Attività T.2.1

Ricognizione e confronto tra i diversi modelli utilizzati dai partner

Prodotto T.2.1.1

Report di confronto dei modelli utilizzati dai partner

Partner Responsabile: ARPAL

Indice

1. Scopo del prodotto e supervisione nel progetto AER NOSTRUM 3
2. Introduzione alle strategie modellistiche 4
3. Modellistica Euleriana: CHIMERE 7
3.1. Utilizzo di Chimere: Esperienza di ARPAL 7
3.2. Utilizzo di Chimere: Esperienza di ATMOSUD e QUALITAIR CORSE 12
4. Modellistica Lagrangiana: CALPUFF e PMSS 21
4.1. Utilizzo del modello CALPUFF: l'esperienza di UNIGE 21
4.2. Utilizzo il modello PMSS: le esperienze di ATMOSUD e QUALITAIR CORSE 23
5. Modellistica Gaussiana 25
5.1. Descrizione del modello ADMS-Urban 25
5.2. Utilizzo del modello ADMS-Urban: Esperienza di ATMOSUD 25
6. Conclusioni 29

1. Scopo del prodotto e supervisione nel progetto AER NOSTRUM

Finalità dell'azione T2 del progetto è mettere in sinergia le esperienze dei partner nel campo della modellistica di qualità dell'Aria, effettuare uno studio congiunto nelle aree pilota identificate, al fine di migliorare le performance dei modelli, integrare diversi approcci modellistici, per la descrizione dei fenomeni di inquinamento nell'area portuale e urbana. Questo scopo viene incontro alla crescente attenzione delle istituzioni ed in generale della società civile verso l'inquinamento e le emissioni in porto derivanti dalle attività marittimo-portuali - specialmente dalle navi.

La modellistica è uno strumento chiave previsto dalla normativa ad integrazione del monitoraggio della qualità dell'aria effettuato tramite le stazioni di rilevamento: il loro utilizzo presso gli Enti di controllo ambientale è necessario per una conoscenza integrata dei processi di inquinamento, che metta in relazione le pressioni (emissioni), i processi chimiche e le variabili meteorologiche, le peculiarità del territorio, etc…

Nel presente rapporto si mettono a confronto i diversi approcci modellistici e modelli in uso presso i partner, allo scopo di descrivere lo stato dell'arte e le esperienze maturate nell'applicazioni dei codici. Questo rappresenta la base dalla quale partire per definire nuove funzionalità o nuovi requisiti da implementare nei modelli in uso.

In particolare, nello svolgimento delle attività della component T 2.1 i partner lavoreranno al miglioramento della risoluzione spaziale e ad una corretta ricostruzione dei fenomeni sulla verticale (aspetto critico in un'area urbana con focus sulle fonti di emissione in quota) in modo da meglio adattare la modellistica allo studio delle aree pilota.

Una parte essenziale del lavoro sarà inoltre costruire i database di input emissivo ai modelli (Attività T 2.2) sulla base degli inventari già esistenti opportunamente integrati a scala di dettaglio con i dati forniti dalle Autorità di Sistema Portuale ed elaborati dalle Università (rispettivamente, soggetti convenzionati e partner di progetto).

Inoltre l'azione T2 e la T1 si svolgeranno simultaneamente: le uscite modellistiche prodotte durante le campagne di monitoraggio verranno confrontati con i dati reali osservato in campo per valutare l'affidabilità delle simulazioni. Tale lavoro verrà finalizzato con la componente T3 per la definizione degli scenari locali di riferimento e quelli che dovrebbero prodursi a seguito di applicazione delle diverse misure di mitigazione.

La modellizzazione interesserà l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure e Università di Genova sull'area genovese, ATMOSUD su quelle di Tolone e Nizza e Qualitair Corse su Bastia ed Ajaccio. Presso i partner sono in uso operativamente modelli euleriani (CHIMERE), gaussiani (ADMS Urban) e lagrangiani (CALPUFF, PMSS), adatti a simulare fenomeni di dispersione a diverse scale, con differenti parametrizzazione e per diversi ambiti di applicazione.

I report relativi agli studi in oggetto rappresenteranno linee guida applicabili anche per i partner che, allo stato attuale, non implementano strumenti di modellistica al monitoraggio dei loro porti pilota, quali ARPA Sardegna per il porto di Cagliari e da ARPA Toscana per quello di Livorno. Inoltre la component T2 capitalizzerà le esperienze maturate dai partner nell'ambito di altre progettazioni Interreg, quali il progetto ALCOTRA CLIMAERA, i progetti MED APICE e CAIMAN e il progetto Horizon2020 SCIPPER.

- Obiettivo del prodotto 1: fare il punto sugli strumenti di modellazione
- Obiettivo di prodotto 2: illustrare i requisiti dei dati sulle emissioni per i modelli.

- Obiettivo di prodotto 3: possibile integrazione tra i risultati del modello.

2. Introduzione alle strategie modellistiche

Simulare il comportamento di un inquinante rilasciato in atmosfera significa determinare il campo di concentrazione da esso prodotto in qualunque punto dello spazio e in qualunque istante successivo all'emissione. Esistono sostanzialmente tre strategie per simulare la dispersione di inquinanti in atmosfera. La prima consiste nell'approccio di campo ed è denominata strategia **euleriana**: l'equazione della concentrazione obbedisce all'equazione di trasporto e diffusione, con opportuni termini di forzante e di parametrizzazione dei processi non esplicitamente descritti (spesso descritte da tecniche di tipo eddy diffusivity), che viene risolta su una griglia di calcolo tridimensionale a risoluzione sufficientemente alta per catturare effetti locali di natura dinamica (per esempio originati dalla stabilità dell'atmosfera) o geometrica (causati cioè dalla particolare orografia).

I modelli Euleriani producono tipicamente campi orari sia di concentrazione dei principali inquinanti atmosferici sia di deposizione secca e umida, stimati a partire dai valori di concentrazione iniziali e ai bordi dell'area di calcolo e dalle emissioni orarie introdotte nei punti griglia, cui vengono applicati meccanismi di trasporto, dispersione e deposizione derivati dalla meteorologia, realizzata con modelli diagnostici o prognostici, in condizioni orografiche anche complesse e fenomeni di trasformazione determinati dal meccanismo chimico utilizzato e da un modulo per la trattazione del particolato atmosferico. Necessitano delle informazioni relative a tutte le sorgenti presenti nel dominio di calcolo, ottenibili dall'inventario delle emissioni; trovano applicazione negli studi sia di breve che di lungo periodo, richiedendo significative risorse di calcolo. In questa categoria rientra il modello CHIMERE, utilizzato per la valutazione della qualità dell'aria nelle regioni Provenza - Costa Azzurra, Corsica e Liguria.

Rientrano nella classe della modellistica euleriana anche i modelli analitici **gaussiani**. Questi sono nati per descrivere l'andamento al suolo della concentrazione emessa da una sorgente continua puntiforme, ipotizzando una serie di semplificazioni: stazionarietà e omogeneità delle condizioni meteorologiche, velocità orizzontale del vento non nulla, terreno piano, assenza di trasformazioni chimiche. Nei modelli gaussiani gli inquinanti vengono trasportati nella direzione di avvezione dal campo di vento uniforme e subiscono la dispersione turbolenta sui piani ortogonali alla direzione dell'aria secondo una distribuzione gaussiana (Figura n.1).

