

Modellistica applicata alle emergenze ambientali

Martedì 31 ottobre 2023 ore 10:00

Francesco Montanari, Simone Martini, Giovanni Bonafè
ARPA FVG



REALIZZATO DA:



MODELLISTICA APPLICATA ALLE EMERGENZE AMBIENTALI

Introduzione

Il modello di previsione della dispersione dei
fumi da incendio (DELFI)



- Introduzione (Francesco Montanari)
- DELFI: previsione della dispersione dei **fumi** degli incendi (Francesco Montanari)
- GNOME: previsione del trasporto delle **chiazze oleose** in mare (Simone Martini)
- HYSPLIT: previsione delle **(retro-)traiettorie** delle masse d'aria (Giovanni Bonafè)

Perché ce ne parlate?

PRESUPPOSTI

L.R. FVG 6/98 (istituzione dell'ARPA FVG):

collaborazione [...] per gli interventi di **protezione civile** ed ambientale nei casi di **emergenza**;
supporto tecnico operativo del **Centro funzionale decentrato (CFD)** della Protezione civile, mediante la modellistica meteorologica previsionale [...].

L. 132/2016 (istituzione del SNPA):

partecipazione [...] agli **interventi di protezione civile, sanitaria e ambientale** [...].

D.lgs. 1/2018 (Codice della protezione civile):

individua il **SNPA** fra le **strutture operative** del Servizio nazionale della **protezione civile**.

Delib. 23/2018 del **Consiglio SNPA** (Catalogo Nazionale dei Servizi e delle Prestazioni del SNPA):

individua 6 Prestazioni per i 2 Servizi di **partecipazione ai sistemi di protezione civile**, ambientale e sanitaria.

DI QUI...

L'**ARPA FVG** si è dotata di un **proprio Sistema di Risposta di Emergenza**, di cui fa parte anche un **Servizio di Pronta Disponibilità**, con personale, strumenti, procedure...

... che prevede, nella sua articolazione, anche l'utilizzo della **modellistica ambientale**.



Il gruppo dei **partecipanti al seminario** è eterogeneo: obiettivi diversificati.

1. «**trasparenza**» e «**cultura**»: rendere noti alcuni strumenti e metodi che utilizziamo
2. «**tecnica**»: qualcuno potrebbe essere interessato ad implementare sistemi simili o migliori
3. «**dialogo**»: migliorare l'interlocuzione con altre figure coinvolte nella gestione delle emergenze
4. «**pratica**». Dei tre strumenti che presentiamo:
 - HYSPLIT (traiettorie): è di libero accesso ed utilizzo
 - GNOME (oil spill): possiamo fornire l'accesso ai dati necessari al funzionamento



consentono la valutazione del rischio
chimico, biologico, radiologico

utilizzano misure
acquisite sul campo

utilizzano dati acquisiti
in emergenze analoghe

consequence assessment
consentono un'accurata
valutazione degli impatti

consentono la valutazione
del danno ambientale

Cos'hanno in comune i 3 sistemi modellistici di cui tratteremo oggi?

sono numerici

sono programmi informatici

funzionano ad
emergenza in corso

sono deterministici

fanno previsioni (prognosi)

sono delle catene
modellistiche

necessitano di
condizioni al contorno

sono utili per una
«visione di insieme»

high performce computing
utilizzano il calcolo
intensivo

preparedness and readiness
sono elementi di
«preparazione e prontezza»

necessitano di modelli globali
servono ad orientare le
attività sul campo



utilizzano misure
acquisite sul campo

consentono la valutazione
del danno ambientale

sono numerici

sono deterministici

sono delle catene
modellistiche

high performance computing
utilizzano il calcolo
intensivo

consentono la valutazione del rischio
chimico, biologico, radiologico

utilizzano dati acquisiti
in emergenze analoghe

sono programmi informatici

necessitano di
condizioni al contorno

preparedness and readiness
sono elementi di
«preparazione e prontezza»

consequence assessment
consentono un'accurata
valutazione degli impatti

funzionano ad
emergenza in corso

fanno previsioni (prognosi)

sono utili per una
«visione di insieme»

necessitano di modelli globali
servono ad orientare le
attività sul campo

Cos'hanno in comune i 3 sistemi modellistici di cui tratteremo oggi?





utilizzano misure
acquisite sul campo

consentono la valutazione
del danno ambientale

sono numerici

sono deterministici

sono delle catene
modellistiche

high performance computing
utilizzano il calcolo
intensivo

consentono la valutazione del rischio
chimico, biologico, radiologico

utilizzano dati acquisiti
in emergenze analoghe

sono programmi informatici

necessitano di
condizioni al contorno

preparedness and readiness
sono elementi di
«preparazione e prontezza»

consequence assessment
consentono un'accurata
valutazione degli impatti

funzionano ad
emergenza in corso

fanno previsioni (prognosi)

sono utili per una
«visione di insieme»

necessitano di modelli globali
servono ad orientare le
attività sul campo

Cos'hanno in comune i 3 sistemi modellistici di cui tratteremo oggi?

utilizzano misure
acquisite sul campo

consentono la valutazione
del danno ambientale

sono numerici

sono deterministici

sono delle catene
modellistiche

high performance computing
utilizzano il calcolo
intensivo

consentono la valutazione del rischio
chimico, biologico, radiologico

utilizzano dati acquisiti
in emergenze analoghe

sono programmi informatici

necessitano di
condizioni al contorno

preparedness and readiness
sono elementi di
«preparazione e prontezza»

consequence assessment
consentono un'accurata
valutazione degli impatti

funzionano ad
emergenza in corso

fanno previsioni (prognosi)

sono utili per una
«visione di insieme»

necessitano di modelli globali
servono ad orientare le
attività sul campo

Cos'hanno in comune i 3 sistemi modellistici di cui tratteremo oggi?

utilizzano misure
acquisite sul campo

consentono la valutazione
del danno ambientale

sono numerici

sono deterministici

sono delle catene
modellistiche

high performance computing
utilizzano il calcolo
intensivo

consentono la valutazione del rischio
chimico, biologico, radiologico

utilizzano dati acquisiti
in emergenze analoghe

sono programmi informatici

necessitano di
condizioni al contorno

preparedness and readiness
sono elementi di
«preparazione e prontezza»

consequence assessment
consentono un'accurata
valutazione degli impatti

funzionano ad
emergenza in corso

fanno previsioni (prognosi)

sono utili per una
«visione di insieme»

necessitano di modelli globali
servono ad orientare le
attività sul campo

Cos'hanno in comune i 3 sistemi modellistici di cui tratteremo oggi?

utilizzano misure
acquisite sul campo

consentono la valutazione
del danno ambientale

consentono la valutazione del rischio
chimico, biologico, radiologico

utilizzano dati acquisiti
in emergenze analoghe

consentono *performance assessment*
e consentono un'accurata
valutazione degli impatti

Cos'hanno in comune i 3 sistemi modellistici di cui tratteremo oggi?

sono numerici

sono programmi informatici

funzionano ad
emergenza in corso

sono deterministici

fanno previsioni (prognosi)

sono delle catene
modellistiche

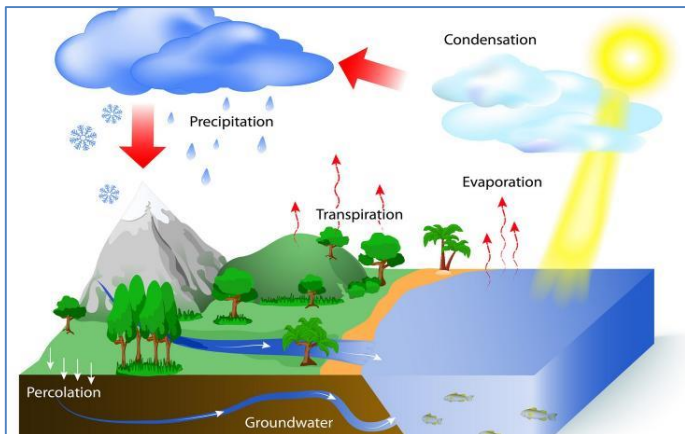
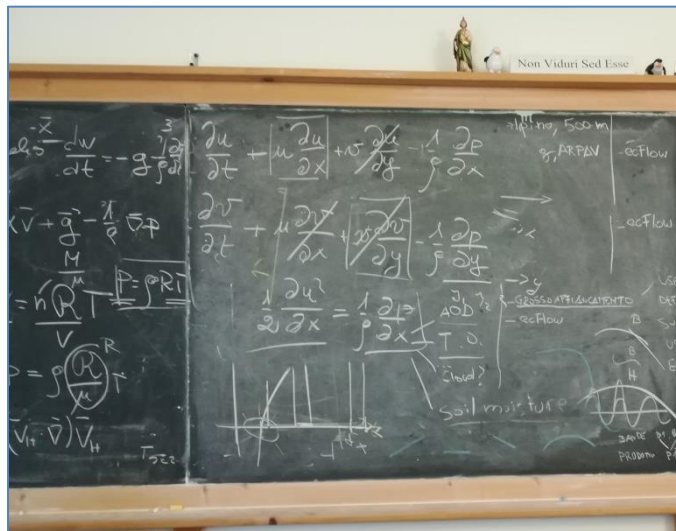
necessitano di
condizioni al contorno

sono utili per una
«visione di insieme»

high performance computing
utilizzano il calcolo
intensivo

preparedness and readiness
sono elementi di
«preparazione e prontezza»

necessitano di modelli globali
servono ad orientare le
attività sul campo



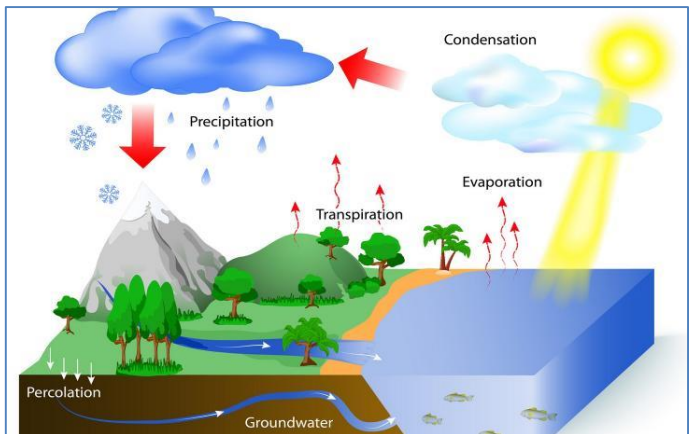
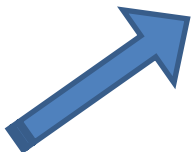
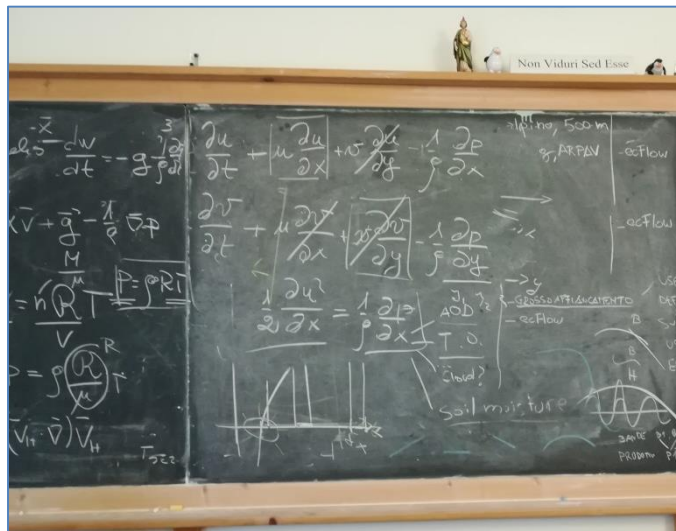
```

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 , &
        mp_physics , ra_lv_physics , ra_sw_physics , sf_sfclay_physics , &
        sf_surface_physics , bl_pbl_physics , cu_physics
    
```





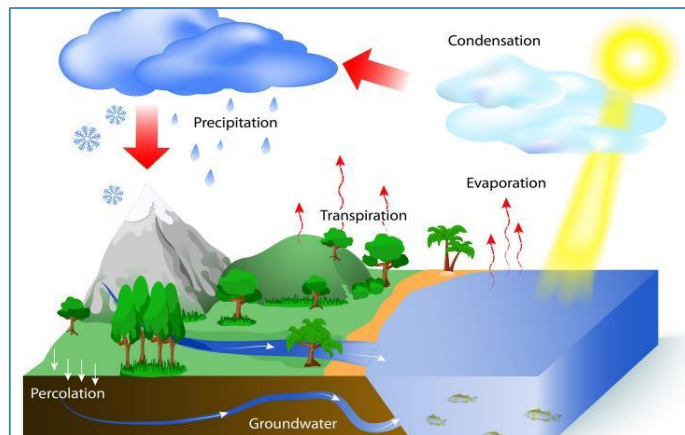
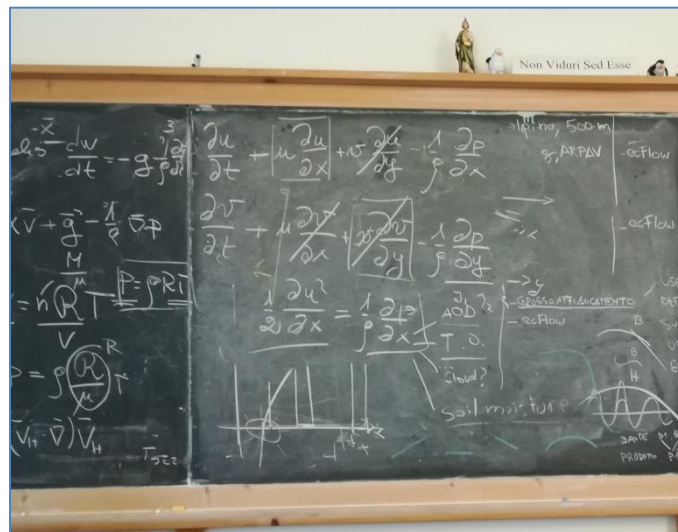
```

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 , 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 , &
        mp_physics , ra_lv_physics , ra_sw_physics , sf_sfclay_physics , &
        sf_surface_physics , bl_pbl_physics , cu_physics
    
```



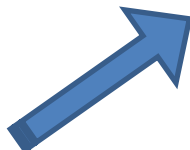


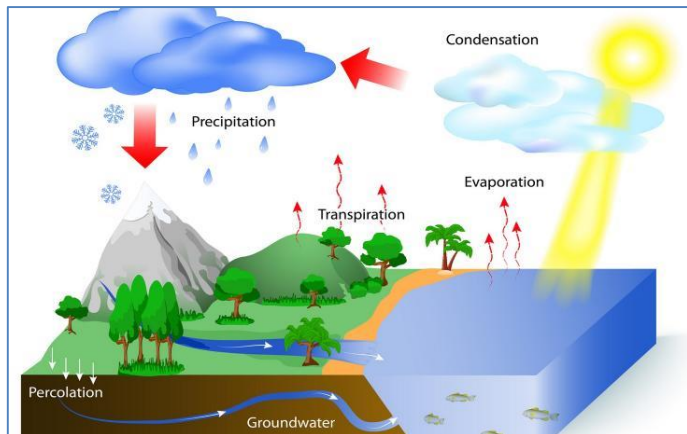
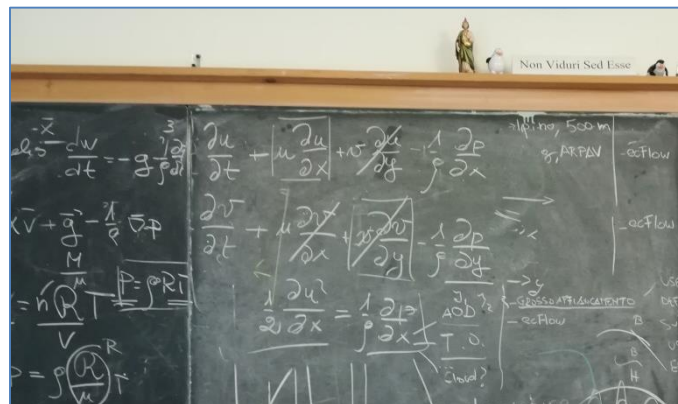
```

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 , 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 , &
mp_physics , ra_lv_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 gmt, 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
    
```



I modelli che vedremo oggi sono:

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» dal calcolatore

In questi modelli, le equazioni che governano il sistema sono **leggi generali della fluidodinamica** (atmosfera, mare...) => 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 e di sapere cosa succede «ai bordi»)



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

Per questo **hanno dei nomi** (WRF, SPRAY, HYSPLIT, SHYFEM, GNOME...) 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

Cosa cambia da un posto all'altro?



