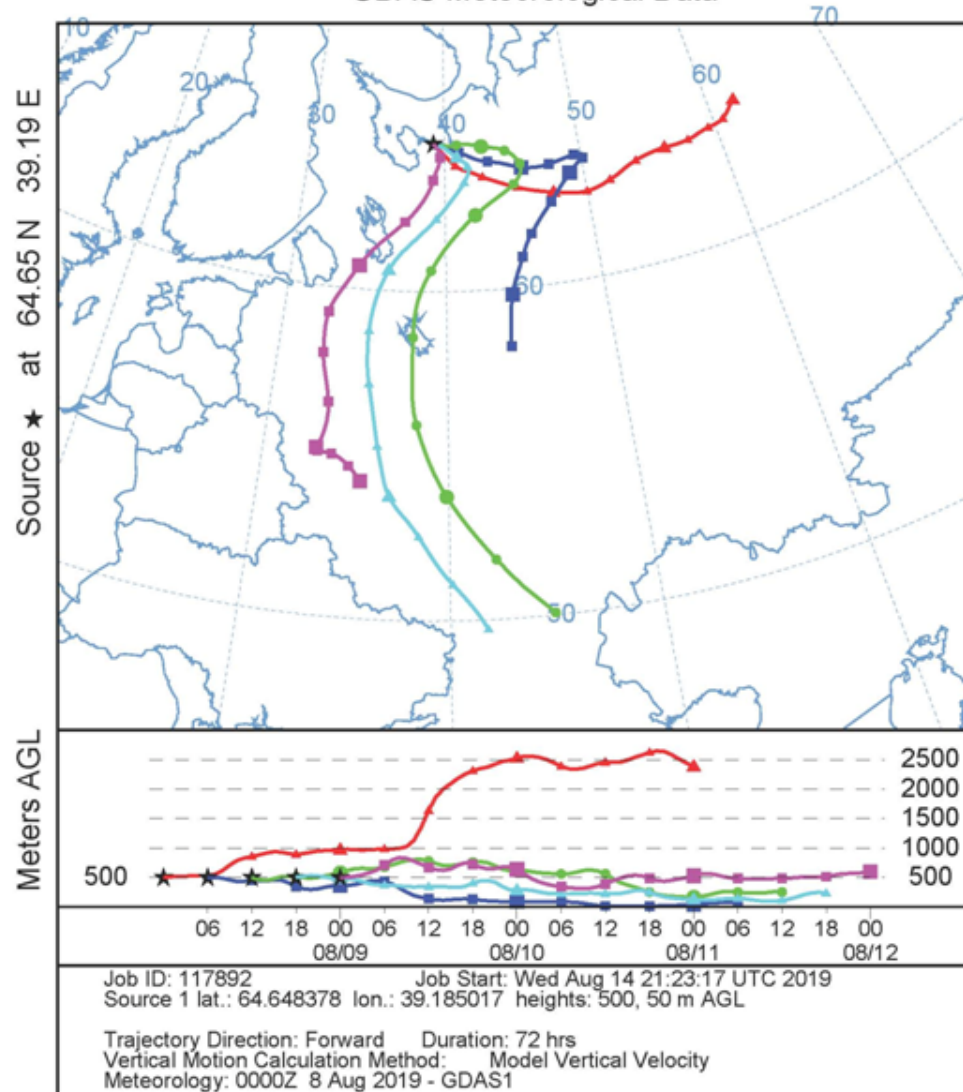


- canyon urbano → microscala, fluidodinamica computazionale (CFD)
- incidente centrale nucleare → lagrangiano a scala continentale
- impatto di un nuovo impianto → lagrangiano a scala locale, o *puff model*
- qualità dell'aria regionale o nazionale → *chemistry-transport model*
- previsioni veloci con risorse di calcolo limitate → modello statistico



- previsioni di qualità dell'aria, per attivare azioni di mitigazione a breve termine
- valutazioni retrospettive di lungo periodo
- valutazione dell'esposizione, analisi epidemiologiche
- individuazione delle aree critiche
- analisi di scenario, analisi costi-benefici
- analisi di impatto *ex ante*
- *source apportionment*

NOAA HYSPLIT MODEL
Forward trajectories starting at 0000 UTC 08 Aug 19
GDAS Meteorological Data