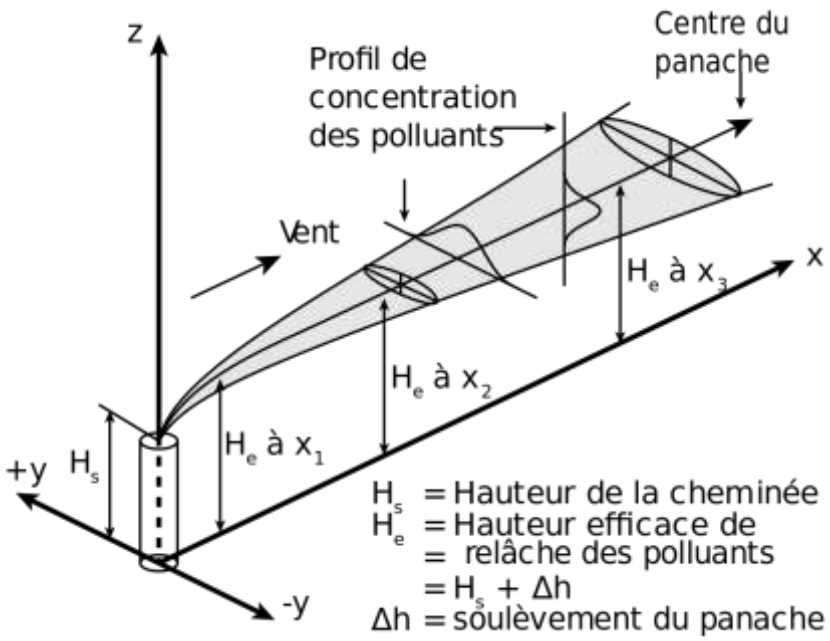


Fig. 1: Illustrazione di un profilo di dispersione gaussiana (fonte: Wikipedia)

Questo li rende modelli di facile utilizzo e adatti per effettuare studi su un numero elevato di casi grazie a tempi di calcolo molto ridotti rispetto ad altre tipologie. Il loro campo di applicazione è compreso tra poche centinaia di metri fino ai primi dieci chilometri di una sorgente.

ADMS, modello di cui ATMO SUD e ARPAL hanno esperienza di utilizzo, adotta un approccio gaussiano più evoluto, utilizzando una formulazione asimmetrica (non istropa) delle funzioni di dispersione turbolenta che consente di funzionare anche su orografia complessa ed è in grado di configurare sorgenti di geometria complessa (non solo puntuali, ma anche lineari, areali e volumetriche).

La seconda strategia, denominata **lagrangiana**, segue direttamente l'evoluzione spaziale di ciascuna particella di inquinante (assimilata ad una particella fluida). Questo vuol dire che le particelle di inquinanti possono essere trattate, da un punto di vista dinamico, come particelle d'aria, quindi soggette alle stesse forze, dotate della stessa densità e caratterizzate nel loro moto dagli stessi fenomeni che caratterizzano il moto di particelle d'aria (trasporto, turbolenza ecc..). Esistono vari modelli di questo tipo i quali, nella maggioranza dei casi, usano l'equazione di Langevin per descrivere il moto di particelle in un campo di velocità assegnato. Tale equazione corrisponde alla classica equazione per le traiettorie delle particelle fluide con in aggiunta un termine di natura stocastica che mima il contributo di moto browniano nella dinamica della particella. In verità, nelle applicazioni geofisiche, il termine browniano assume un carattere di quantità effettiva (o efficace o anche detta rinormalizzata) attraverso cui si incorporano nella dinamica della particella i contributi al trasporto dovuti al campo di velocità non esplicitamente risolto dal modello dinamico (la cosiddetta componente turbolenta del campo di velocità).

I modelli lagrangiani a particelle necessitano di dati meteorologici di ingresso (generalmente su base oraria relativi a velocità e direzione del vento, temperatura, umidità, pressione e alle

variabili che descrivono la turbolenza atmosferica) generati da pre-processori meteorologici diagnostici o prognostici. Sono in grado di riprodurre il trasporto, la dispersione, la deposizione secca e umida e il decadimento radioattivo di sostanze chimicamente inerti rilasciate in condizioni meteorologicamente complesse (calme di vento, flussi su topografia complessa). In un modello di tipo lagrangiano a particelle la dispersione dell'inquinante in atmosfera è simulata attraverso l'emissione di un certo numero di particelle virtuali, ognuna delle quali rappresenta una porzione di massa dell'inquinante; tali particelle seguono il moto turbolento delle particelle di aria nelle quali sono immerse, in modo che la loro distribuzione spaziale ad un certo istante permetta la determinazione della concentrazione della specie emessa. Possono essere utilizzati nello studio dell'impatto di una o più sorgenti sia per lo studio di episodi di inquinamento (giorni, settimane) sia per valutazioni di lungo periodo (anno) ma richiedono significative risorse di calcolo. Tale tecnica è particolarmente adatta a catturare gli effetti dinamici sul processo di dispersione causati dalle variazioni orografiche ad alta frequenza.

Il modello PMSS (adottato da ATMO SUD) appartiene alla categoria dei modelli lagrangiani. E' costituito dai singoli modelli PSWIFT e PSPRAY ed è ottimale per lo studio della dispersione su scala sub-regionale, come zone urbane o industriali. Il modello di flusso PSWIFT è la versione parallela del pre-processore meteorologico diagnostico mass-consistent SWIFT. PSWIFT produce campi di vento, temperatura, turbolenza e umidità su terreni complessi. È stato migliorato per tenere esplicitamente conto degli edifici utilizzando l'approccio sviluppato originariamente da Röckle. Il modello di dispersione PSPRAY è la versione parallela del modello a particelle SPRAY. Esso integra nel tempo le traiettorie delle particelle in un campo di velocità dato dalla somma della componente di trasporto associata al vento medio locale (fornito da PSWIFT) e di una componente stocastica che modellizza l'influenza della turbolenza atmosferica nonché degli eventuali effetti di galleggiamento.

L'ulteriore strategia utilizzata con successo in molte applicazioni geofisiche è di tipo ibrido ed è nota con il nome di approccio eulero-lagrangiano o a **puff**.

Tale strategia rappresenta un'estensione dei modelli gaussiani ed unisce i vantaggi della formulazione gaussiana (principalmente dovuti alla facilità di utilizzo ed alle scarse risorse di calcolo che richiede) con la grande accuratezza tipica dell'approccio lagrangiano, specie per analisi in aree ad orografia complessa. L'idea alla base di tale strategia è di descrivere il moto del centro di massa di un puff per via lagrangiana, descrivendo la dispersione relativa (cioè il processo di allargamento nel tempo del puff) sfruttando la soluzione analitica gaussiana.

Tale approccio permette di ricostruire i valori di concentrazione in condizione non omogenee e non stazionarie. Il valore della concentrazione in un punto è ottenuto tramite somma dei contributi delle concentrazioni dei vari puff all'interno del dominio. Il modello CALPUFF si inserisce in quest'ultima categoria. Esso necessita di un pre-processore meteorologico, CALMET (a valle del modello meteorologico WRF), che calcola il campo di moto tridimensionale (e tutte le altre grandezze meteorologiche necessarie, inclusa la stabilità atmosferica). La catena dispersiva basata su WRF-CALMET-CALPUFF è quella utilizzata da UNIGE nel presente progetto.