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

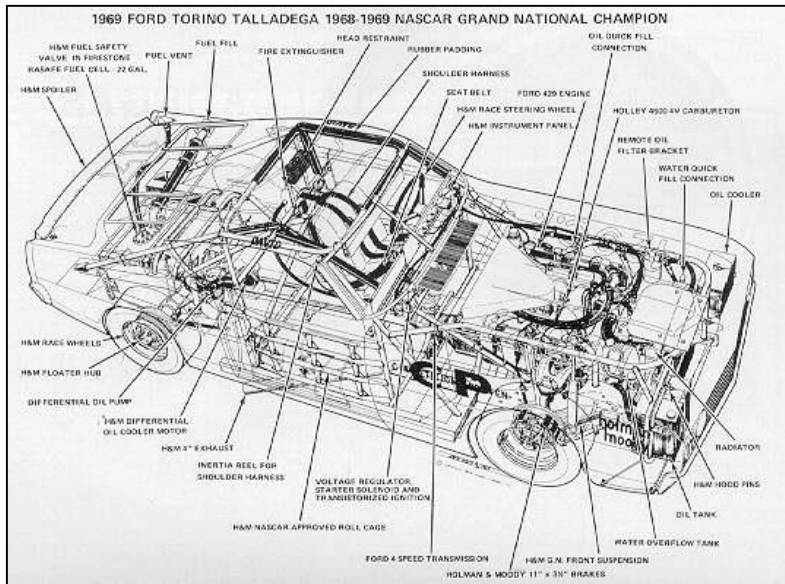
Cosa cambia da un posto all'altro?



Il «modello numerico» è il motore.

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...

Si parla di «**catene modellistiche**»:
un modello alimenta dinamicamente un altro (lo vedremo)





Questi modelli fanno evolvere dei fenomeni (delle variabili) in un'**area definita** (dominio), ma devono sapere cosa «entra» dai **bordi** (vento, correnti marine, ecc.).

Si ricorre perciò a **modelli di scala più ampia**. In cima, più o meno distanti nella «catena», ci sono dei **modelli globali** («chiusi su se stessi»).



Questi modelli fanno evolvere dei fenomeni (delle variabili) in un'**area definita** (dominio), ma devono sapere cosa «entra» dai **bordi** (vento, correnti marine, ecc.).

Si ricorre perciò a **modelli di scala più ampia**. In cima, più o meno distanti nella «catena», ci sono dei **modelli globali** («chiusi su se stessi»).



Nella «catena» c'è sempre del «**calcolo intensivo**», in uno o più «anelli».

Per ARPA FVG, questo si svolge sul **cluster regionale di calcolo** ad alte prestazioni (HPC) «FENICE», di Regione ed ARPA FVG.





Questi modelli fanno evolvere dei fenomeni (delle variabili) in un'area **definita** (dominio), ma devono sapere cosa «entra» dai **bordi** (vento, correnti marine, ecc.).

Si ricorre perciò a **modelli di scala più ampia**. In cima, più o meno distanti nella «catena», ci sono dei **modelli globali** («chiusi su se stessi»).



Nella «catena» c'è sempre del «**calcolo intensivo**», in uno o più «anelli».

Per ARPA FVG, questo si svolge sul **cluster regionale di calcolo** ad alte prestazioni (HPC) «FENICE», di Regione ed ARPA FVG.



Alcuni anelli della «catena» sono attivi e producono dati quotidianamente (**operational**), per diversi scopi, altri sono attivati dall'operatore come Risposta in Emergenza





Leonhard Euler
(1707-1783)

è «euleriana» la ricostruzione di venti, correnti, temperature che, nella catena, sta «a monte» dei modelli che utilizziamo

Cos'hanno in comune i 3 sistemi modellistici di cui tratteremo oggi?

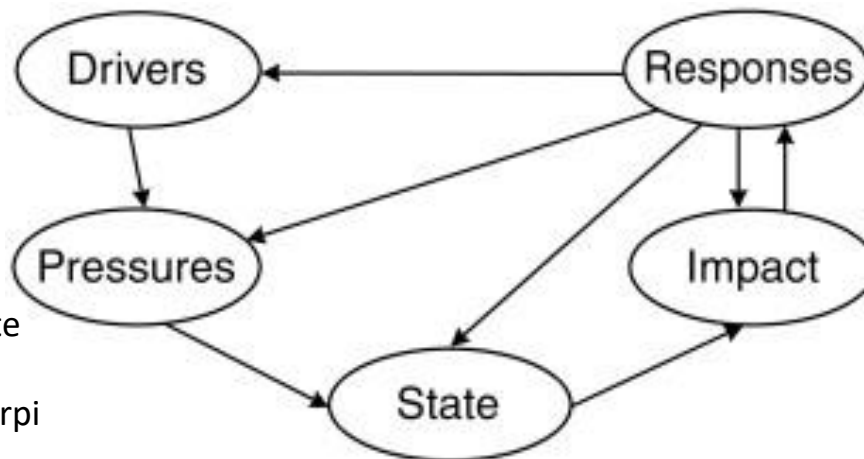
è «lagrangiana» la ricostruzione del moto delle «particelle» che consideriamo (oil spill, incendio, traiettorie transcontinentali)

Giuseppe Luigi Lagrangia,
naturalizzato Joseph-Louis Lagrange
(1736 –1813)



Infine, ricordiamo lo **schema interpretativo DPSIR** (Determinanti, Pressioni, Stato, Impatto, Risposte), utile per inquadrare le alterazioni causate dall'uomo sull'ambiente (e i tentativi per porvi rimedio), anche nel contesto delle emergenze.

Forzanti naturali (clima, orografia...) e antropiche (densità di popolazione, consumi energetici...)



Pressioni dirette esercitate dall'uomo (emissioni in atmosfera, scarichi nei corpi idrici...)

Stato dell'ambiente, nelle sue diverse componenti (biodiversità, qualità dell'aria e delle acque...)

Leggi, regolamenti, introduzione di nuove tecnologie, comportamenti...

Sull'ambiente (perdita di biodiversità, presenza di inquinanti...) e sulla salute

La catena modellistica che utilizziamo per la previsione della **dispersione dei fumi degli incendi....**

La catena modellistica che utilizziamo per la previsione della **dispersione dei fumi degli incendi....**

è una derivazione di quella che utilizziamo per le Valutazioni di Impatto Ambientale

... adattata: per fare **previsioni** con un orizzonte di alcune **ore/giorni**, anziché valutare scenari con la durata tipica di un anno.

E' una catena piuttosto **complessa**, dal punto di vista della fisica dell'atmosfera, rispetto ad altri modelli tipicamente utilizzati per la risposta in emergenza.

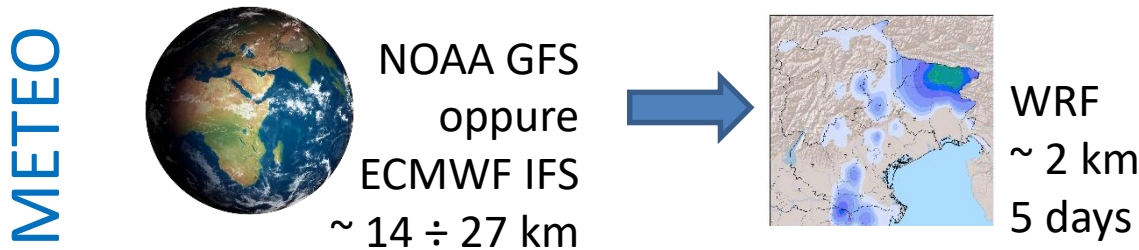
E' invece «**povera**» nella **caratterizzazione fisico-chimica della sorgente** (l'incendio) e dunque anche delle emissioni (di cui si possono avere stime solo «a posteriori»).

Conseguentemente: la utilizziamo per **indirizzare le misure in campo** (aree di maggior ricaduta dei fumi), non per ottenere stime di concentrazione di polveri o composti.



La catena modellistica che utilizziamo per la previsione della **dispersione dei fumi degli incendi...**

è una derivazione di quella che utilizziamo per le Valutazioni di Impatto Ambientale



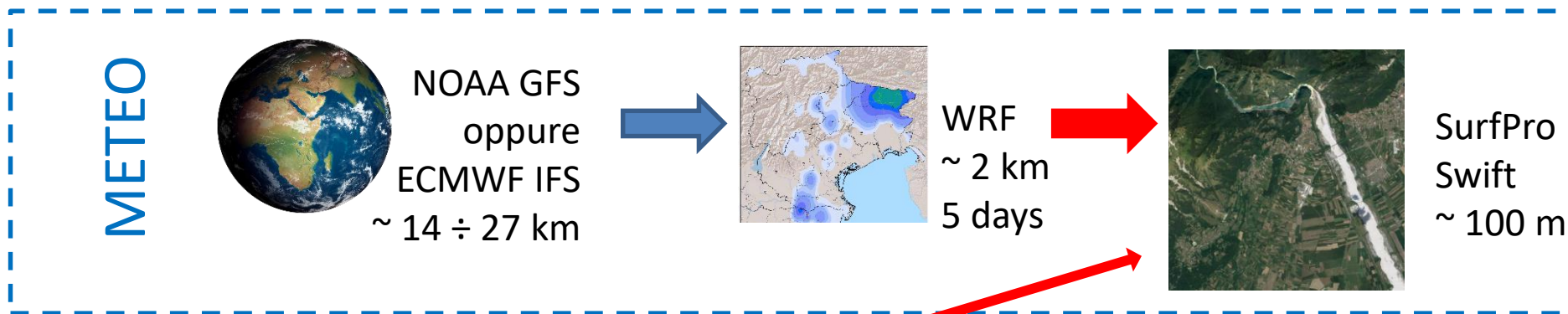
Questa parte della catena è «**operativa**»: attiva **tutti i giorni**, in **automatico**.

Acquisisce dai **modelli atmosferici globali** (NOAA, ECMWF) le previsioni (+5 giorni) e le utilizza come **condizioni al contorno** per una simulazione a **più alta risoluzione** spaziale (WRF), eseguita sul cluster di calcolo regionale.



La catena modellistica che utilizziamo per la previsione della **dispersione dei fumi degli incendi...**

è una derivazione di quella che utilizziamo per le Valutazioni di Impatto Ambientale

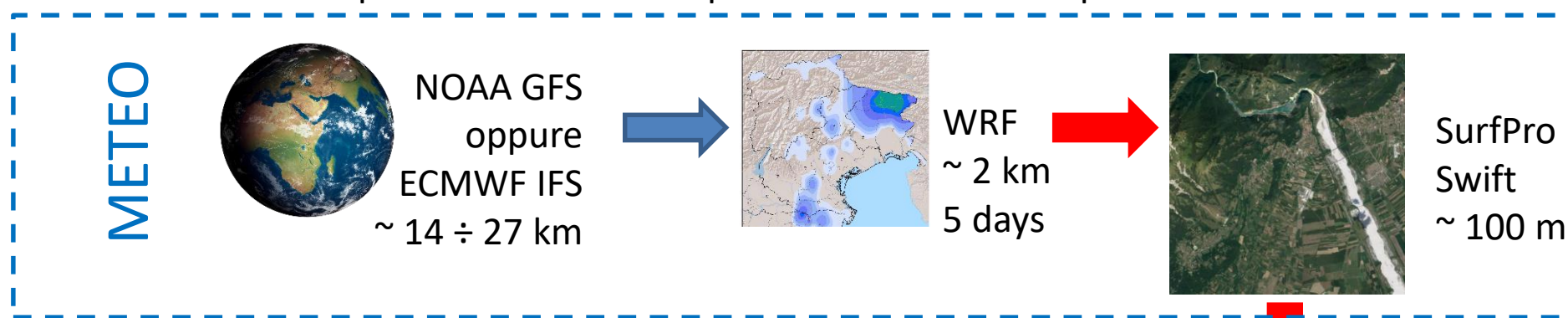


Qui inizia la parte che viene **eseguita** dall'operatore **quando c'è un incendio**: un'ulteriore «**discesa di scala**» dei campi meteorologici, fino ad una spaziale risoluzione dell'ordine dei 100 m



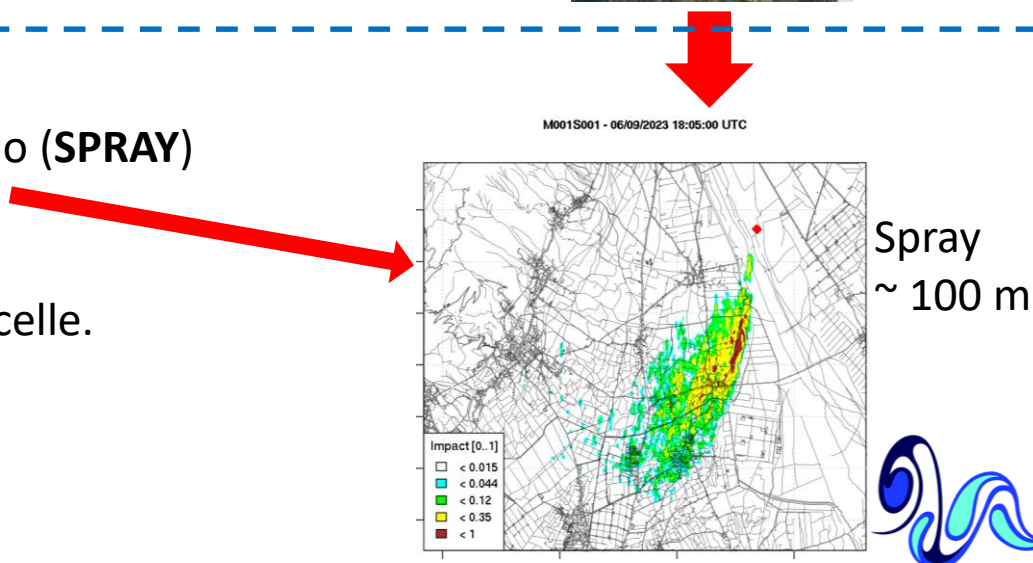
La catena modellistica che utilizziamo per la previsione della **dispersione dei fumi degli incendi...**

è una derivazione di quella che utilizziamo per le Valutazioni di Impatto Ambientale



E qui entra finalmente in gioco il modello (**SPRAY**) che simula la **dispersione dei fumi**.

SPRAY è un modello lagrangiano a particelle.



La catena modellistica che utilizziamo per la previsione della **dispersione dei fumi degli incendi....**

E' stata prevista un'interfaccia utente accessibile da **web browser**.