Determinanti



Pressioni

Determinanti



Pressioni



Stato

Determinanti



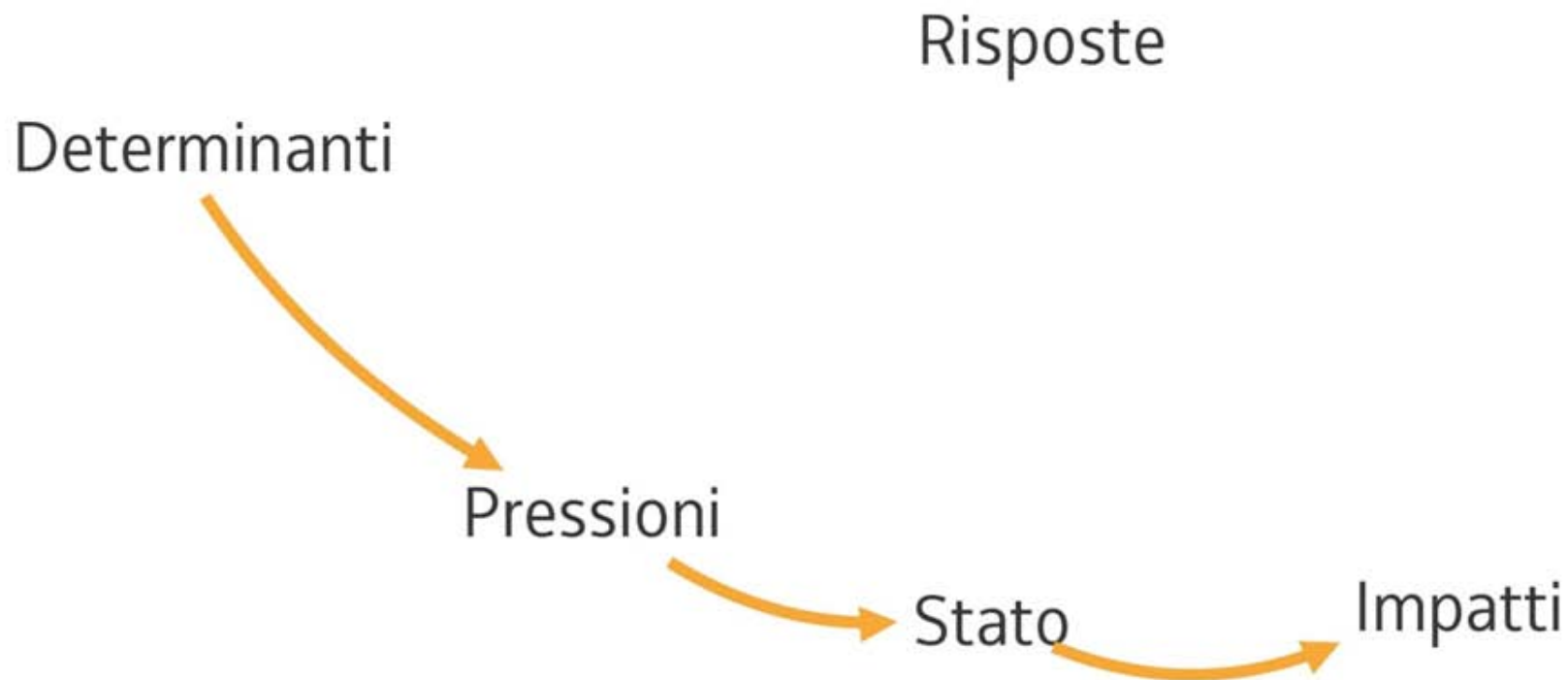
Pressioni

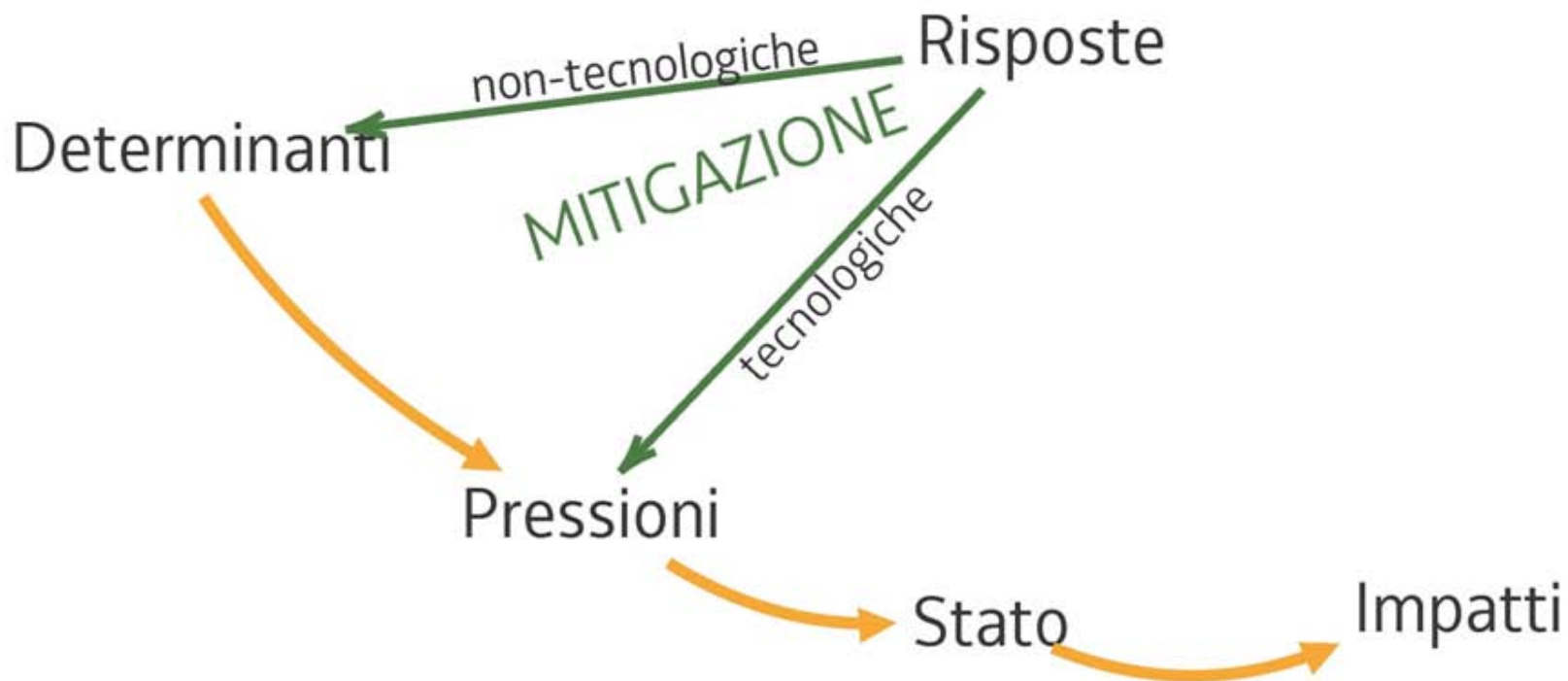