3. Modellistica Euleriana: CHIMERE

CHIMERE è un modello Euleriano di chimica e trasporto (Chemical Transport Model) principalmente progettato per riprodurre le complesse dinamiche su larga scala di tutte le specie chimiche costituenti l'atmosfera, siano esse di origine antropica o naturale: ozono, aerosol e inquinanti gassosi. CHIMERE è un modello multiscala, applicabile a domini di estensione molto variabili: emisfero (senza griglia: decine di km), continentale (risoluzione 5-7 km), regionale / locale (fino a 1 km griglia). Viene utilizzato per la previsione giornaliera della qualità dell'aria, per simulazioni a lungo termine di scenari di emissioni.

CHIMERE è un modello non stazionario che sviluppa dinamicamente e simultaneamente le complesse relazioni tra avvezione, dispersione, trasformazioni di specie chimiche gassose e aerosol nell'atmosfera e la loro deposizione al suolo. Richiede le forzature esterne di un modello meteorologico, le condizioni al contorno in termini di concentrazione atmosferica di un insieme complesso di inquinanti, la descrizione dettagliata delle emissioni di inquinanti primari alla risoluzione spaziale della griglia del modello.

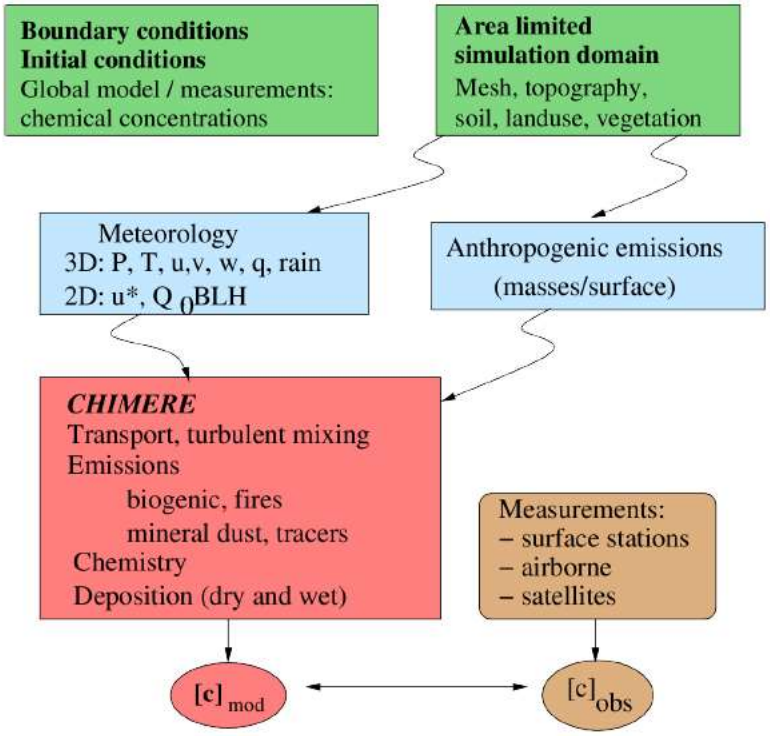


Fig. 2: Schema concettuale della catena CHIMERE (fonte: Documentazione del software CNRS, INERIS)

3.1. Utilizzo di Chimere: Esperienza di ARPAL

ARPA Liguria ha adottato CHIMERE (v. 2014b) come modello di CTM al fine di ottemperare a quanto previsto dalla normativa nazionale (D.lgs 155/2010) e dare piena attuazione al

programma di valutazione della qualità dell'aria. LINEA (*LIgurian Network to Evaluate Aerosol and photochemical pollution*) è il sistema messo a punto e gestito da ARPAL a supporto della valutazione annuale della qualità dell'aria regionale, stimando l'andamento delle concentrazioni di PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, SO_2 e NO_2 nel territorio ligure. Il modello è stato sviluppato come downscaling del sistema di previsione dell'inquinamento fotochimico implementato in Pianura Padana dall'ARPA Emilia-Romagna (Figura n. 3).

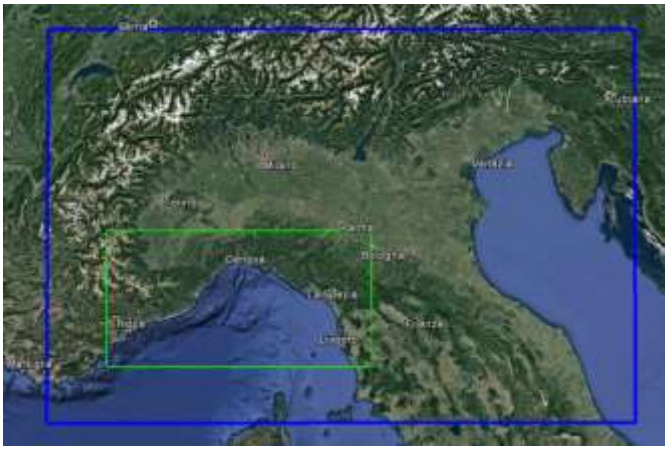


Fig.3: Domini di calcolo della catena modellistica Chimere Liguria e Nord Italia

Il dominio di integrazione di LINEA copre l'intero territorio ligure, con una risoluzione orizzontale di 3 km (giusto compromesso tra ragionevoli tempi di calcolo e una complessa orografia del territorio) e 9 livelli verticali. Il sistema è così composto :

- **Condizioni di contorno**: dal modello "padre" NINFA di ARPAE (*Northern Italy Network to Forecast Aerosol and photochemical pollution*), anch'esso basato su CHIMERE;
- **Meteorologia** : modello COSMO-LAMI, implementazione italiana del modello di zona limitata non idrostatica sviluppato nell'ambito del consorzio internazionale COSM O (http://www.cosmo-model.org/). L'interfaccia meteorologica di CHIMERE si occupa della post-elaborazione delle variabili prognostiche del modello meteorologico (u, v, T, p, ...), prodotto alla risoluzione orizzontale di 5 o 2 km, per generare le micro variabili. condizioni meteorologiche che consentono di descrivere la turbolenza atmosferica e la dispersione (altezza dello strato limite, lunghezza di Monin-Obukhov, velocità di attrito, flusso di calore, ecc.). Produce quindi l'interpolazione orizzontale e verticale dei dati sulla griglia di calcolo del modello fotochimico.
- **Emissioni antropiche**: integrazione e sovrapposizione nell'area di calcolo degli inventari regionali, nazionali ed europei.

L'applicazione della modellazione CTM, nell'ambito delle attività dell'Agenzia per la Protezione Ambientale, rappresenta uno strumento fondamentale per un approccio integrato alla valutazione e gestione della qualità dell'aria, con il rete di monitoraggio (RMQA) e inventario delle emissioni atmosferiche (IE).

I principali obiettivi che si pone la modellsitica a questa scala sono : raggiungere un maggiore livello di efficienza, omogeneità e comparabilità nella valutazione e gestione della qualità dell'aria nel territorio nazionale, migliorare la conoscenza dei contributi transfrontalieri

all'inquinamento atmosferico, migliorare le sinergie nelle politiche di qualità dell'aria tra Regioni e Agenzie.

L'implementazione di sistemi di modellizzazione integrati consente di valutare i fenomeni a diverse scale di riferimento, locale, regionale, nazionale, e le complesse interazioni degli inquinanti secondari. Ecco alcuni esempi :

- speciazione chimica delle particelle atmosferiche per meglio comprendere l'origine e la tossicità dell'inquinante ;

- valutazione dei livelli di precursori dell'ozono, per combattere l'inquinamento da ozono ;

- valutazione dei contributi da fonti naturali ;

- sviluppo di tecniche integrate di modellazione e osservazione per la caratterizzazione del territorio rispetto agli indici di qualità dell'aria in vista della pianificazione di efficaci misure igienico-sanitarie ;

Il modello CHIMERE - LINEA è stato applicato nell'ambito del progetto Alcotra CLIMAERA, al fine di addestrare le funzioni « sorgente – ricettore » che servono da input alla suite di calcolo SHERPA-RIAT +. Tale strumento consente di risparmiare i tempi di calcolo necessari per la valutazione modellistica di scenari di riduzione delle emissioni, e permette di quantificare l'efficacia delle politiche di riduzione delle emissioni, dal punto di vista ambientale, sanitario ed economico.