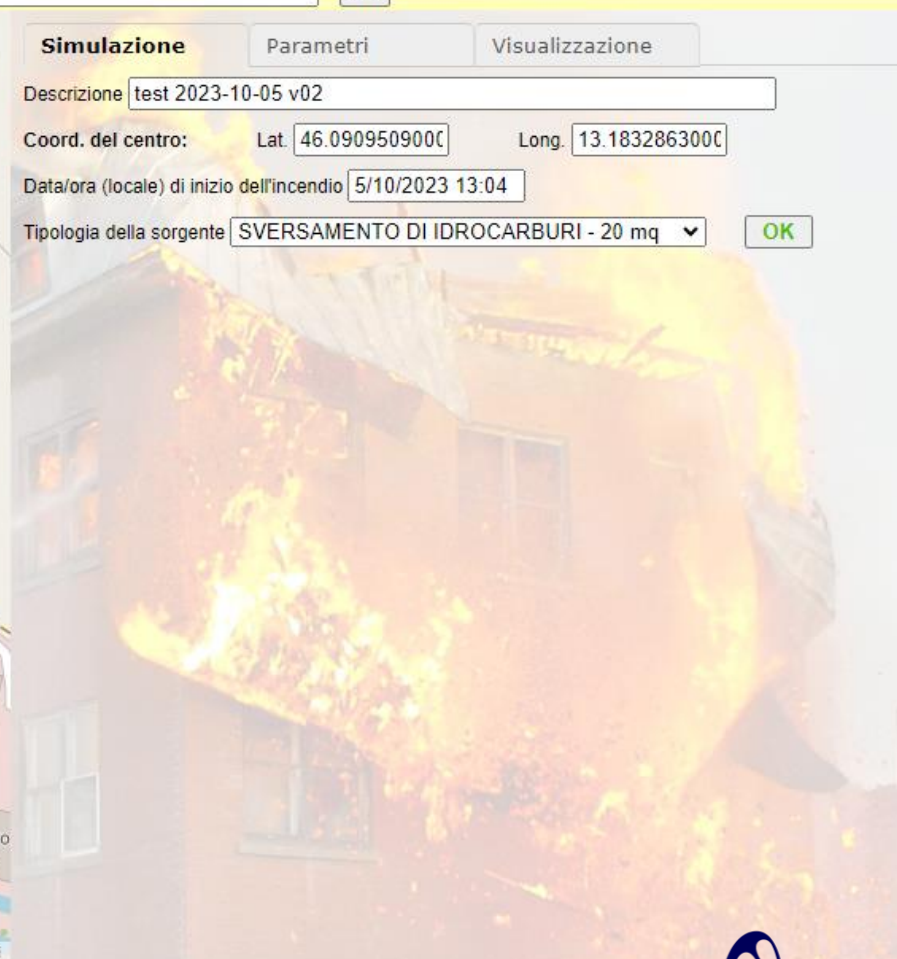
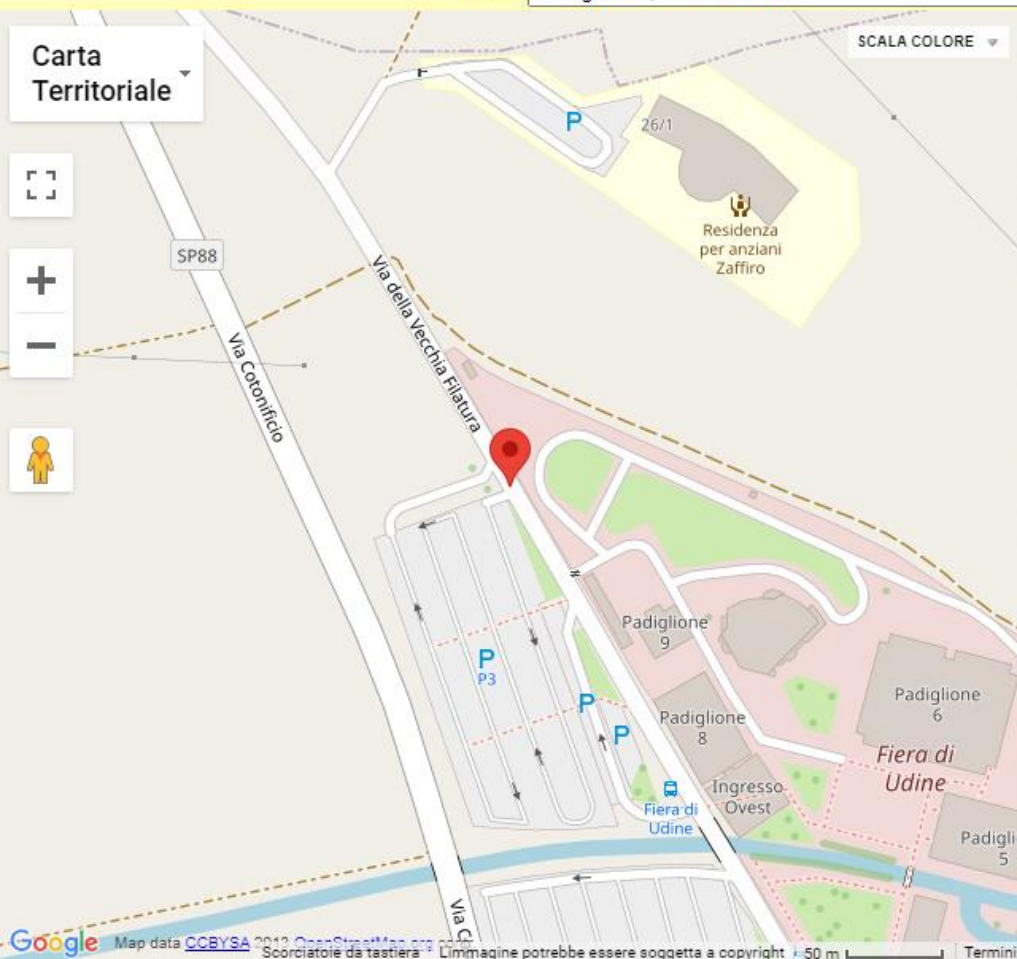
La catena modellistica viene eseguita su **cluster di calcolo** (preparazione dell'input orografico e di uso del suolo; downscale dei campi meteorologici; stima dei parametri di stabilità atmosferica; esecuzione del modello lagrangiano a particelle SPRAY).

Forte automazione: degli oltre 600 parametri potenzialmente accessibili all'utente per la configurazione della catena modellistica, solo i pochi essenziali sono richiesti per l'esecuzione della simulazione.



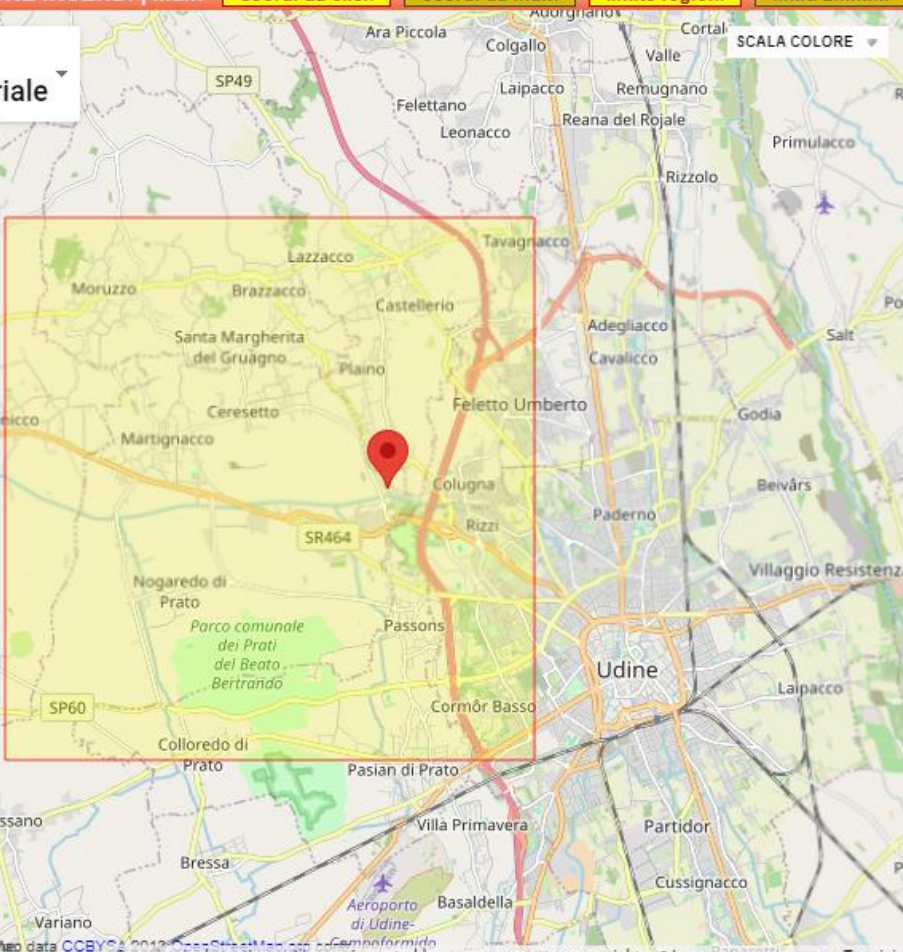
SIMULAZIONE INCENDI | Main

Indirizzo



SIMULAZIONE INCENDI | Main | **coord. da click** | **coord. da indir.** | **limite region.** | **limiti ammin.** | **mis. distanze** | **reset mappa** | **logout**

Carta Territoriale



Google data CCBY-SA 2012 StreetView data - Geoportale della Regione Friuli Venezia Giulia
Scorciatoie da tastiera: L'immagine potrebbe essere soggetta a copyright. 2 km | Termini

Simulazione | **Parametri** | **Visualizzazione**

dominio

estensione (km) Lat. Long. risoluzione (m)

risoluzione meteo (m) visualizza

spostamento (km) verso ovest verso sud nascondi

simulazione

Durata di ciascun passo 30 min 40 min 50 min 1 h 1 h 40 min

profilo

#1	<input type="text" value="0.5"/>	✗
#2	<input type="text" value="1"/>	✗
#3	<input type="text" value="1"/>	✗
#4	<input type="text" value="1"/>	✗
#5	<input type="text" value="0.5"/>	✗
#6	<input type="text" value="0"/>	✗
		+

parametri tipo sorgente

Densità di potenza max (kw/m2)

Superficie massima

Altezza del fuoco

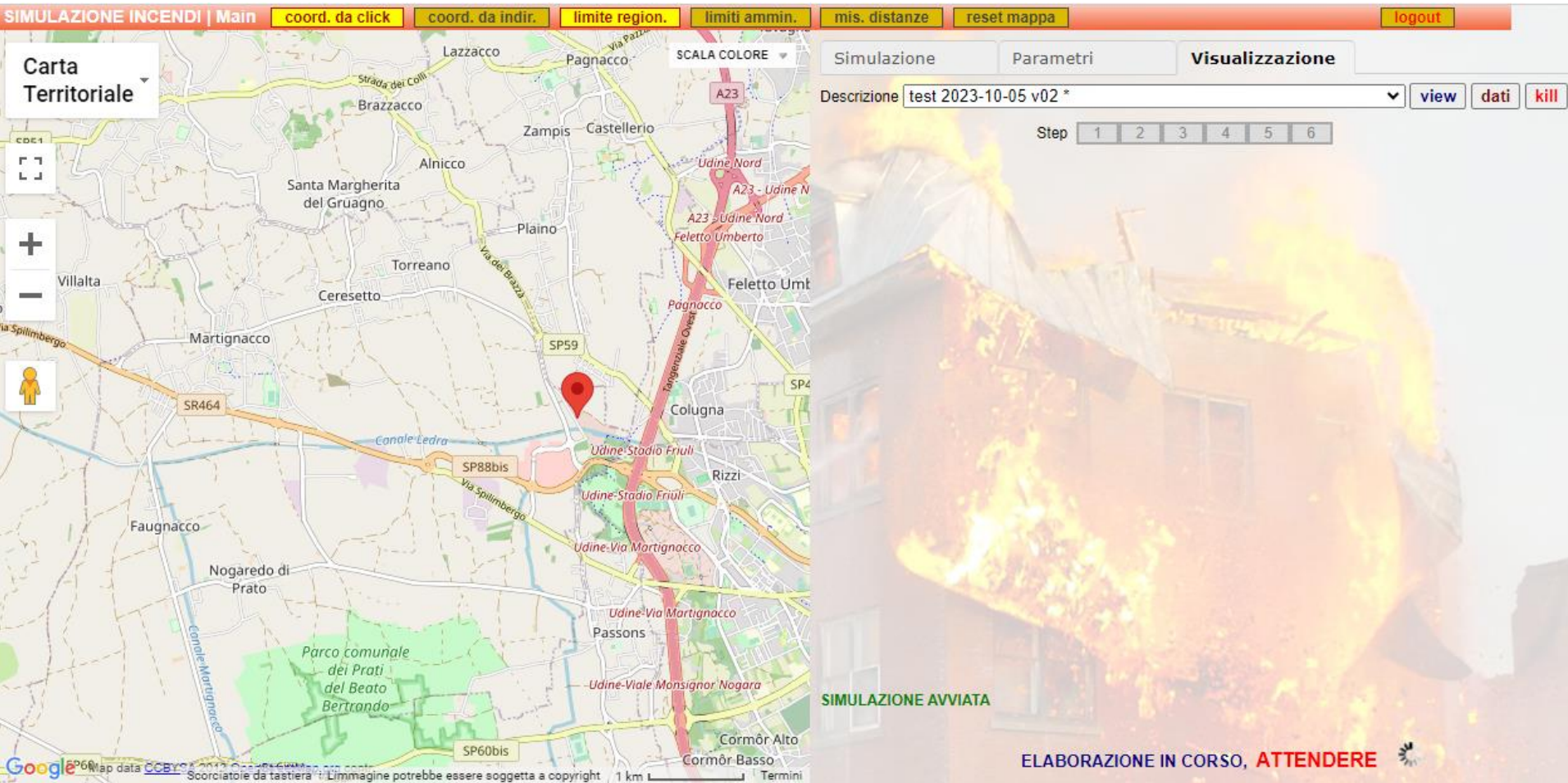
GO

SIMULAZIONE INCENDI | Main **coord. da click** **coord. da indir.** **limite region.** **limiti ammin.** **mis. distanze** **reset mappa** **logout**

Carta Territoriale

Descrizione: test 2023-10-05 v02 * **view** **dati** **kill**

Step: 1 2 3 4 5 6



SIMULAZIONE AVVIATA

ELABORAZIONE IN CORSO, **ATTENDERE**

Avanzamento della simulazione

SIMULAZIONE INCENDI | Main | coord. da click | coord. da indir. | limite region. | limiti ammin. | mis. distanze | reset mappa | logout