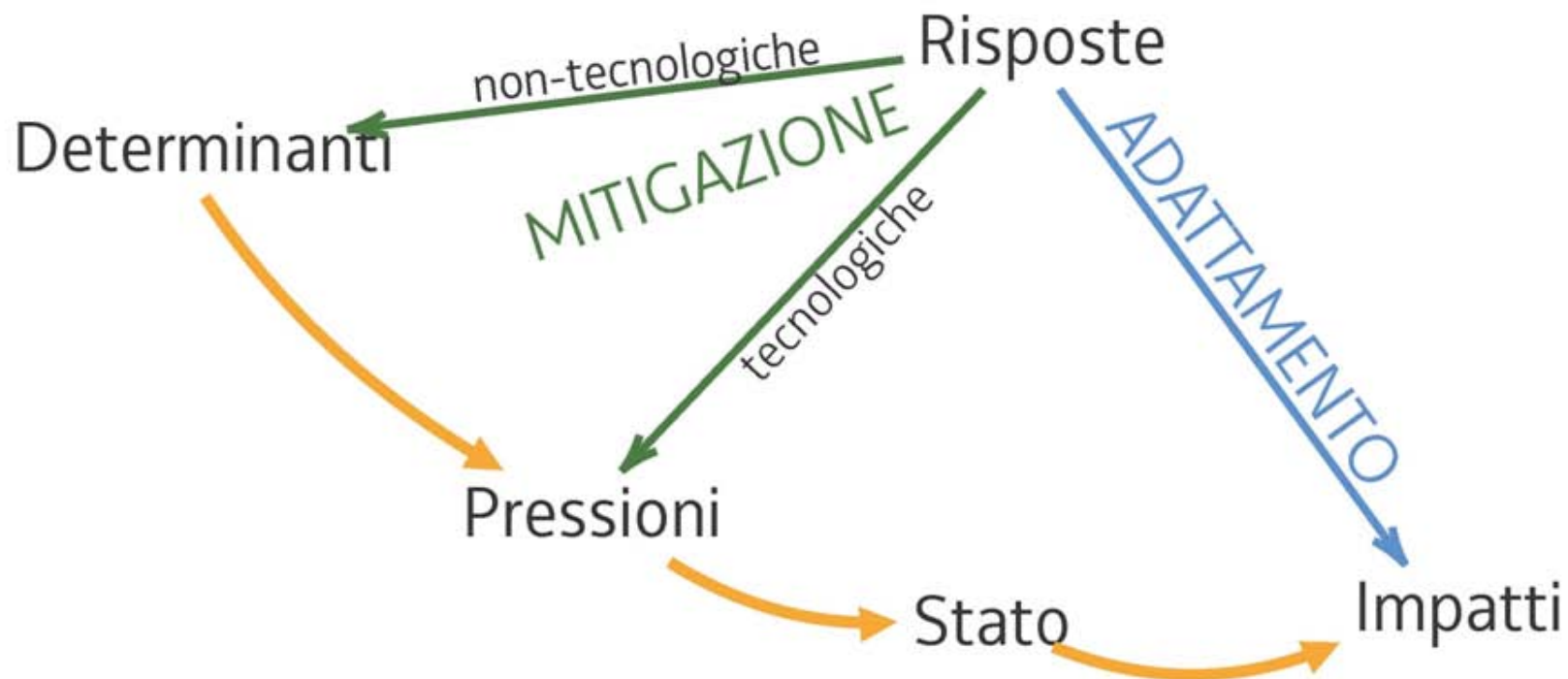
Stato

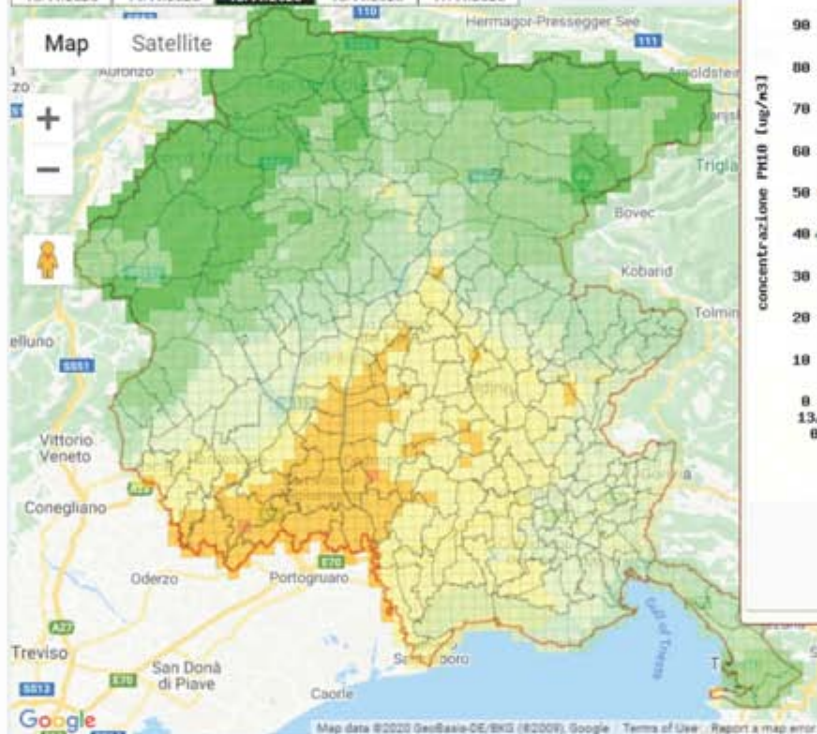


Impatti



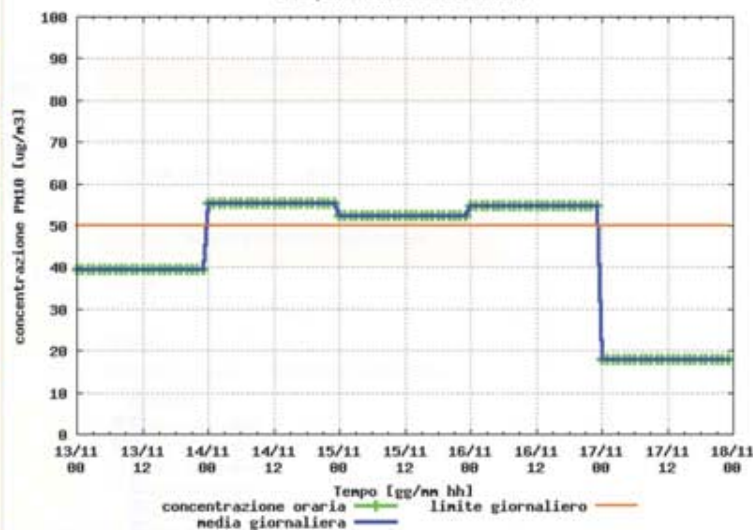






Prata di Pordenone - Previsione delle concentrazioni particolato