L'esperienza di ARPA Liguria nella modellistica fotochimica euleriana è relativamente recente. La catena, operativa dal 2017 per l'analisi dello stato di qualità dell'aria (non ancora previsionale) ha fornito risultati soddisfacenti nella stima di ozono e particolato (quest'ultimi soggetti a sottostime fisiologiche) e mostrato andamenti degli ossidi di azoto molto dipendenti dalle situazioni locali. CHIMERE è modello nato per la stima del trasporto di inquinanti alla scala continentale, e la sua applicazione su un territorio ad orografia complessa e con una distribuzione estremamente disomogenea delle fonti di emissione ha messo in luce margini di miglioramento. Le attività previste sul progetto AER NOSTRUM serviranno a lavorare nella direzione della ricerca di un giusto compromesso tra risoluzione del modello, tempi di calcolo e accuratezza della disaggregazione spaziale delle emissioni sulla griglia.

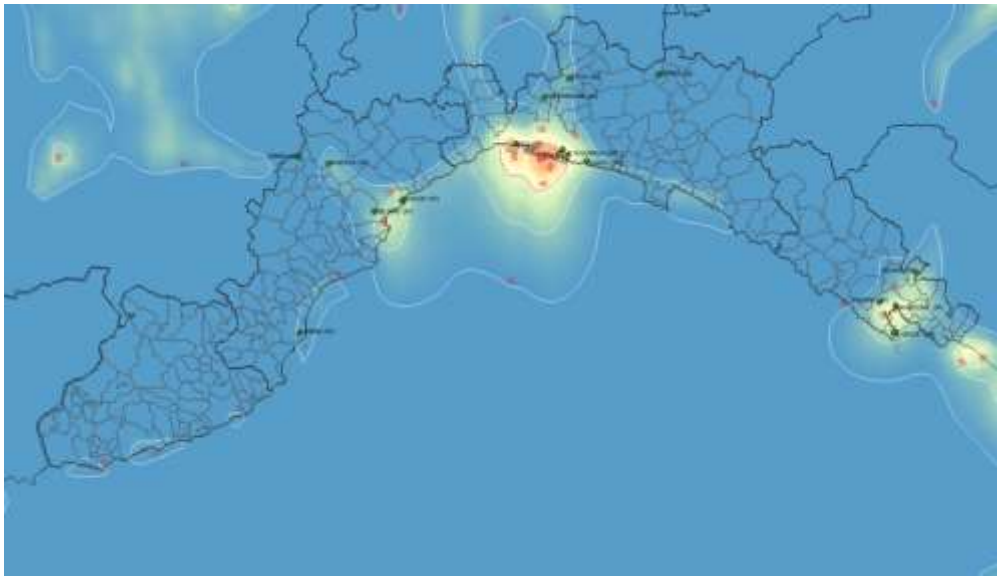


Figura n.4: Concentrazione media annuale di NO_2 in Liguria per il 2018.

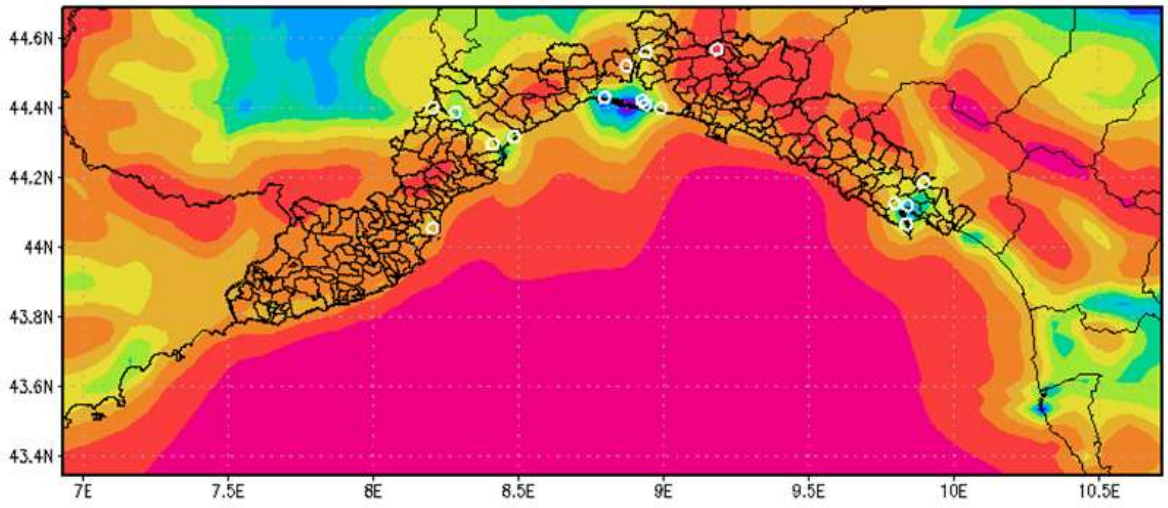


Figura n.5: Concentrazione media annuale di O_3 in Liguria per il 2018.

Inventario delle Emissioni

Gran parte del lavoro di realizzazione della modellistica CTM è rappresentato dalla corretta descrizione degli input di emissioni nel dominio computazionale, che sono normalmente forniti dagli inventari delle emissioni. Questo contributo è essenziale per una modellazione efficiente e rappresenta la prima fonte di incertezza e approssimazione nella catena.

I dati di input sono essi stessi soggetti ad incertezza, in quanto la maggior parte degli inquinanti emessi nell'ambiente da tutte le attività sul territorio non sono oggetto di analisi quantitativa diretta, ma provengono da elaborazioni indirette basate su stime statistiche (consumi energetici, dati ISTAT) e applicazione di fattori di emissione, soggetti a continui aggiornamenti. Quindi, la distribuzione di queste informazioni nelle celle di calcolo (disaggregazione spaziale e temporale) è un'operazione complessa, soggetta a diversi gradi di libertà e che può essere spinta a risoluzioni crescenti a seconda dei campi di applicazione del modello, e risorse di calcolo disponibili. La correttezza e l'adeguatezza di questi passaggi influiscono notevolmente sulla capacità del modello di riprodurre la realtà.

Le informazioni fornite dagli inventari sono oggetto di una media temporale o di un'aggregazione ed è correlata spazialmente alle unità amministrative. Le emissioni sono distribuite tra sorgenti "diffuse", cioè distribuite sul territorio, e quelle che spazialmente si riferiscono a entità fisiche, quali strutture puntuali (camini), strutture lineari (strade), le aree (siti di produzione, colture, banchine portuali, ecc.).

Le fonti di emissione coprono un'ampia gamma di attività che devono essere classificate al fine di evidenziare la specificità dell'attività, i processi produttivi coinvolti e le diverse tecnologie di riduzione degli inquinanti utilizzate. Le emissioni sono stimate, sulla base di criteri stabiliti dalle normative europee e nazionali, facendo riferimento ad un elenco di attività la cui nomenclatura è adottata a livello internazionale da SNAP da EMEP-CORINAIR. La

nomenclatura è organizzata secondo una struttura gerarchica attraverso un codice a otto cifre che individua e raggruppa le sorgenti delle relative emissioni secondo quattro livelli di aggregazione crescente : macrosettore, settore, attività.