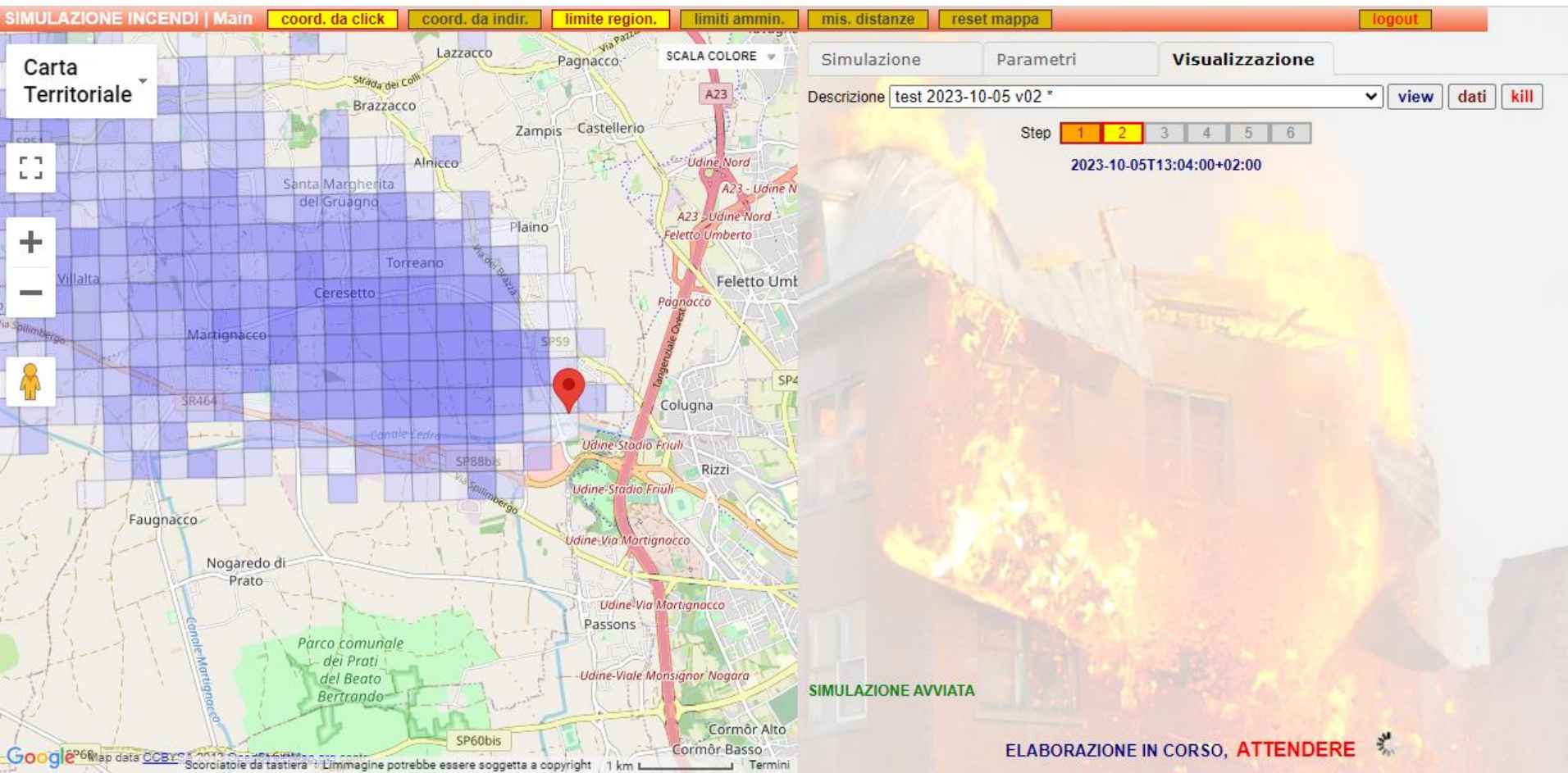
Carta Territoriale

Simulazione | Parametri | **Visualizzazione**

Descrizione: test 2023-10-05 v02 * view dati kill

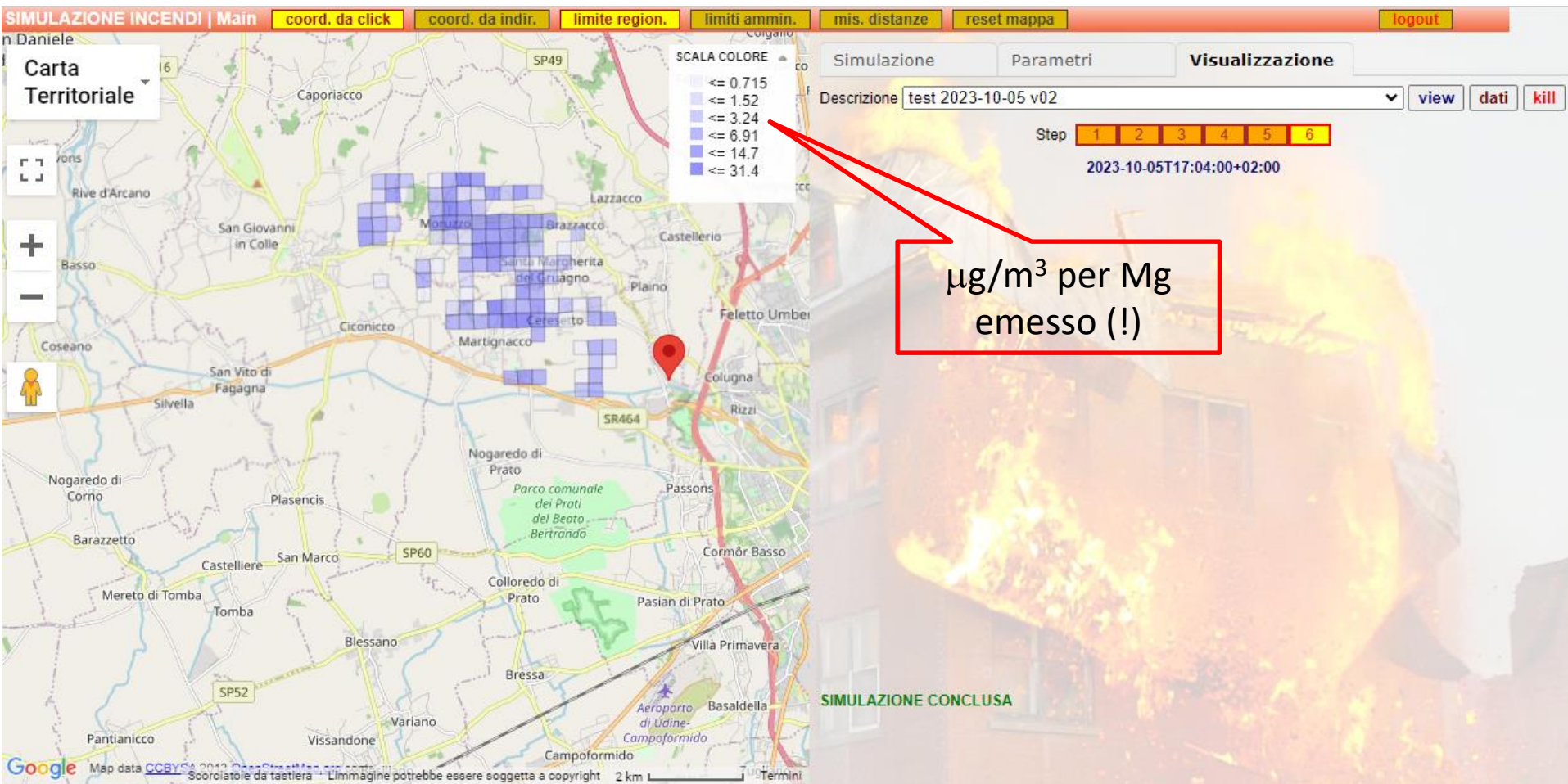
Step: 1 2 3 4 5 6

2023-10-05T13:04:00+02:00



SIMULAZIONE AVVIATA

ELABORAZIONE IN CORSO, ATTENDERE



Carta Territoriale

SP49

SCALA COLORE

Simulazione Parametri **Visualizzazione**

Descrizione test 2023-10-05 v02 view dati kill

Step 1 2 3 4 5 6

2023-10-05T17:04:00+02:00

DATI METEO USATI NELLA SIMULAZIONE

step #	riseAVG	riseRMS	timeAVG	partNum
1	115	9.9	160	2950
2	249	24	340	6300
3	318	21	430	6050
4	433	41	570	5770
5	881	200	1800	2520
6	405	210	830	667

dataOra	windSpeed10m	direction	totalRadiation	pgt	mixHeight	M_O_length	uStar
2023-10-05T12:00+02:00	1.6	98	527	B (instabile)	1010	-5.06	0.16
2023-10-05T13:00+02:00	1.2	103	513	B (instabile)	1170	-2.99	0.13
2023-10-05T14:00+02:00	0.92	129	449	B (instabile)	1210	-2.03	0.11
2023-10-05T15:00+02:00	0.68	155	323	A (molto instabile)	1220	-1.53	0.085
2023-10-05T16:00+02:00	0.45	175	134	B (instabile)	1220	-2.47	0.058
2023-10-05T17:00+02:00	0.67	82	32	B (instabile)	50.3	2.2	0.025
2023-10-05T18:00+02:00	1	96	NaN	B (instabile)	50.3	3.43	0.039
2023-10-05T19:00+02:00	0.56	144	NaN	C (leggermente instabile)	50.3	1.85	0.021

Legenda

variabile	u.m.	descrizione
riseAVG	m	innalzamento medio delle particelle
riseRMS	m	scarto quadratico dell'innalzamento
timeAVG	s	tempo medio dell'innalzamento
partNum		N° delle particelle coinvolte
windSpeed10m	m/s	velocità del vento a 10m
direction	deg N	direzione del vento (0° = vento da Nord; 90° = vento da Est)
totalRadiation	W/m ²	radiazione globale
pgt		classe di stabilità di Pasquill Gifford
mixHeight	m	altezza di rimescolamento
M_O_length	m	Lunghezza di Monin Obukhov
uStar	m/s	velocità di frizione

DATI DELLA SIMULAZIONE

Francesco Unità di misura [ug/m3] per emitted Mg

11:12:38+02:00 Fine elab. 2023-10-05T13:14:36+02:00

05T12:04:00+02:00 Durata step 1h

TO DI IDROCARBURI - 20 mg

4) LON 13,1843162683 LAT 46,0903110034

ON tiles 31 # LAT tiles 31 Lato tile (m) 300

to griglia (LON) 9km 300m Lato griglia (LAT) 9km 300m

prima tile (Nord-Ovest) LON 353137 LAT 5110484

o 600m

di potenza max (kw/m2) 250

ce massima 40

a del fuoco 0

step # 1 0,5

step # 2 1

step # 3 1

step # 4 1

step # 5 0,5

step # 6 0

mostra dati meteo

*(da verificare sempre
sentendo il previsore in
turno...!)*



Utilizzata per **prevedere le aree di maggior ricaduta** in aria-ambiente dei fumi da incendio.

Basata sul **modello lagrangiano a particelle SPRAY**, inserito a valle di una **catena di previsione di campi meteorologici** ad alta risoluzione.

Incertezza nelle stime, dovuta soprattutto alle poche informazioni su una **sorgente emissiva complessa** dal punto di vista della «fisica» (potenza del rogo, evoluzione temporale, operazioni di spegnimento...) e ancor più della «chimica» (materiali combustibili, sostanze emesse).

Possibili inaccurately nelle **previsioni meteo-numeriche** (su fenomeni di breve durata, basta un'ora di «sfasamento» nella previsione del vento...)

Strumento da considerare nel **complesso del Sistema di Risposta** in Emergenza (assieme alle osservazioni dirette degli operatori sul campo, alle misure, alle previsioni meteorologiche, ecc.)

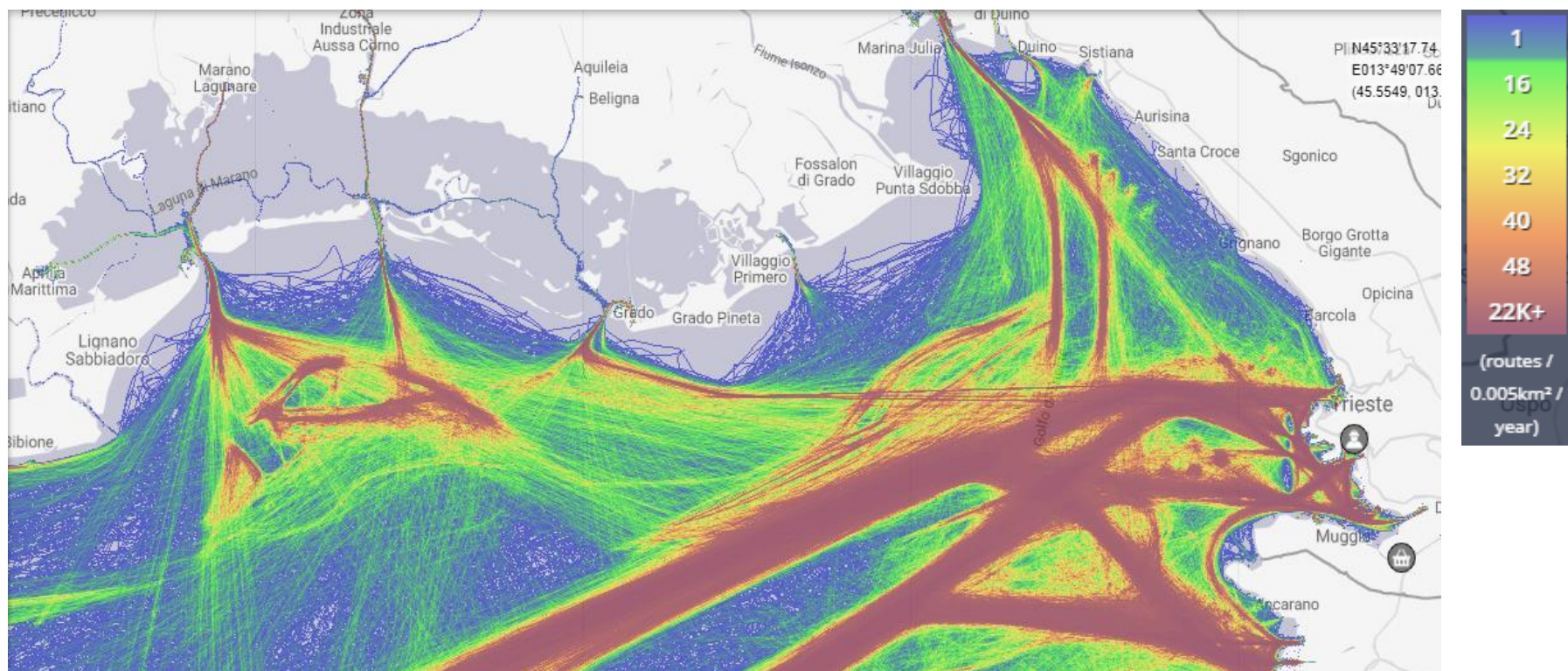


Modellistica applicata alle emergenze ambientali

Emergenze Ambientali in Mare: inquinamento da
idrocarburi e da altre sostanze pericolose e nocive

ARPA FVG Simone Martini
SOS Acque Marine e di Transizione
Strategia Marina

IAL 2023 | Palmanova | 31 Ottobre 2023



Esempio di **pressione ambientale**

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

Gli esposti e le loro vulnerabilità



I livelli di emergenza

LIVELLO 1

Inquinamento lieve o
di media gravità

Piani Operativi Locali (POL) dei
Compartimenti marittimi

LIVELLO 2

Inquinamento grave o
potenzialmente tale

DM MASE n.389 del
13/10/2022

LIVELLO 3

Inquinamento gravissimo o
potenzialmente tale

DPCM 11 ottobre 2022

Il personale dell'Agenzia interviene nelle emergenze di LIVELLO 1, su richiesta del Capo di Compartimento Marittimo, mentre nelle emergenze di livello 2 e 3 su richiesta di ISPRA.

I livelli di emergenza

LIVELLO 1

Inquinamento marino lieve o di media gravità, o potenzialmente tale, che per entità e/o estensione e/o tipologia di inquinante può essere gestito con personale, equipaggiamento e attrezzature localmente disponibili, senza rappresentare diretta, immediata e consistente minaccia per l'ambiente marino e per la costa e per il quale non sussistono rischi per la salute umana e per le attività socioeconomiche. Es. **sversamenti di idrocarburi leggeri** (ad es. diesel) **di piccole/medie quantità** che si verificano nei porti o al largo, per i quali non sussistono rischi per la salute umana, per gli ecosistemi marini e costieri e per le attività socioeconomiche.