sottile con diametro inferiore a 10µm

Serie temporale concentrazioni PM10
previsione emessa il 20201113 00
sul punto PRATA DI PORDENONE



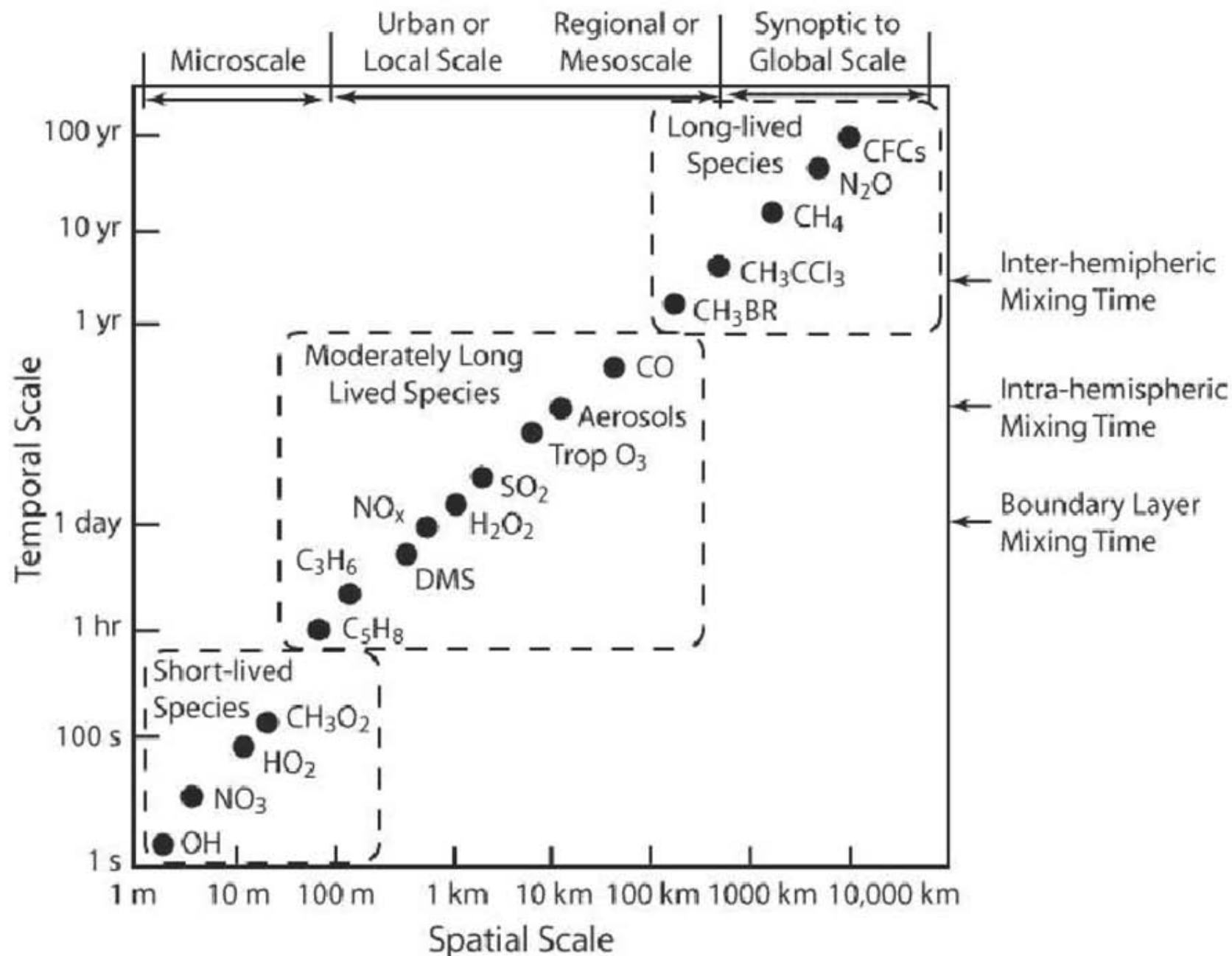


figura da: [Seinfeld and Pandis, 2016]



particolato grossolano $\neq$ p. fine $\neq$ p. ultrafine

quesito 2

quale tra le seguenti taglie di particolato atmosferico si **deposita** più rapidamente?