L'inventario contiene le quantità stimate di emissioni, di origine naturale e antropica, presenti su tutto il territorio :

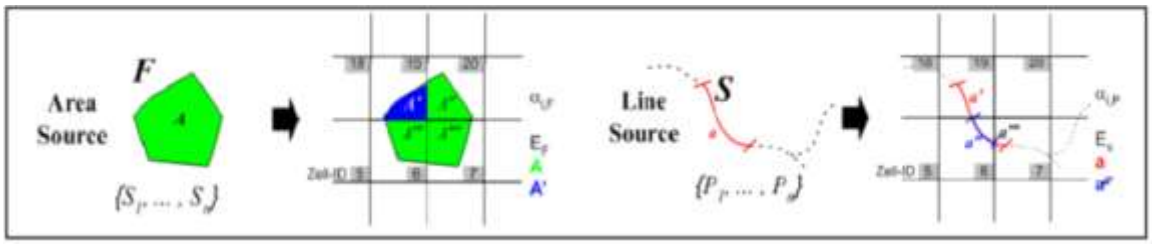
- i principali inquinanti, ovvero ossidi di azoto (NOx), ossidi di zolfo (SO2), monossido di carbonio (CO), particelle solide fini con diametro aerodinamico inferiore a 10 micrometri e 2,5 micrometri (PM10 e PM2,5), composti organici volatili (COV);

- gas effetto serra;

- benzene (C6H6), idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e ammoniaca (NH3);

- metalli (arsenico, cadmio, nichel, piombo, cromo, mercurio, rame, selenio, zinco).

Le emissioni, sia diffuse che georeferenziate nello spazio, devono essere attribuite all'elemento di griglia a cui contribuiscono. L'assegnazione avviene utilizzando variabili surrogate (es. Variabili sostitutive), sulla base di una combinazione di temi (oggetti geografici, layer cartografici e statistiche) utili per eseguire l'allocazione delle attività sorgente sul cellule.



In sintesi, le quantità emesse entrano nel modello strutturato secondo una matrice che identifica l'inquinante e il macrosettore originario :

INQUINANTE

- SOx - Diossido di zolfo (SO_2+SO_3)
- NOx - Ossidi di azoto (NO+NO_2)
- NMVOC - Composti organici volatili non metanici
- CH4 - Metano
- CO - Monossido di carbonio
- CO2 - Diossido di carbonio (anidride carbonica
- N2O - Protossido di azoto
- NH3 - Ammoniaca
- PM_{10} - Particolato (< 10 micron)
- PM_{25} - Particolato (< 2.5 micron)
- PTS - particolato totale

MACROSETTORE

01. Combustione nell'industria energetica e trasformazione delle fonti energetiche

02. Impianti di combustione non industriali
03. Impianti di combustione industriale e processi con combustione
04. Processo di produzione
05. Estrazione della distribuzione di combustibili fossili ed energia geotermica
06. Uso di solventi
07. Trasporto su strada
08. Altre fonti e macchine mobili
09. Trattamento e smaltimento dei rifiuti
10. Agricoltura
11. altre fonti e campioni (biogenici)

Dopo l'allocazione delle quantità emesse su base annuale a ciascun punto della rete del modello, viene effettuata la scomposizione temporale all'interno del codice sulla base delle curve di modulazione stagionale, settimanale e giornaliera per ogni macrosettore e ciascun inquinante. In questo modo viene fornito come input al modello l'andamento temporale delle emissioni su base oraria per l'intero periodo dell'anno.

3.2. Utilizzo di Chimere: Esperienza di ATMOSUD e QUALITAIR CORSE

Contesto di utilizzo del modello CHIMERE

AtmoSud utilizza il modello CHIMERE per i suoi calcoli di modellazione della qualità dell'aria da oltre 10 anni. Questo modello Chimico-Trasporto fa parte della catena previsionale AIRES[1] Mediterraneo, utilizzato quotidianamente per la previsione giornaliera delle concentrazioni di polveri sottili (PM10 e PM2,5), ozono (0_3) e biossido di azoto (NO_2). Il modello CHIMERE viene utilizzato anche per l'analisi delle situazioni passate, in particolare nell'ambito dei ricalcoli annuali che confluiscono nella rendicontazione europea delle popolazioni e delle aree esposte a superamenti delle soglie normative. Infine, viene utilizzato nel contesto di scenari per supportare le politiche di sviluppo regionale e produrre elementi di supporto decisionale.

Il principio di funzionamento generale della modellazione di catene che utilizzano CHIMERE è omogeneo per tutte le applicazioni. Solo le versioni dei modelli, le configurazioni parametriche e le risoluzioni spaziali possono variare a seconda dell'uso finale dei modelli.

Il WRF (Weather Forecast Research[2]) viene utilizzato per calcolare l'insieme di parametri meteorologici necessari per i calcoli della dispersione atmosferica e della chimica. Questo modello, libero e aperto, è sviluppato in collaborazione da un consorzio scientifico composto in particolare da NCAR (National Center for Atmospheric Research) e NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), e altre agenzie di ricerca o difesa. Le condizioni al contorno e iniziali richieste dal primo dominio di calcolo sono i dati GFS (Global Forecast System) per la previsione o GDAS (Global Data Assimilation System) per l'analisi prodotti dal NCEP (National Centers for Environmental Prediction).

Le emissioni antropiche utilizzate nei primi campi a scala continentale o interregionale provengono dal database EMEP (European Monitoring and Evaluation Program). Queste emissioni vengono ridistribuite in base all'uso del suolo con risoluzioni spaziali simili ai domini di simulazione. Le emissioni antropiche delle zone più pregiate (scala regionale o subregionale)

[1] AIRES: Atmospheric Integrated Regional System

[2] https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model

provengono dall'inventario regionale delle emissioni prodotto annualmente da AtmoSud a livello comunale e in accordo con le raccomandazioni della guida nazionale PCIT[3] sullo sviluppo di inventari spaziali. Durante la preparazione dell'inventario vengono conservate le informazioni spaziali e temporali delle sorgenti di emissione al fine di consentire lo sviluppo più preciso possibile dei dati di emissione sotto forma di una griglia, denominata catasto delle emissioni, alle stesse risoluzioni. come domini di calcolo di CHIMERE. Per le emissioni del settore residenziale, queste sono modulate per ciascuna delle celle di calcolo secondo le previsioni di temperatura giornaliere effettuate con il modello WRF.

Le emissioni biogeniche sono calcolate dal modello MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature[4]) e vincolato dai dati meteorologici del WRF. Le emissioni di polveri minerali dovute ad erosione e risospensione nonché le emissioni di sali marini vengono calcolate da moduli aggiuntivi integrati direttamente nel modello CHIMERE. Queste emissioni sono anche limitate dai dati meteorologici del WRF.

Le condizioni limite e iniziali di concentrazione utilizzate per il campo più grande di CHIMERE derivano dal modello LMDz-INCA2[5].

Utilizzo e configurazione per previsioni giornaliere

La previsione operativa giornaliera su scala regionale della qualità dell'aria è effettuata dalla piattaforma denominata AIRES che raggruppa all'interno di una catena di calcolo il calcolo dei campi meteorologici, il calcolo delle emissioni, il calcolo dei campi di concentrazione e le varie post-elaborazioni effettuate al fine di adattare statisticamente le cosiddette previsioni grezze e di utilizzare i risultati prodotti in forma cartografica, indici di qualità dell'aria, calcoli di popolazione soggetta al superamento di una soglia regolamentare o ancora per alimentare catene di calcolo ad alta risoluzione.