La direzione strategica operativa delle operazioni è esercitata dal **Capo di Compartimento Marittimo** che, nelle acque ricadenti nella propria area di competenza, dà attuazione a quanto contenuto nel POL, provvede alla immediata diffida dell'armatore e del Comandante della nave o del mezzo responsabile o del responsabile dell'impianto a terra e/o off-shore, qualora noti, attiva il Centro di Coordinamento e Controllo con le istituzioni locali e richiede il **supporto tecnico-scientifico di enti presenti nell'area (es: ARPA-SNPA, chimico del porto...)**

POL (PIANO OPERATIVO LOCALE): Strumento operativo per la gestione di inquinamento a livello di Compartimento Marittimo: contiene le risorse da impiegare, procedure, contatti, etc

I livelli di emergenza

LIVELLO 2

Inquinamento marino grave, o potenzialmente tale, che per entità e/o estensione e/o tipologia di inquinante rappresenti una seria minaccia per la costa o metta a rischio le aree di alto valore intrinseco e/o che non possa essere gestito con personale, equipaggiamento e attrezzature localmente disponibili. Es. **lo sversamento da una nave in navigazione di rilevanti quantitativi di idrocarburi a causa di incidente (incaglio/collisione/ecc.)**, che potrebbero raggiungere la costa, mettere a rischio le aree di alto valore intrinseco o particolari specie protette, nonché le attività di pesca e allevamento presenti nella zona e, in generale, ogni altro tipo di attività legata ad ogni legittimo utilizzo della risorsa marina.



La direzione strategica è esercitata dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) e quella operativa dal Capo del Compartimento Marittimo (nell'area di sua competenza); **l'ISPRA**, all'interno del Comitato di Coordinamento per l'emergenza, **fornisce supporto tecnico-scientifico al MASE e alle altre istituzioni coinvolte su tematiche di carattere ambientale e coordina le attività delle ARPA locali.**

I livelli di emergenza

LIVELLO 3

Inquinamento gravissimo, o potenzialmente tale, che per entità e/o estensione e/o tipologia di inquinante e delle aree interessate, richiede la dichiarazione di emergenza nazionale. Tale inquinamento coinvolge sia il mare sia le coste. Es. **l'esplosione a bordo di una petroliera che provoca sversamento di ingenti quantità di idrocarburi**, contaminando lunghi tratti di costa della penisola.



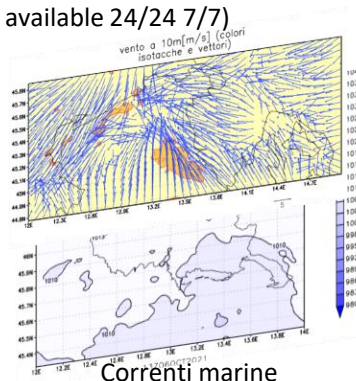
La direzione strategica è attuata dal Dipartimento della Protezione Civile tramite la convocazione del Comitato Operativo nazionale di Protezione Civile. L'Autorità Marittima esercita la direzione operativa delle attività in mare e la Prefettura esercita la direzione operativa delle attività sulla costa. **Le ARPA, in raccordo con ISPRA, hanno competenza nell'ambito della caratterizzazione degli inquinanti e nel monitoraggio e nella valutazione del livello di contaminazione e di rischio ambientale.**



Struttura di calcolo ad alte performance che garantisce dati ambientali sempre aggiornati (daily updated + 72h forecasts) (service available 24/24 7/7)



Struttura High Performance Computing ARPA FVG



1) Acquisizione dati



Modello numerico



- 2) Informazioni sulla sorgente inquinante
- 3) Esecuzione della simulazione



Richiesta di supporto

Pressione ambientale



Risposta

Fornitura del supporto

Risorse

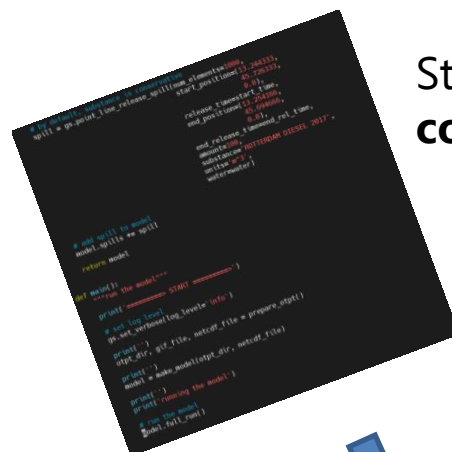


Che cos'è un modello di Oil Spill?

**Modello
 fisico-matematico**
 del fenomeno
 (sversamento di
 idrocarburi)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla C = \nabla \cdot (\vec{K} \nabla C) + \sum_{j=1}^M r_j(\vec{x}, C, t)$$

**Strumento
 computazionale**



Previsione della
traiettoria
 dell'inquinante



Stima del **tempo
 di arrivo** in aree
 di interesse



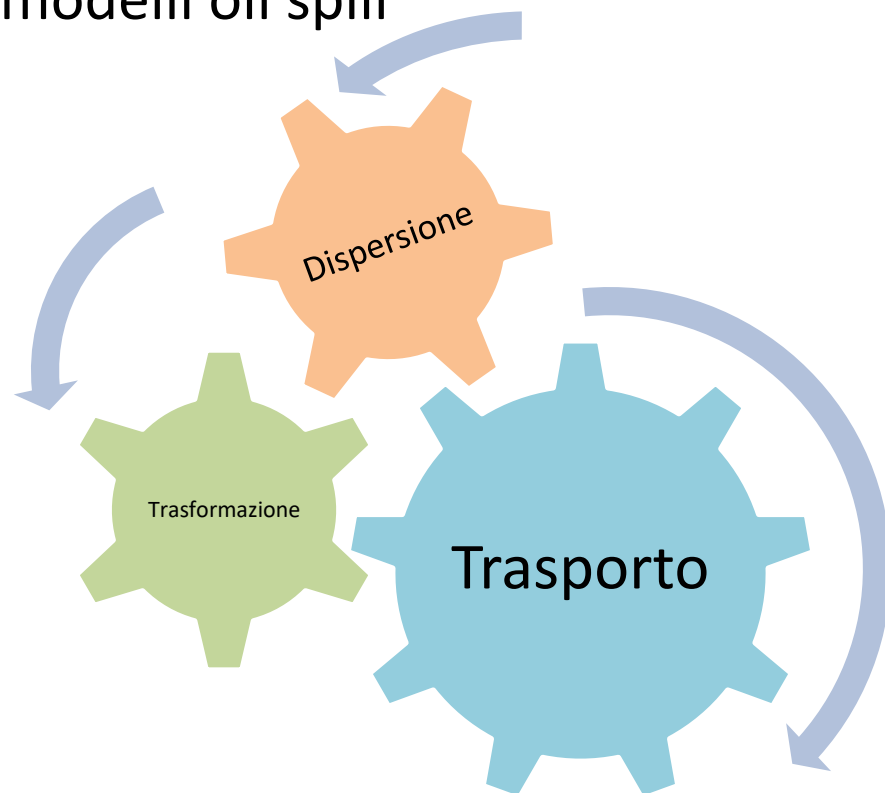
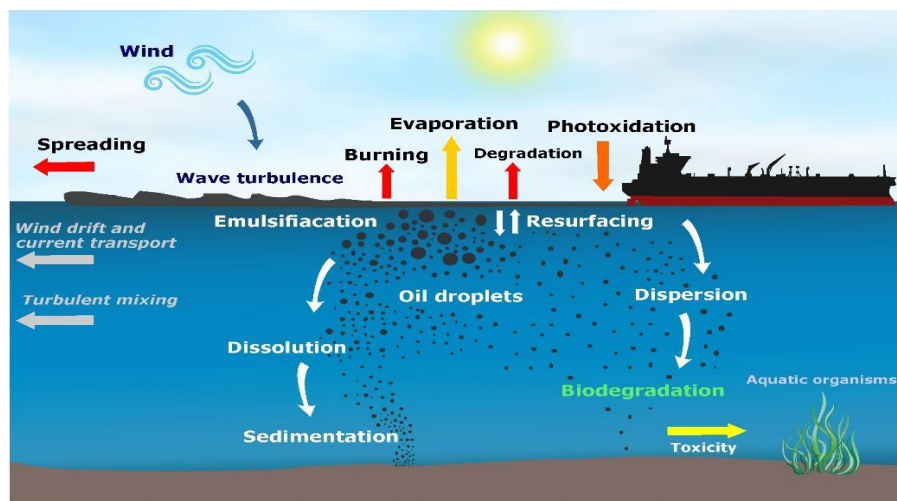
Previsione
 dello **stato**
 dell'inquinante



I processi fisico-chimici riprodotti dai modelli oil spill

I venti e le correnti marine

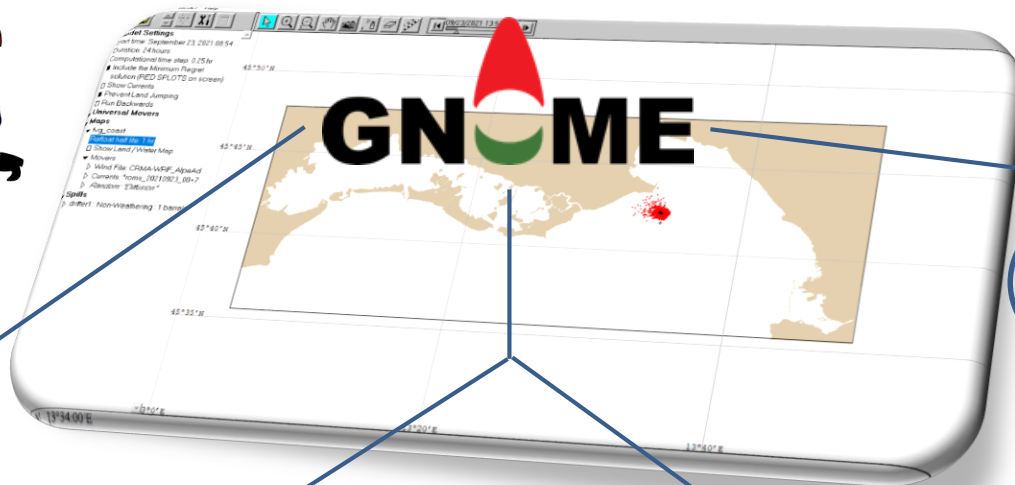
- **Trasportano** l'inquinante
- **Disperdono** l'inquinante



Le condizioni del mare e dell'atmosfera trasformano l'inquinante (weathering)

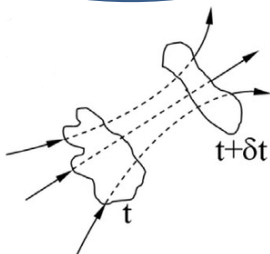
- Chimicamente (reazioni fotochimiche, catalisi, azione batterica ecc.)
- Fisicamente (**evaporazione**, sprofondamento e deposito)

Il modello che utilizziamo operativamente: GNOME del NOAA



Altamente configurabile e user-friendly

Lagrangiano



Versione GUI: GNOME Desktop

Versione batch: PyGNOME

2
D

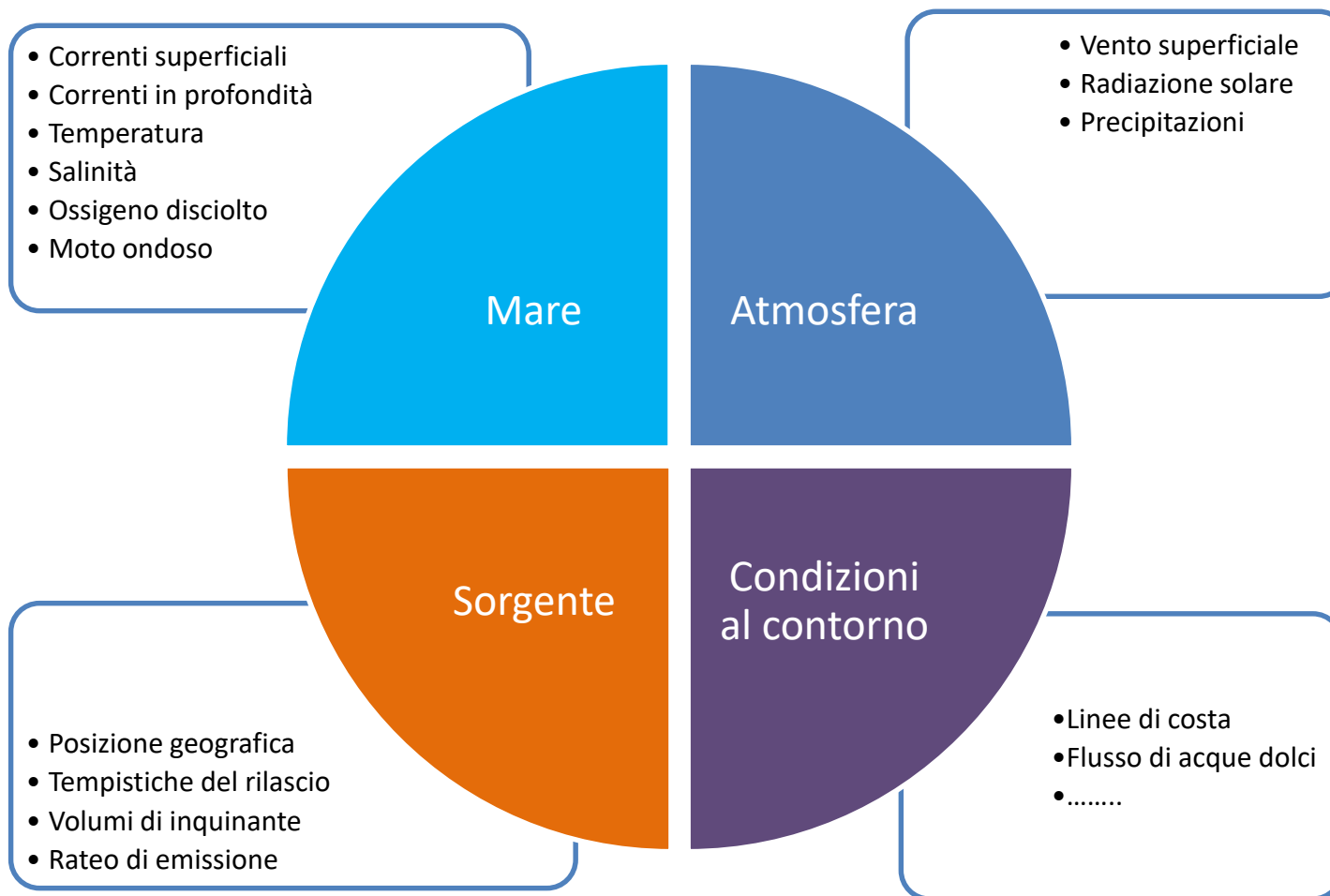
Emergenze

Rischio

3D

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

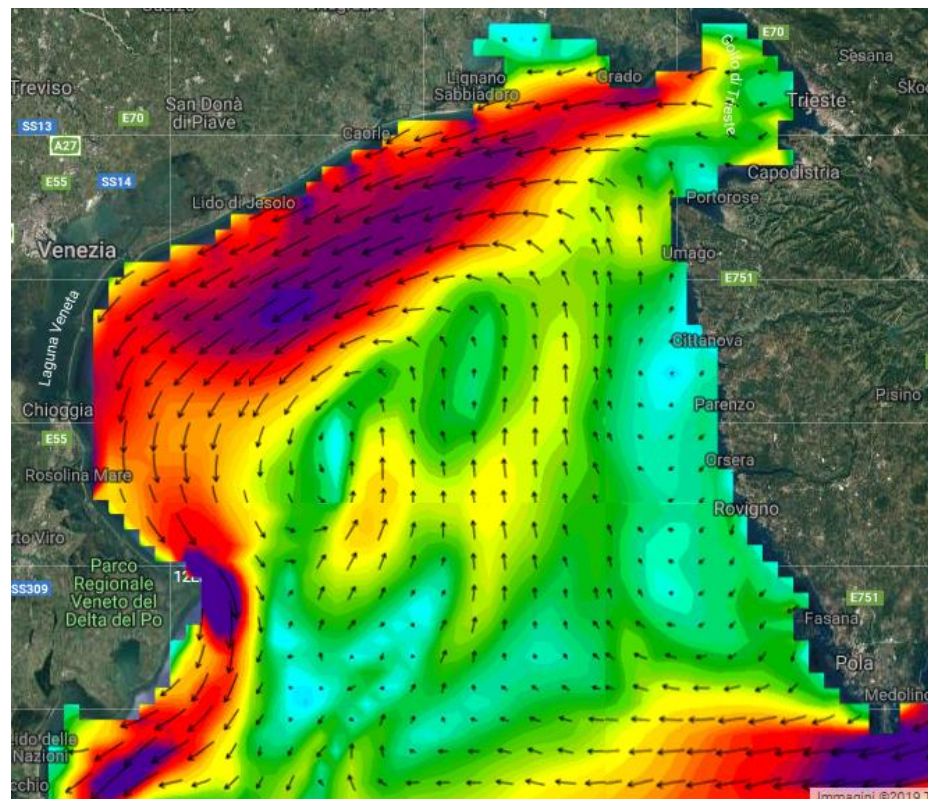
La modellistica a supporto dell'**emergenza** richiede la **previsione** di: **Atmosfera, Mare e Condizioni al contorno**