- 1) grossolano
- 2) fine
- 3) ultrafine

quesito 2

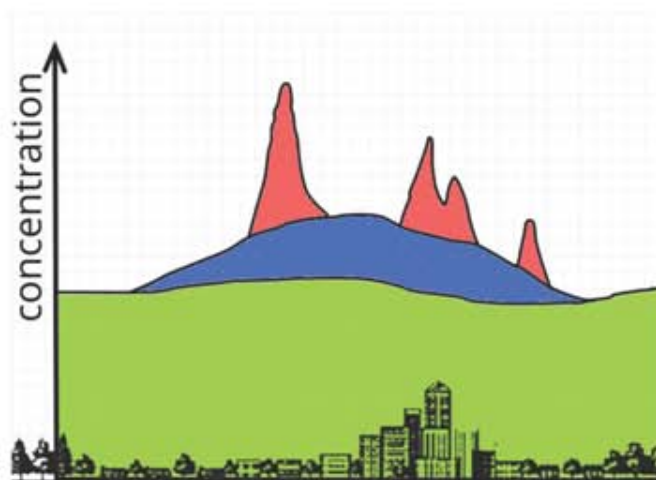
quale tra le seguenti taglie di particolato atmosferico si **deposita** più rapidamente?

- 1) grossolano
- 2) fine
- 3) ultrafine

quesito 3

quale tra le seguenti taglie di particolato atmosferico si **trasforma** rapidamente in qualcos'altro?

- 1) grossolano
- 2) fine
- 3) ultrafine



componente

hot-spot

fondo urbano

fondo regionale

scala temporale

~minuti

~ore

~giorni

	CTM regionale	tipo di modello	
		urbano- locale	microscala
hot-spot		~	✓
fondo urbano	~	✓	
fondo regionale	✓		

	CTM regionale	tipo di modello	
		urbano- locale	microscala
hot-spot		~	✓
fondo urbano	~	✓	
fondo regionale	✓		
risoluzione	1-10 km	50-500 m	1-10 m
transfrontaliero	✓		
chimica	✓	~	
effetto degli edifici		~	✓

	tipo di modello		
	CTM regionale	urbano- locale	microscala
hot-spot		~	✓
fondo urbano	~	✓	
fondo regionale	✓		
risoluzione	1-10 km	50-500 m	1-10 m
transfrontaliero	✓		
chimica	✓	~	
effetto degli edifici		~	✓
pianificazione nazionale-regionale	✓		
pianificazione urbana		✓	
impatto di nuovi impianti/strade		✓	✓
scelta dei siti di monitoraggio			✓

Friuli – Venezia Giulia

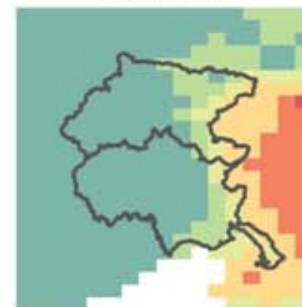
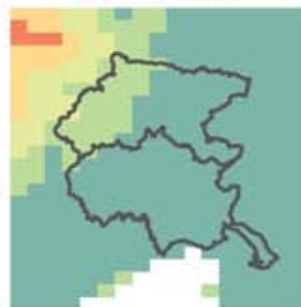
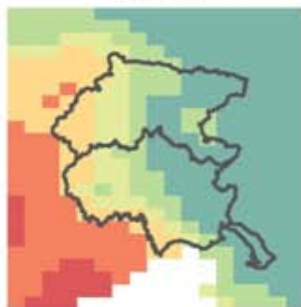
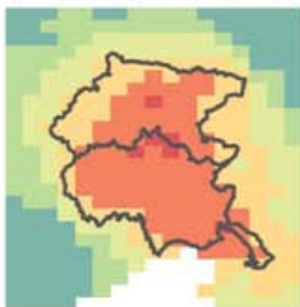
Veneto