La configurazione della più recente catena di calcolo operativo è riportata nella Tabella 1:

	Calcoli del campo meteorologico	**Calcoli dei campi di concentrazione**
Versione modello	WRF v3.8	CHIMERE v2017r4
Aree di calcolo	Europa36> Mediterraneo12> SUD4 (Figura 1)	Europa36> Mediterraneo12> LR + PACA4 e CORSE4 (Figura 2)
Limite e condizioni iniziali	Dati GFS (0,5 °)	Dati limite: climatologia (LMDZ) Dati iniziali: ricomincia da D-1 il giorno prima

Tabella 1 : configurazione della catena previsionale AIRES

[3] https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/MTES_Guide_methodo_elaboration_inventaires_PCIT_mars2019.pdf

[4] Guenther A., Karl T., Harley P., Wiedinmyer C., Palmer P. I., Geron, C. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature). Atmos. Chem. Phys., 6 :3181–3210, 2006

[5] Hauglustaine D. A., Hourdin F., Jourdain L., Filiberti M.A., Walters S., Lamarque J.F., Holland E.A. Interactive chemistry in the Laboratoire de Meteorologie Dynamique general circulation model : Description and background tropospheric chemistry evaluation. Journal of Geophysical Research, 109, 2004

I calcoli dei campi meteorologici e delle concentrazioni vengono effettuati su domini annidati che vanno da una risoluzione di 36 km su scala continentale fino a 4 km per domini regionali (Figura 6 e Figura 7). Per non rallentare la produzione operativa giornaliera, i calcoli dei campi di concentrazione per la regione SUD e la regione Corsica vengono effettuati su due aree separate (Figura 7).

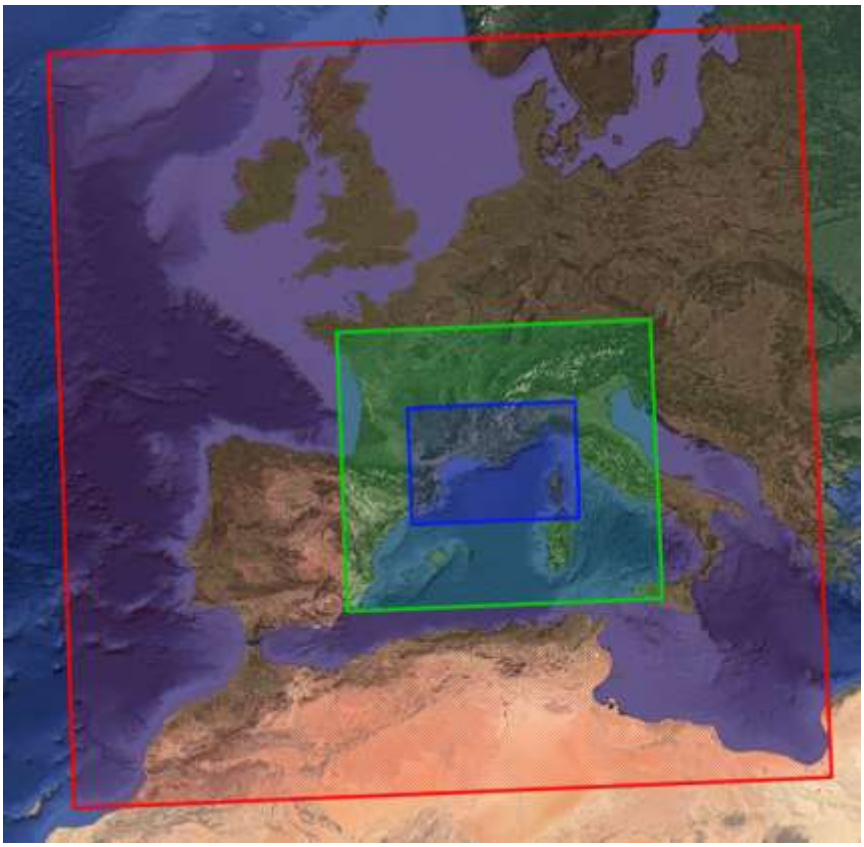


Figura 6 : Domini di calcolo dei campi meteorologici della catena di previsione AIRES

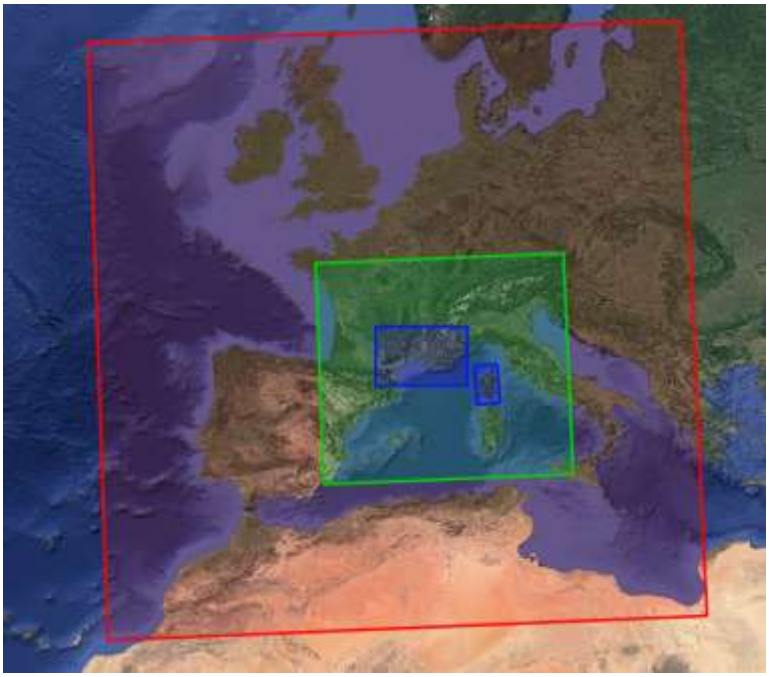


Figura 7: Domini di calcolo dei campi di concentrazione della catena previsionale AIRES

La catena di calcolo fornisce una previsione delle concentrazioni orarie o giornaliere di numerosi inquinanti (NO_2 , O_3 , PM10, PM2,5, pOCAR , pBCAR , ecc.) Su aree che coprono la regione meridionale (Figura 8) e la Corsica (Figura 9).