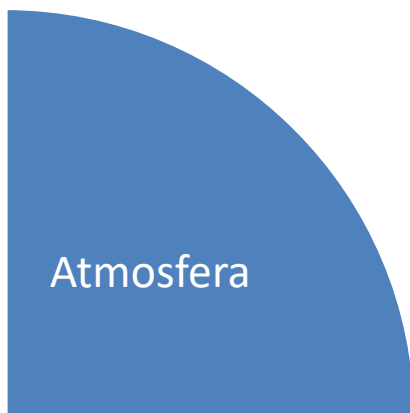




Caratteristiche importanti :

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

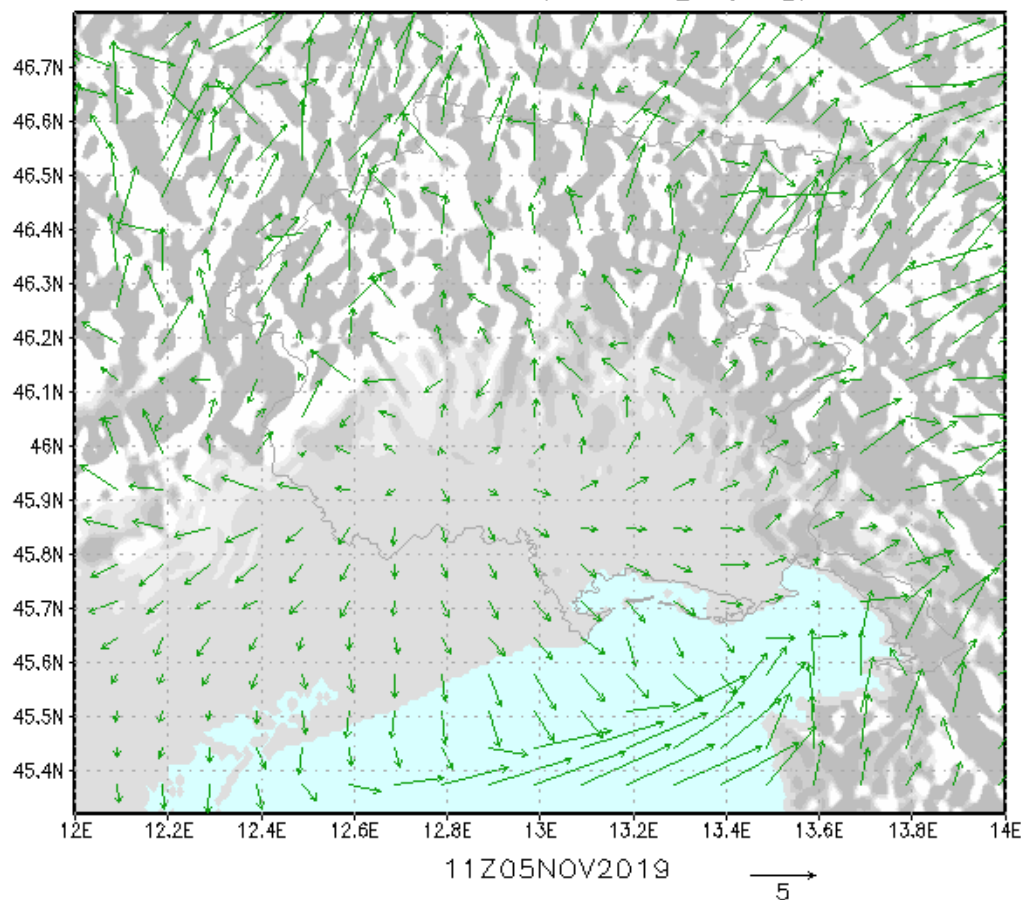




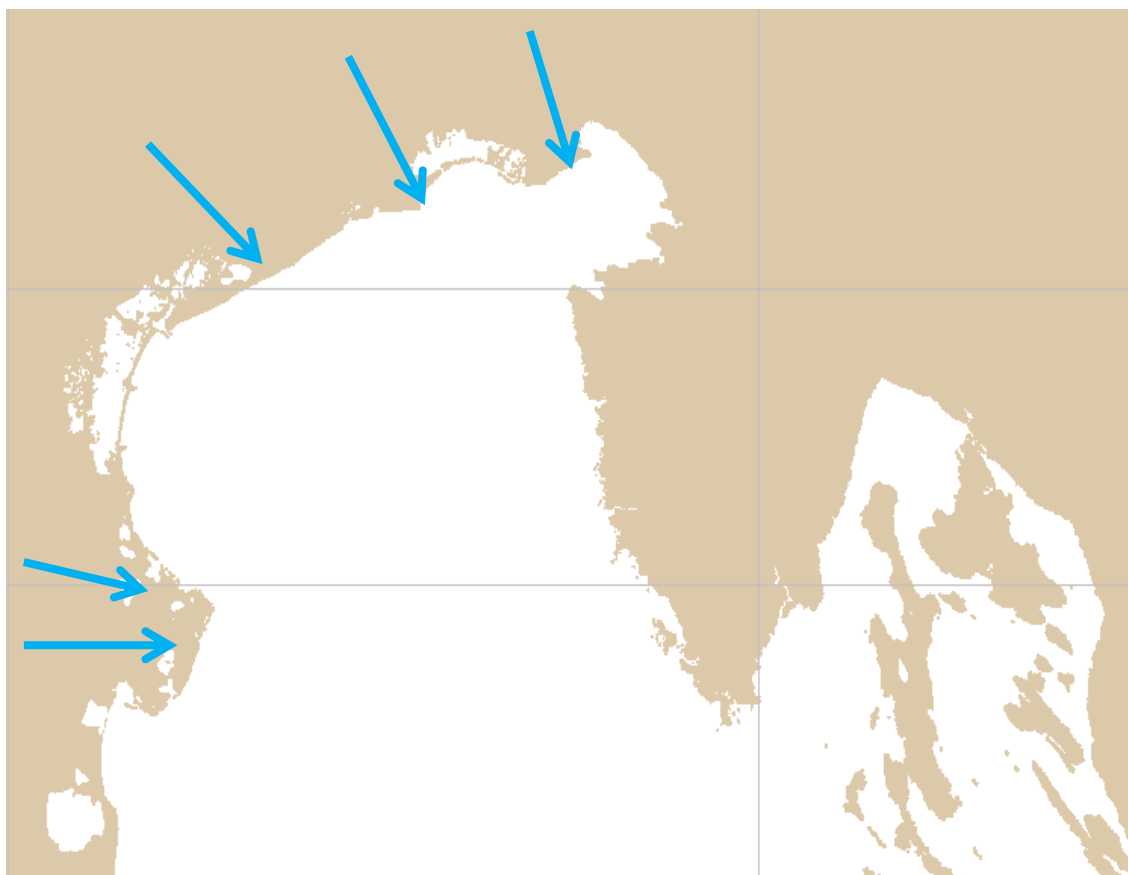
Caratteristiche importanti :

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

Vento a 10m(vettori[m/s])

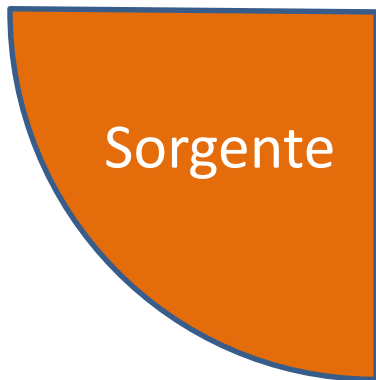


Condizioni
al contorno



Caratteristiche importanti:

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



Caratteristiche importanti:

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





GNOME Model Driving Forces

Interreg IT-HR FIRESPELL @ ARPA FVG - CRMA

ARPA
AGENZIA REGIONALE PER LA
PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
DEL FRIULI VENEZIA GIULIA

Driving forces for oil spill simulations via GNOME model

Domain	Surface currents	Waves at 10 m	Data archive	Last update
FVG coast	Source: CMEMS Model: MedFS (NEMO) Resolution: 4 km, 1 h	Source: ARPA FVG Model: CRMA-WRF Resolution: 2 km, 1 h	WRF-NEMO-FVG	2023-07-11
FVG coast	Source: ARPAE Model: AdriaC (ROMS) Resolution: 2 km, 1 h	Source: ARPA FVG Model: CRMA-WRF Resolution: 2 km, 1 h	WRF-ROMS-FVG	2023-07-11
FVG coast	Source: CMEMS Model: MedFS (NEMO) Resolution: 4 km, 1 h	Source: ARPAE Model: AdriaC (LAMI) Resolution: 2 km, 1 h	LAMI-NEMO-FVG	2023-07-11
FVG coast	Source: ARPAE Model: AdriaC (ROMS) Resolution: 2 km, 1 h	Source: ARPAE Model: AdriaC (LAMI) Resolution: 2 km, 1 h	LAMI-ROMS-FVG	2023-07-11
Trieste Gulf	Source: ARPA FVG Model: CRMA-SHYFEM Resolution: 0.01+4 km, 1 h	Source: ARPA FVG Model: CRMA-WRF Resolution: 2 km, 1 h	WRF-SHY-TSG	2023-07-11
North Adriatic	Source: CMEMS Model: MedFS (NEMO) Resolution: 4 km, 1 h	Source: ARPA FVG Model: CRMA-WRF Resolution: 2 km, 1 h	WRF-NEMO-NAD	2023-07-11
North Adriatic	Source: ARPAE Model: AdriaC (ROMS) Resolution: 2 km, 1 h	Source: ARPA FVG Model: CRMA-WRF Resolution: 2 km, 1 h	WRF-ROMS-NAD	2023-07-11
Adriatic Sea	Source: CMEMS Model: MedFS (NEMO) Resolution: 4 km, 1 h	Source: ARPA FVG Model: CRMA-WRF Resolution: 10 km, 3 h	WRF-NEMO-AS	2023-07-11
Adriatic Sea	Source: ARPAE Model: AdriaC (ROMS) Resolution: 2 km, 1 h	Source: ARPA FVG Model: CRMA-WRF Resolution: 10 km, 3 h	WRF-ROMS-AS	2023-07-11
Adriatic Sea	Source: CMEMS Model: MedFS (NEMO) Resolution: 4 km, 1 h	Source: ARPAE Model: AdriaC (LAMI) Resolution: 2 km, 1 h	LAMI-NEMO-AS	2023-07-11
Adriatic Sea	Source: ARPAE Model: AdriaC (ROMS) Resolution: 2 km, 1 h	Source: ARPAE Model: AdriaC (LAMI) Resolution: 2 km, 1 h	LAMI-ROMS-AS	2023-07-11

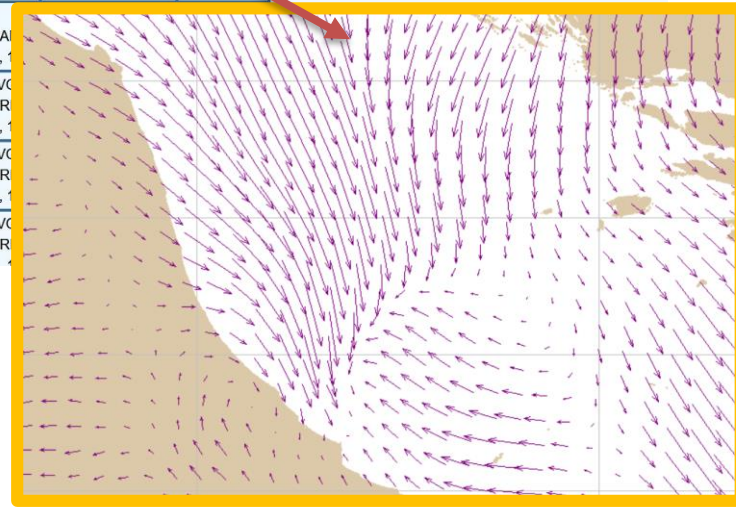
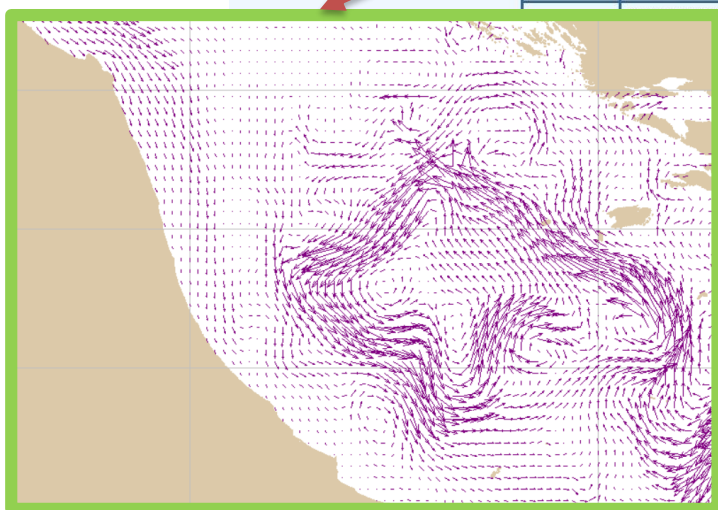


Interreg Italy - Croatia FIRESPELL EUROPEAN UNION Interreg IT-HR FIRESPELL @ ARPA FVG - CRMA

ARPA FVG CRMA

Driving forces for oil spill simulations via GNOME model

Domain	Surface currents	Winds at 10 m	Data archive	Last update
FVG coast	Source: CMEMS Model: MedFS (NEMO) Resolution: 4 km, 1 h	Source: ARPA FVG Model: CRMA-WRF Resolution: 2 km, 1 h	WRF-NEMO-FVG	2023-07-11
FVG coast	Source: ARPAE Model: AdriaC (ROMS) Resolution: 2 km, 1 h	Source: ARPA FVG Model: CRMA-WRF Resolution: 2 km, 1 h	WRF-ROMS-FVG	2023-07-11
FVG coast	Source: CMEMS Model: MedFS (NEMO) Resolution: 4 km, 1 h	Source: ARPAE Model: AdriaC (LAMI) Resolution: 2 km, 1 h	LAMI-NEMO-FVG	2023-07-11



Previsioni (+72 h) quotidianamente aggiornate e messe a disposizione



Collocazione spazio-temporale



Tipologia e quantità di inquinante

Spill Information

Spill Name: test

Pollutant: fuel oil # 6 # Slots: 1000 Windage

Amount Released: 10 barrels Age at Release: 0 hours

Release start

December 6 2021 Lat: Deg: 42 Min: 46.19 North

Start Time: (24-hour) 8 : 30 Long: Deg: 14 Min: 16.4 East

Different end release time Different end release position

Lat: Deg: 42 Min: 35.33 North

Long: Deg: 14 Min: 23 East

decimal degrees degrees/minutes degrees/minutes/seconds

OK Cancel Help...