resto d'Italia

Austria

Slovenia

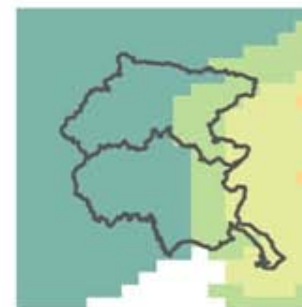
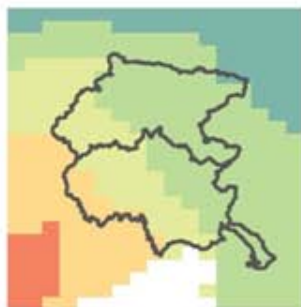
NO₂



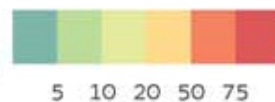
PM₁₀



PM_{2.5}



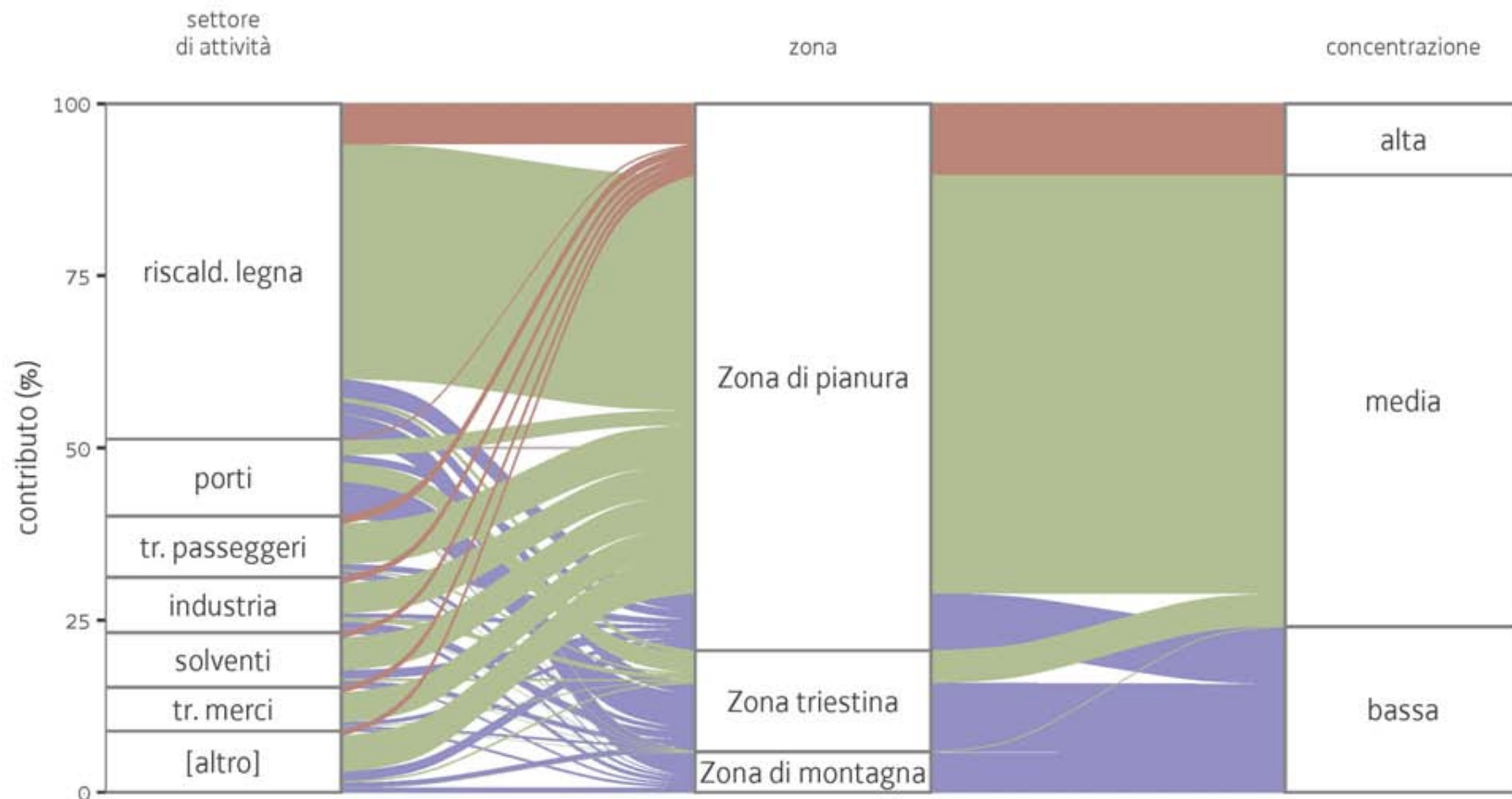
efficienza* (%)