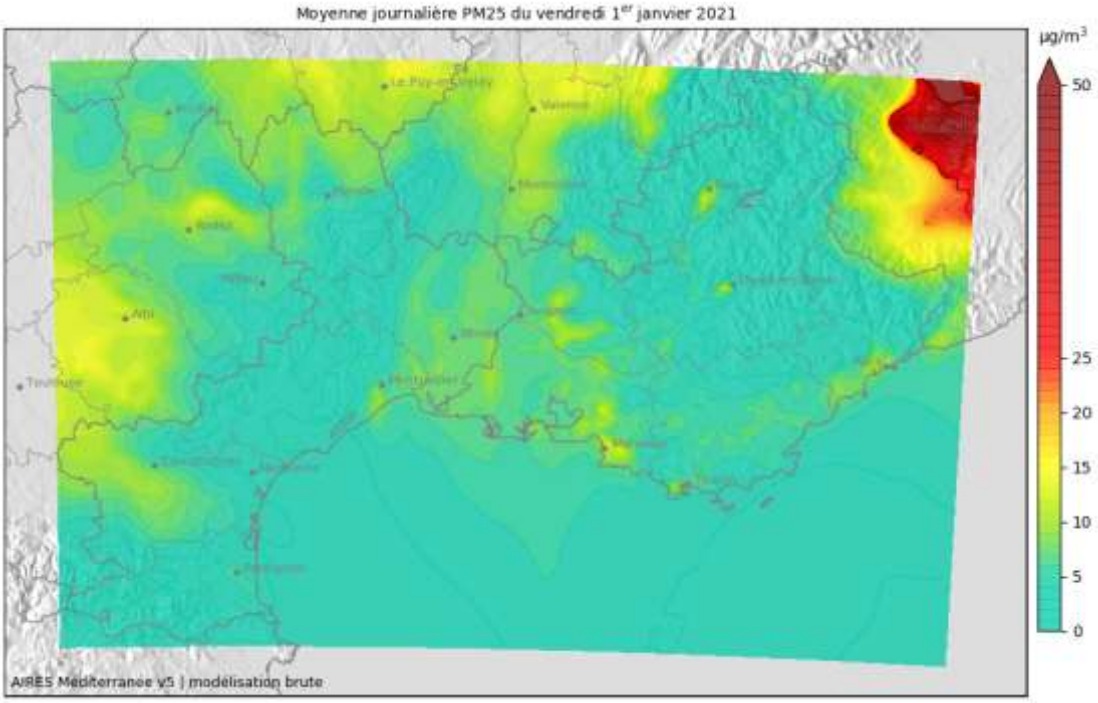


Figura 8: previsione giornaliera PM2.5 nel 1 ˙ gennaio 2021 nella regione meridionale dal sistema AIRES

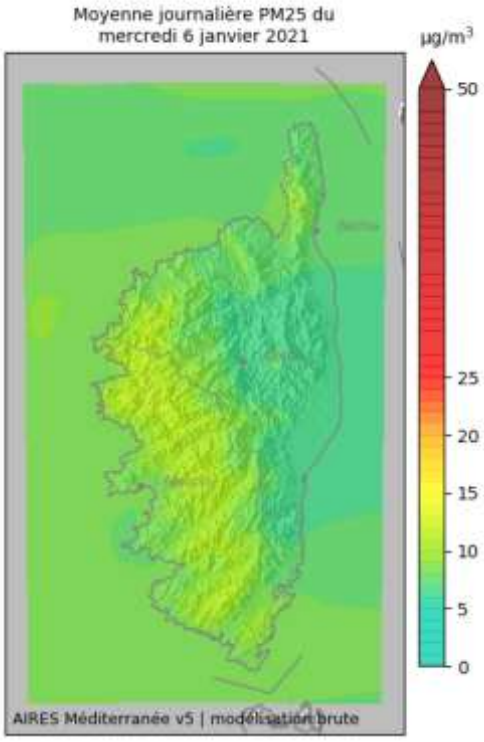


Figura 9: Previsioni giornaliere PM2.5 del 6 gennaio 2021 sulla Corsica dal sistema AIRES

Uso e configurazione per l' analisi

Il ricalcolo dei campi di concentrazione in modalità analisi consente una maggiore flessibilità nella scelta delle configurazioni, in particolare sul tema delle risoluzioni spaziali poiché il vincolo sui tempi di calcolo è meno forte. Tuttavia, per motivi di coerenza, viene mantenuta la configurazione della catena delle previsioni operative. Differisce solo la post-elaborazione della catena di produzione: downscaling, assimilazione dei dati di osservazione, ecc.

Utilizzo e configurazione all'interno dello scenario

Per quanto riguarda l'analisi, l'utilizzo della catena in modalità scenario offre maggiore libertà nella scelta delle configurazioni. Inoltre, è quindi necessario adattarsi al problema studiato. Durante vari progetti, AtmoSud ha così implementato il modello CHIMERE in molte configurazioni. Il seguente elenco di progetti non è esaustivo ma offre una prospettiva dell'esperienza di AtmoSud nell'utilizzo del modello CHIMERE.

- Progetto GABES[6]

Nell'ambito di questo progetto, AtmoSud ha studiato le capacità del modello CHIMERE di riprodurre le emissioni e il trasporto di polvere del deserto. Questo lavoro è stato svolto in collaborazione con il LISA (Laboratorio Interuniversitario di Sistemi Atmosferici) che ha effettuato un audit della catena di calcolo AIRES di AtmoSud oltre a vari test parametrici per arrivare alla migliore configurazione per simulare il trasporto delle polveri. deserto.

[6] https://www.atmosud.org/fiche-etude/gouvairnance-gabes

Pertanto, sono stati apportati adeguamenti ai calcoli dei campi meteorologici e alla configurazione del modello CHIMERE. Uno dei principali cambiamenti è stata l'estensione del dominio computazionale, sia nella dimensione verticale che in quella orizzontale. La Figura 10 fornisce un'illustrazione dei risultati ottenuti durante questo progetto.

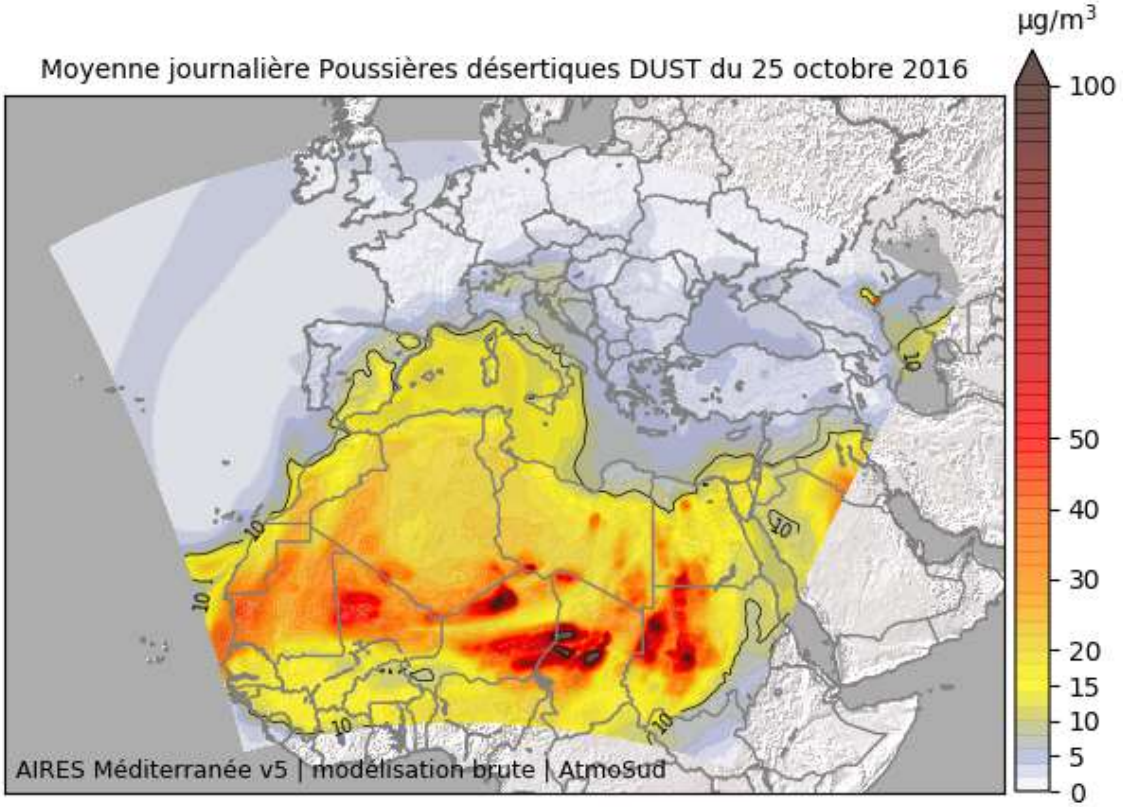


Figura 10: Simulazione del contributo della polvere del deserto alla media giornaliera in PM10 per il giorno del 25 ottobre 2016