Settate dall'utente al momento della simulazione

ARPA FVG Supporto alle emergenze tramite GNOME

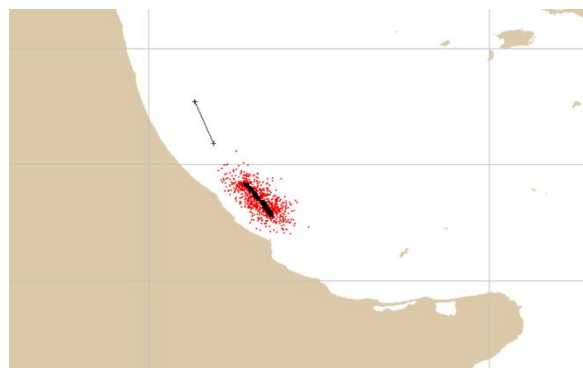
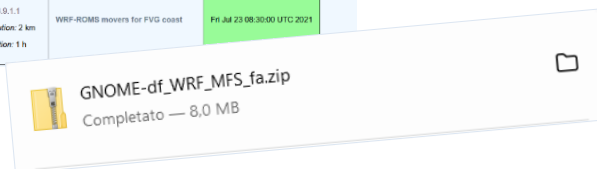


interreg Italy - Croatia FIRESPILL | GNOME model driving forces | ARPA FVG | CRMA

Interreg IT-HR FIRESPILL @ ARPA FVG - CRMA

Driving forces for oil spill simulations via GNOME model

Domain	Surface currents	Winds at 10 m	Link to zip archive	Last update
FVG coast	Source: CMEMS Model: MFS (Med-Currents) - EAS6 Product: MEDSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_006_013 Horizontal resolution: 1/24' (ca. 4 km) Temporal resolution: 1 h	Source: ARPA FVG - CRMA Model: WRF v. 3.9.1.1 Horizontal resolution: 2 km Temporal resolution: 1 h	WRF-MFS movers for FVG coast	Fri Jul 23 08:30:04 UTC 2021
FVG coast	Source: Arpa - SIMC Model: AdriaROMS Horizontal resolution: 2 km Temporal resolution: 3 h	Source: ARPA FVG - CRMA Model: WRF v. 3.9.1.1 Horizontal resolution: 2 km Temporal resolution: 1 h	WRF-ROMS movers for FVG coast	Fri Jul 23 08:30:00 UTC 2021



Spill Information

Spill Name: test

Pollutant: fuel oil # 6 # Spots: 1000 Windage

Amount Released: 10 barrels Age at Release: 0 hours

Release start
 December 6 2021 Lat. Deg: 42 Min: 46.19 North
 Start Time: 8 : 30 Long. Deg: 14 Min: 16.4 East

Different end release time Different end release position
 Lat. Deg: 42 Min: 35.33 North
 Long. Deg: 14 Min: 23 East

decimal degrees
 degrees/minutes
 degrees/minutes/seconds

OK Cancel Help...



Simulazioni previsionali in aree sensibili o ad elevato traffico marittimo

Download

To identify the simulation of interest, please click on the ID, or see the [table](#) at the end of the page.

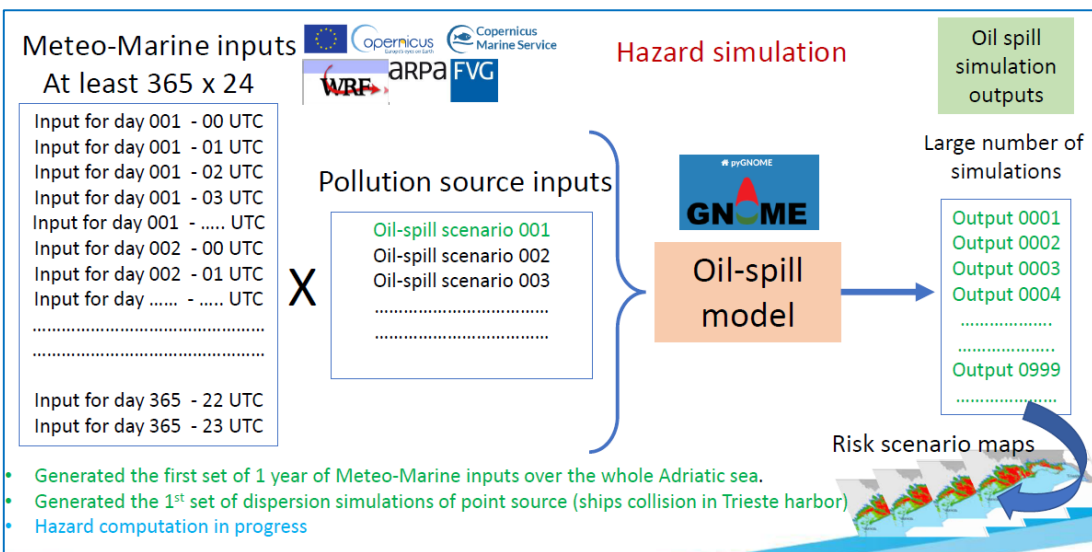
ID	Spill location	Spill start hour						Last update
		00	01	02	03	04	05	
18E0F10248_0000		06	07	08	09	10	11	2023-05-08
		12	13	14	15	16	17	
		18	19	20	21	22	23	
		00	01	02	03	04	05	
18E0F10248_0001		06	07	08	09	10	11	2023-05-08
		12	13	14	15	16	17	
		18	19	20	21	22	23	
		00	01	02	03	04	05	
18E1F10348_0002		06	07	08	09	10	11	2023-05-08
		12	13	14	15	16	17	
		18	19	20	21	22	23	
		00	01	02	03	04	05	

All sets consist of 24 forecasting simulations: each one refers to a spill starting at a specific hour (UTC) of the current day.



Giornalmente vengono effettuate e messe a disposizione alcune simulazioni previsionali di dispersione di inquinanti oleosi in alcune aree 'calde' del Golfo di Trieste: per ogni sorgente, viene simulato uno sversamento ad ogni ora della giornata corrente.

ARPA FVG ha effettuato nell'area del Golfo di Trieste analisi di pericolosità, con l'obiettivo di fornire ai responsabili degli interventi di emergenza statistiche e mappe di rischio, utili a migliorare la programmazione di tali interventi, superando così i limiti attualmente riscontrati

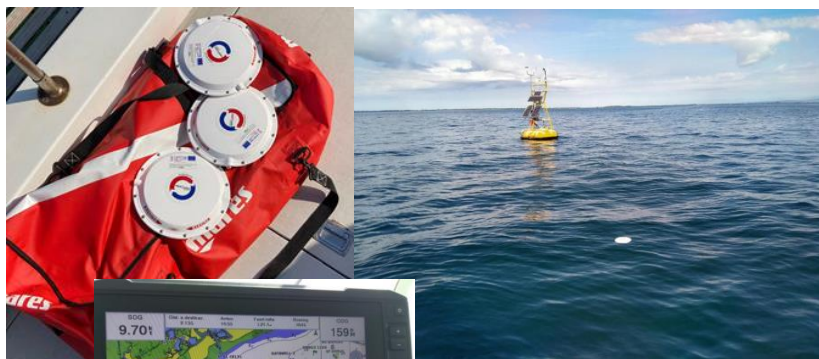


How all these data can be showed to stakeholders?

Through + a b l e a u



<https://public.tableau.com/app/profile/interregithr.arpafvg/viz/shared/3RS2MG5F3> Oil spill risk assessment: analysis of the whole one-year simulation



Strumento oceanografico per lo studio di:

- circolazione superficiale
- dinamica oceanografica

ARPA FVG utilizza gli Stokes Drifter in caso di sversamento accidentale per tracciare lo spostamento dell'inquinante sversato

GPS

Sensore temperatura superficiale

Telemetria satellitare IRIDIUM



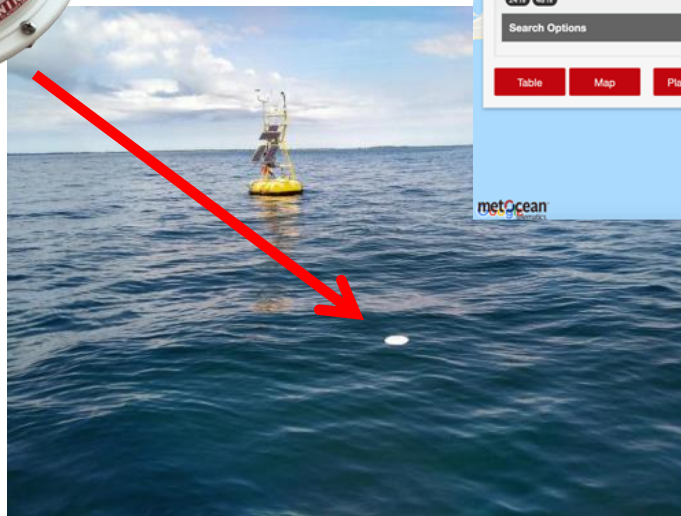
<https://www.metocean.com/product/stokes-iridium-drifter/>



STOKES



La validazione dei modelli è un elemento essenziale per poter garantire l'efficacia dei servizi offerti. I modelli vengono costantemente testati sia per poter capire quali siano i migliori dati di input in determinate circostanze sia per il miglioramento dei modelli stessi.



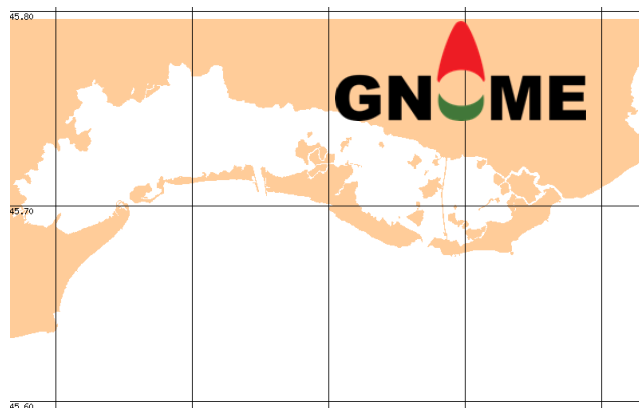
The screenshot shows the LiNC dashboard with a 'HISTORY' window open for 'Drifter 1 (300434065295620)'. The table displays the following data:

DATA DATE (UTC)	LATITUDE	LONGITUDE	VOLTAGE	TEMPERATURE	REPO
2021-09-23 12:08:15	45° 41.73720'	13° 34.30140'	15.325	21.48	latitude=45.89562;longitude=13.57189;ts=Valid;TrueTimeToFix=12.5
2021-09-23 12:03:07	45° 41.73960'	13° 34.27960'	15.325	21.49	latitude=45.89566;longitude=13.57131;ts=Valid;TrueTimeToFix=28.7
2021-09-23 11:57:40	45° 41.73780'	13° 34.25040'	15.325	21.5	latitude=45.89563;longitude=13.57084;ts=Valid;TrueTimeToFix=19.7
2021-09-23 11:52:34	45° 41.73540'	13° 34.23480'	15.325	21.45	latitude=45.89559;longitude=13.57058;ts=Valid;TrueTimeToFix=19.7
2021-09-23 11:47:18	45° 41.73540'	13° 34.21440'	15.325	21.45	latitude=45.89559;longitude=13.57024;ts=Valid;TrueTimeToFix=13.7
2021-09-23 11:42:09	45° 41.73540'	13° 34.18980'	15.325	21.45	latitude=45.89559;longitude=13.56983;ts=Valid;TrueTimeToFix=13.7
2021-09-23 11:36:59	45° 41.73780'	13° 34.16020'			
2021-09-23 11:31:50	45° 41.73300'	13° 34.14600'			
2021-09-23 11:26:43	45° 41.73240'	13° 34.12380'			
2021-09-23 11:21:33	45° 41.73090'	13° 34.10460'			



Le fasi della validazione dei modelli

PREVISIONE



Le fasi della validazione dei modelli

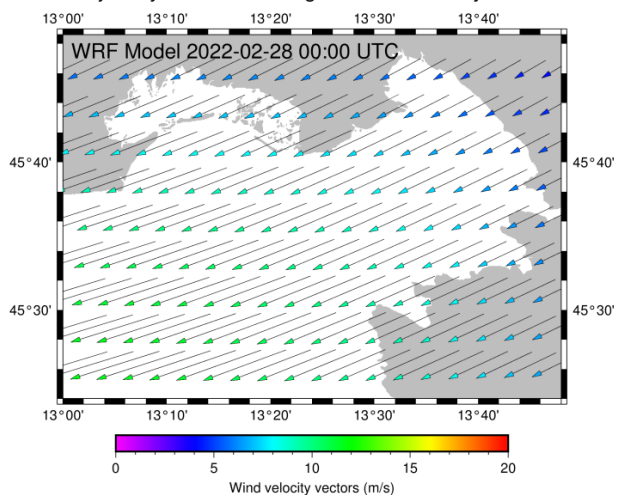
PREVISIONE



RILASCIO

GNOME

Trajectory of the drifters against wind velocity vectors



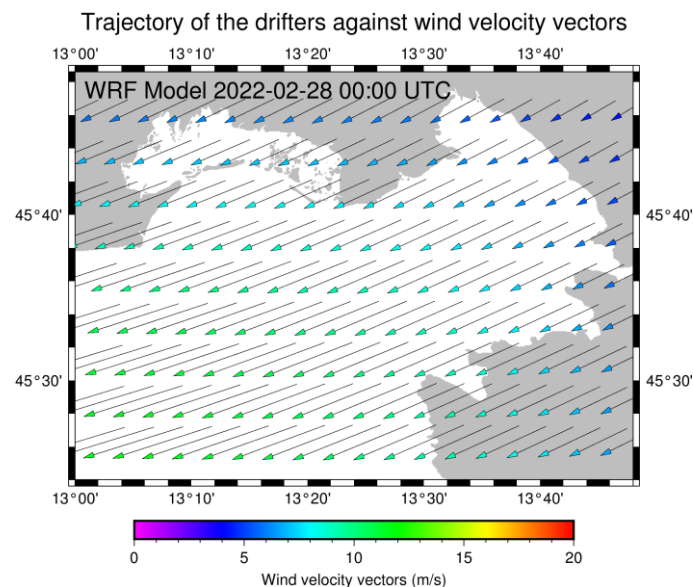
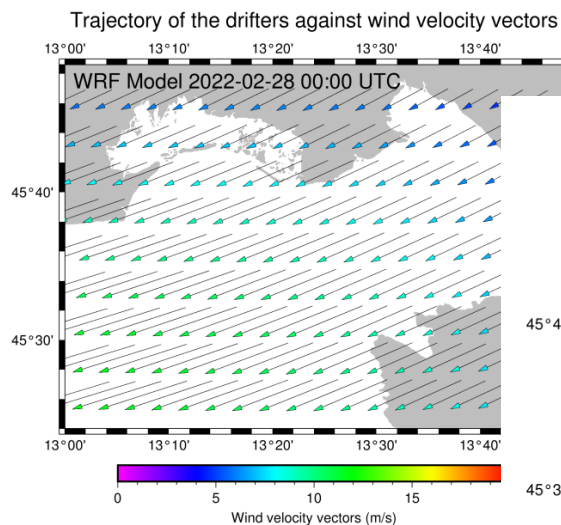
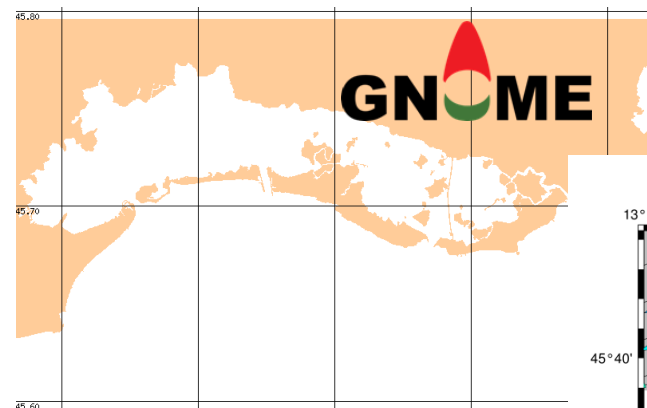
PREVISIONE