*) $\eta_c = \Delta(I_c) / \Delta(E)$

attribuzione alle sorgenti – media annua di PM₁₀

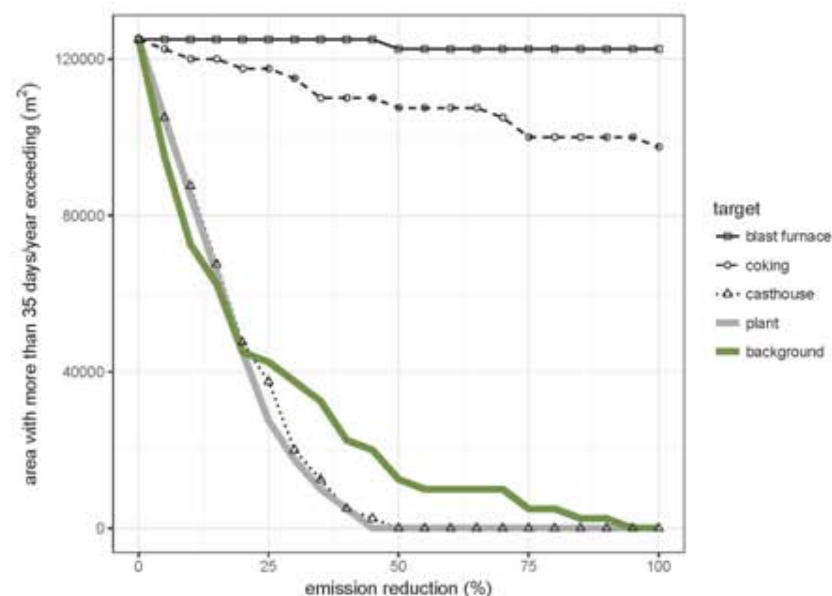
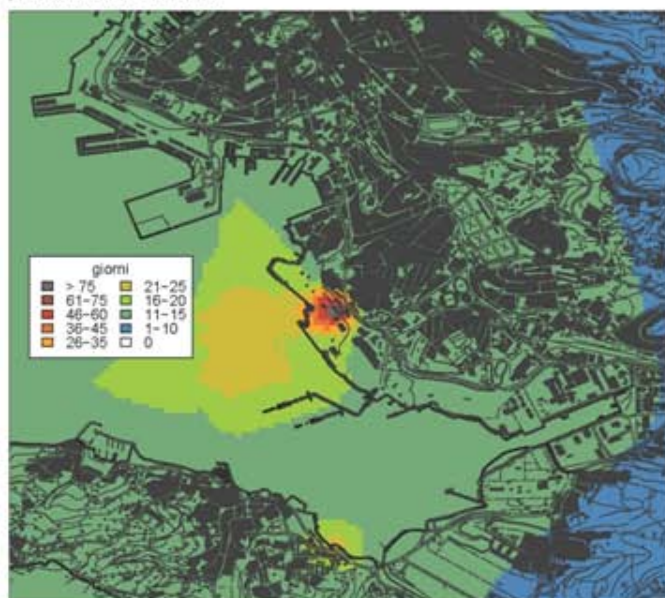
contributi relativi settoriali, pesati sul FVG con la popolazione



concentrazione 'bassa': inferiore al 66esimo percentile,
concentrazione 'alta': superiore al 90esimo percentile;
'[altro]': settori che danno un contributo < 5%, aggregati

PM10

superamenti giornalieri della soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
periodo: 01/01/2016 - 31/12/2016



[Bonafè et al., 2018]



Bonafè, G., Montanari, F., and Stel, F. (2018).

A hybrid Eulerian-Lagrangian-statistical approach to evaluate air quality in a mixed residential-industrial environment.

International Journal of Environment and Pollution, 64(1-3):246–264.



Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., and Voogt, J. A. (2017).

Urban Climates.

Cambridge University Press.



Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N. (2016).

Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change.

John Wiley & Sons.