RILASCIO



VERIFICA




Contatti

ARPA FVG – Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente del Friuli Venezia Giulia
Simone Martini
S.O.S. Qualità delle Acque Marine e di Transizione – Strategia Marina

 Via Cairoli 14, 33057 Palmanova (UD), Italia

 martini.simone@arpa.fvg.it,

 +39 0432 1918033

 www.arpa.fvg.it

Traiettorie delle masse d'aria a scala continentale

previsioni con il modello HYSPLIT nel sistema READY

Giovanni Bonafè
Centro Regionale di Modellistica Ambientale

scale e approssimazioni

il modello HYSPLIT

il sistema READY

casi d'uso, esercitazione

scale e approssimazioni

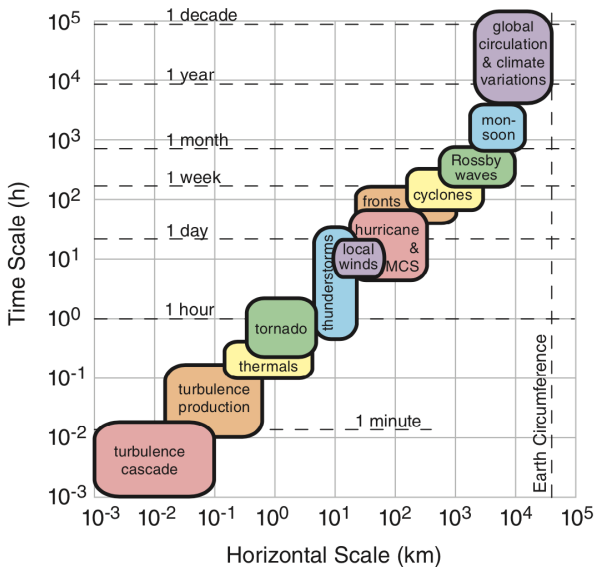


figura da: [Stull, 2015]

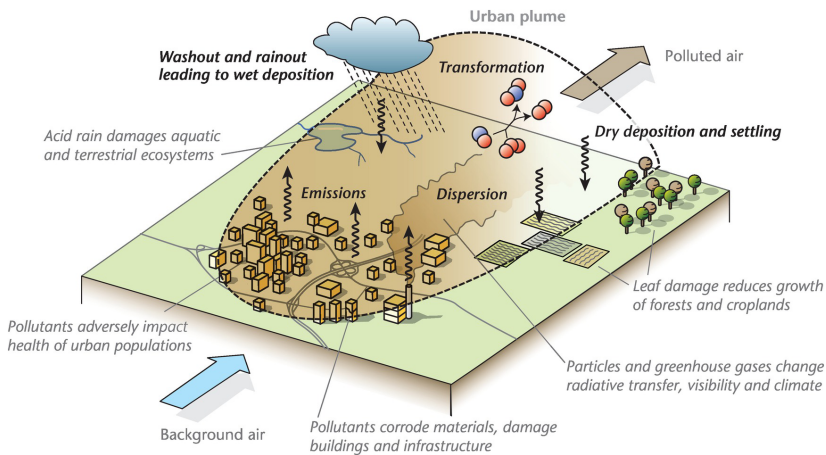


figura da: [Oke et al., 2017]

video 1
<https://bit.ly/plume-001>

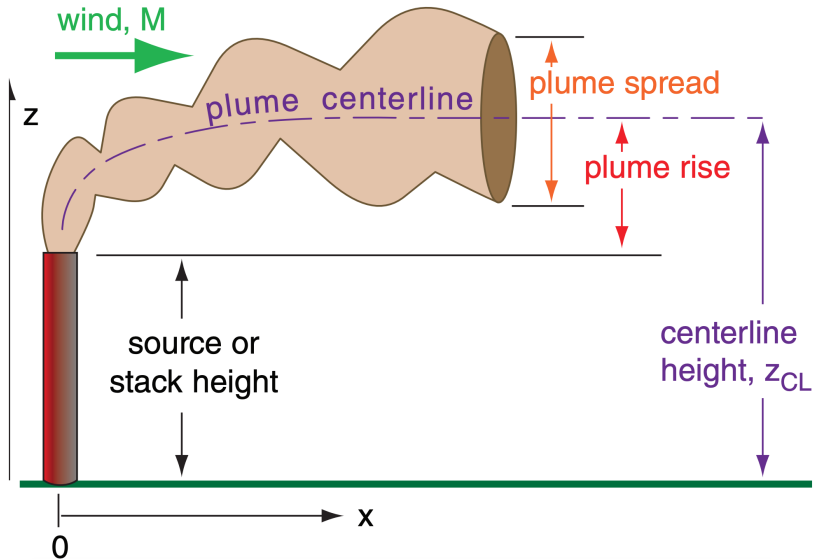


figura da: [Stull, 2015]

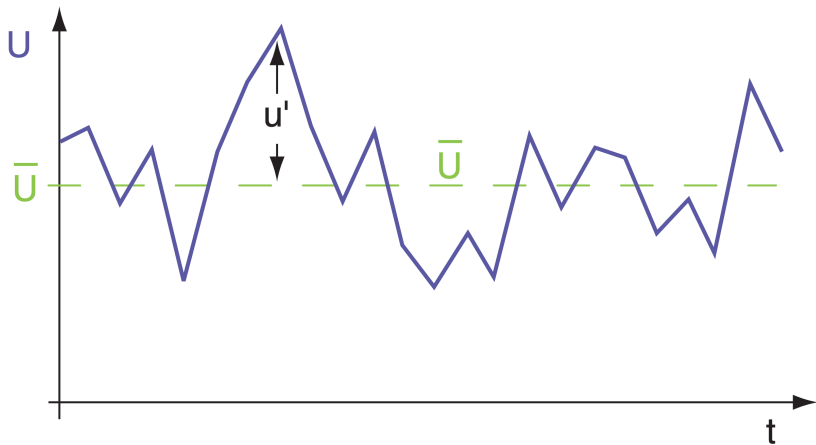


figura da: [Stull, 2015]

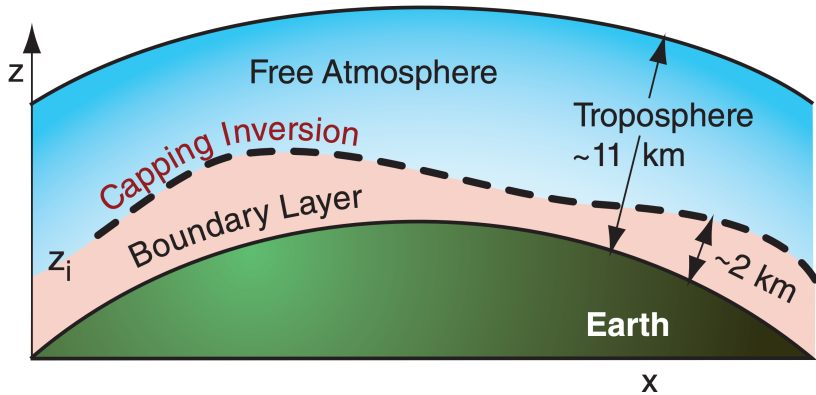


figura da: [Stull, 2015]

quantitativa

qualitativa

quantitativa

- quantità di sostanze emesse note
- quantificare gli impatti
- stimare il superamento di limiti

qualitativa

- sostanze ignote
- quantità emesse ignote
- *screening* veloce
- individuare aree di impatto
- escludere rischi

globali

ad area limitata

globali

- dominio globale
- risoluzione 5-50 km
- non ricevono condizioni al contorno da altri modelli
- simulano esplicitamente: circolazione globale, monsoni, cicloni, fronti
- rappresentazione semplificata/statistica di: convezione, venti locali, turbolenza

ad area limitata

- dominio continentale o sub-continentale
- risoluzione 0.5-10 km
- ricevono come condizione al contorno da modelli globali: circolazione globale
- simulano esplicitamente: monsoni, cicloni, fronti, convezione, venti locali
- rappresentazione semplificata/statistica di: turbolenza

globali a traiettorie

locali a particelle

globali a traiettorie

- le traiettorie rappresentano il moto di masse d'aria a grande distanza
- la dispersione turbolenta è trascurata
- orografia grossolana, mancano le valli alpine
- mancano i fenomeni locali
- esempio: HYSPLIT nel sistema READY

locali a particelle

- utili per valutare l'impatto di impianti anche in contesti ad orografia complessa
- rappresentano la dispersione come un processo stocastico che segue distribuzioni statistiche
- esempio: SPRAY nel sistema DELFI

il modello HYSPLIT

- Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model è un modello numerico
- sviluppato dal *Air Resources Laboratory* della *National Oceanic and Atmospheric Administration* americana e dall'*Australian Bureau of Meteorology Research Center*
- modello di dispersione lagrangiano;
- varianti: traiettorie, dispersione, ceneri vulcaniche, polveri desertiche;

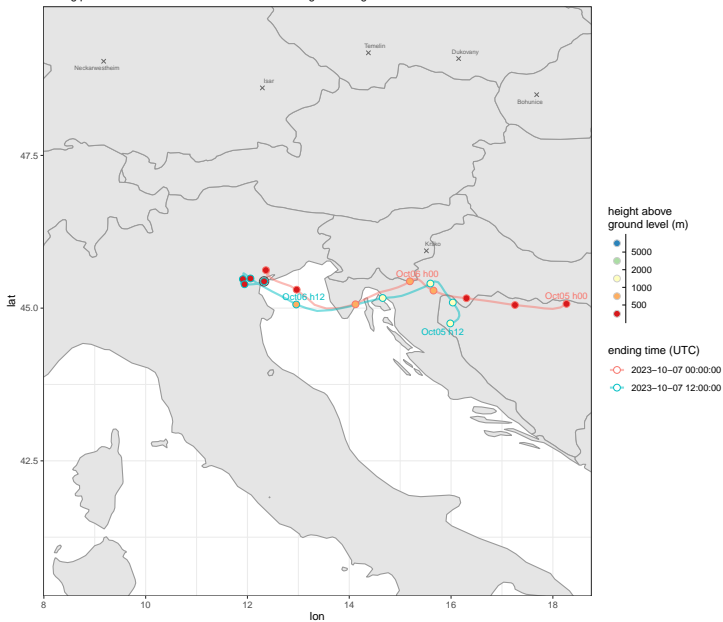
⁶<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>

- Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model è un modello numerico
- sviluppato dal *Air Resources Laboratory* della *National Oceanic and Atmospheric Administration* americana e dall'*Australian Bureau of Meteorology Research Center*
- modello di dispersione lagrangiano;
- varianti: traiettorie, dispersione, ceneri vulcaniche, polveri desertiche;
- limiti: no trasformazioni chimiche, no decadimento radioattivo, no turbolenza
- vantaggi: molto veloce, disponibile anche *online*⁶
- può usare vari input meteo di scala continentale (americani) o globale, a risoluzione grossolana (per esempio GFS 0.25°, circa 20 km)

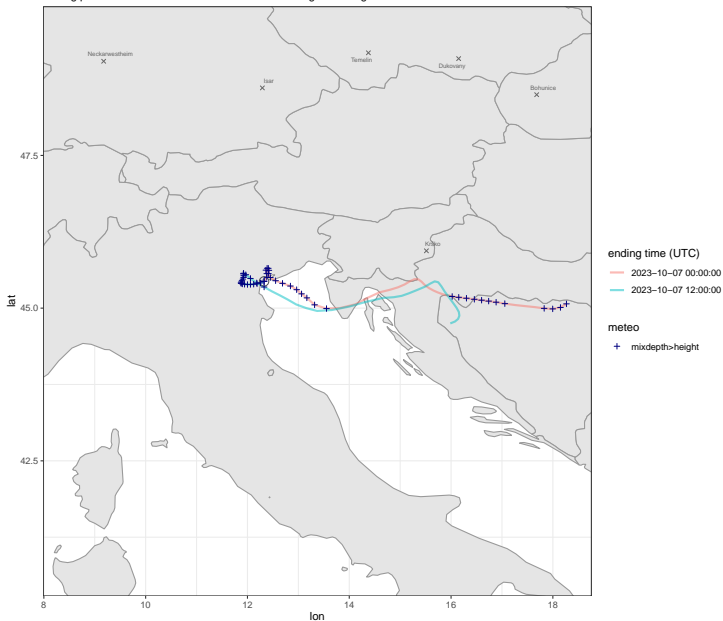
⁶<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>

- tre volte al giorno (6, 9, 14) sono prodotte le traiettorie indietro da 13 città
- modello HYSPLIT con input meteo GFS a risoluzione 0.25° , circa 20 km
- percorso a ritroso di 48 ore; quote di destinazione: 100 e 1000 m
- località FVG: Trieste, Udine, Pordenone, Palmanova, Tolmezzo, Lignano
- altre città italiane: Venezia, Milano, Roma, Napoli, Sassari
- città europee: Vienna, Monaco di Baviera

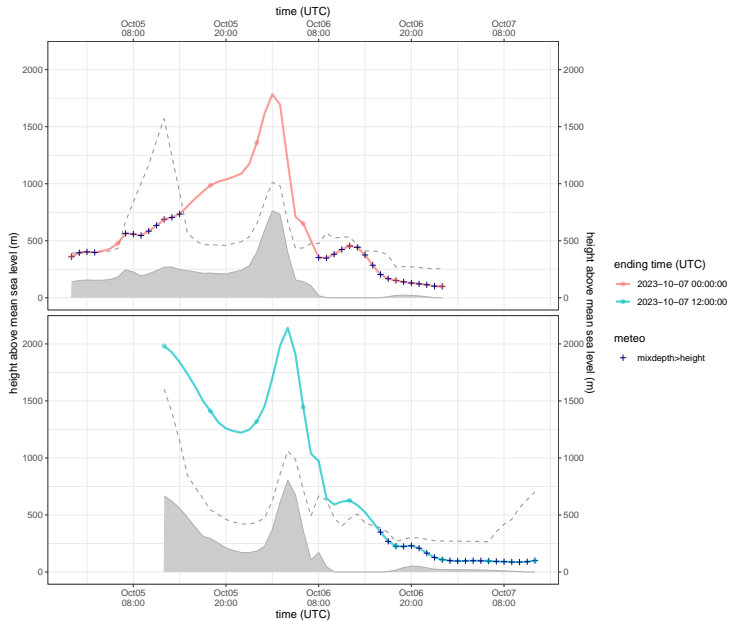
48h backward trajectories, model: HYSPLIT, ending point: VENEZIA
ending point coordinates: 45.439N 12.327E 100m height above ground level



48h backward trajectories, model: HYSPLIT, ending point: VENEZIA
ending point coordinates: 45.439N 12.327E 100m height above ground level



48h backward trajectories, model: HYSPLIT, ending point: VENEZIA
ending point coordinates: 45.439N 12.327E 100m height above ground level



il sistema READY

HYSPLIT offline

HYSPLIT online (READY)

HYSPLIT offline

- devo installare HYSPLIT
- devo scaricare l'input meteo, o generarmelo in proprio
- posso lavorare su qualunque data
- traiettorie, dispersione, vulcani, polveri desertiche
- simulazioni personalizzabili

HYSPLIT online (READY)

- non devo installare niente, si lavora da *browser*
- non devo scaricare input meteo
- input meteo disponibile da giugno 2019
- poche opzioni
- modello con dispersione richiede registrazione

- consente di lanciare corse semplici di HYSPLIT da *browser*
- sviluppato e gestito dal *Air Resources Laboratory della National Oceanic and Atmospheric Administration* americana (NOAA)
- le corse girano sui *server* della NOAA
- <https://www.ready.noaa.gov>

casi d'uso, esercitazione

video 2

<https://bit.ly/traiettoria-hysplit>





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

Urban Climates.

Cambridge University Press.



Stull, R. B. (2015).

Practical meteorology: an algebra-based survey of atmospheric science.

University of British Columbia.