- Progetto TEMMAS

L'obiettivo di questo progetto era studiare in dettaglio l'impatto di un sito industriale sul territorio di sorveglianza di AtmoSud. Per questo, sono state effettuate simulazioni con una risoluzione spaziale ridotta di 1 km x 1 km con CHIMERE. La Figura 11 mostra l'output di una simulazione durante il periodo di studio. I risultati delle sue simulazioni hanno mostrato una sottostima della frazione organica in situazioni di fondo, nonché una sottostima della frazione solfato nel campo vicino.

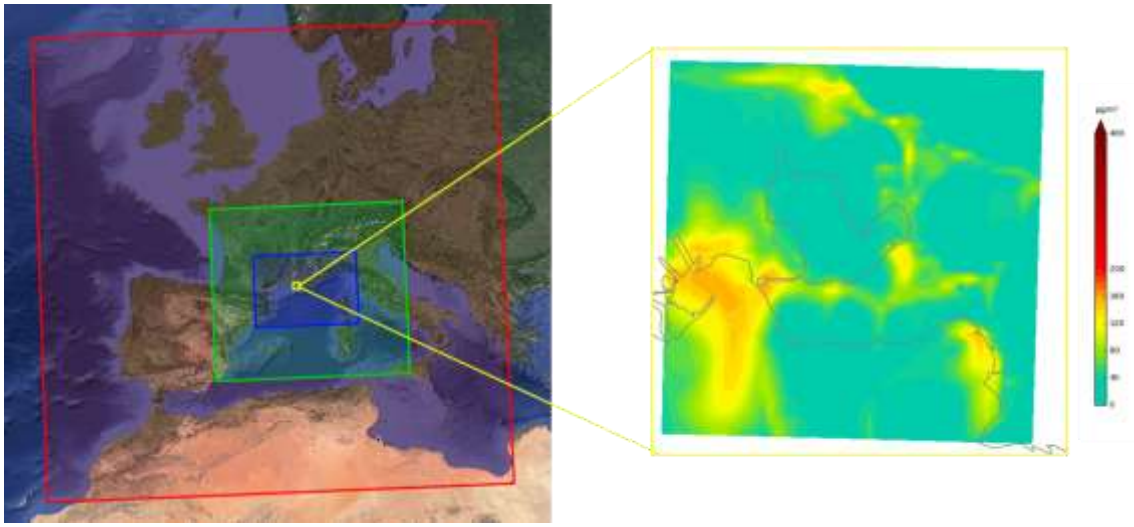


Figura 11: output della simulazione (massimo giornaliero in NO_2) su un dominio con una risoluzione di 1 km sul bordo dell'Etang de Berre (Bouches du Rhône).

➢ Progetto CAIMANS

Il progetto CAIMANS[7] ha studiato l'impatto del trasporto marittimo in diverse città del bacino del Mediterraneo e le soluzioni di mitigazione. Tra gli scenari studiati, AtmoSud ha lavorato al cambio del carburante delle navi simulando l'impatto su larga scala (Figura 12) dell'utilizzo del GNL (Gas Naturale Liquefatto) da parte dell'intera flotta di navi che attraversano il mare Mediterraneo.

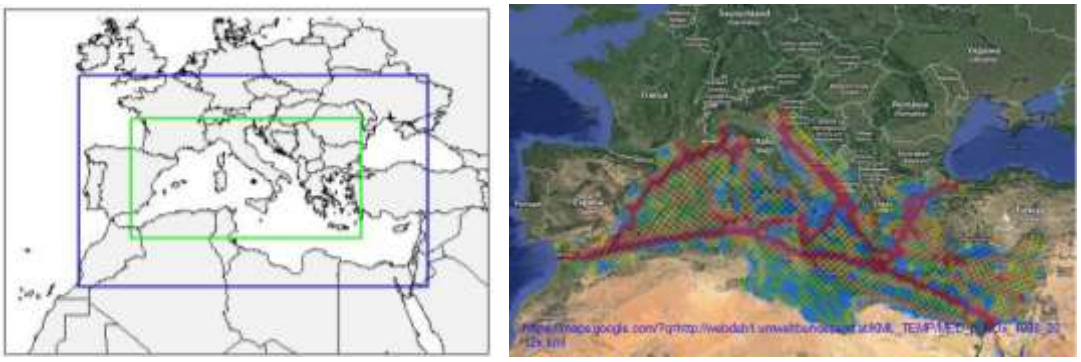


Figura 12: dominio di simulazione sull'intero bacino del Mediterraneo e fonti di emissioni del trasporto marittimo utilizzate nelle simulazioni

Le simulazioni effettuate con un modello di trasporto chimico hanno permesso di mostrare l'interesse di questa azione sull'inquinamento fotochimico su larga scala riducendo le emissioni di precursori dell'ozono e particelle secondarie (Figura 13).

[7] https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/150600_airpaca_caimans_final_report_0.pdf

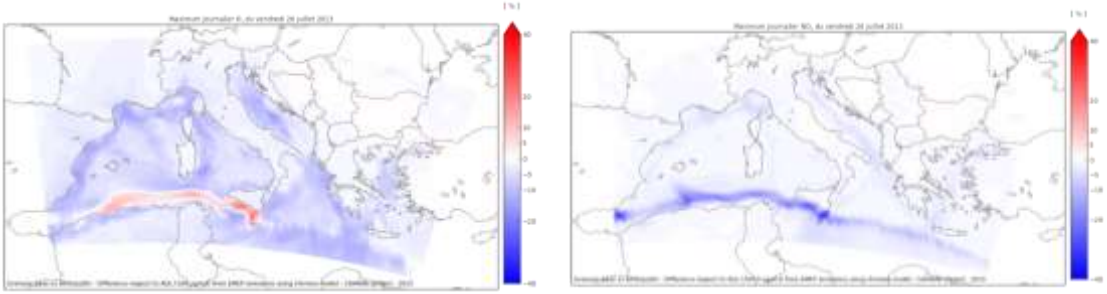


Figura 13 : Differenza tra "scenario base" e "LNG - Tutte le navi scenario" in relazione alla AQL per O_3 (di sinistra) e NO_2 (a destra) durante il 26 luglio 2013 sul dominio CAIMANs

➢ Progetto CLIMAERA

Il progetto CLIMAERA[8] ha permesso ad AtmoSud di migliorare la propria conoscenza e padronanza del modello CHIMERE. È stato svolto un importante lavoro di test parametrici, che ha permesso di ottenere una configurazione ottimizzata sul dominio della regione Sud per le concentrazioni di particelle fini in particolare. La configurazione finale adottata ha consentito di ridurre sensibilmente le sottostime delle concentrazioni di particolato sull'intera rete di monitoraggio AtmoSud (Figura 14). I suoi miglioramenti si sono concentrati sia sulle medie giornaliere del particolato e dei valori regolatori, ma anche sulla dinamica oraria delle concentrazioni.

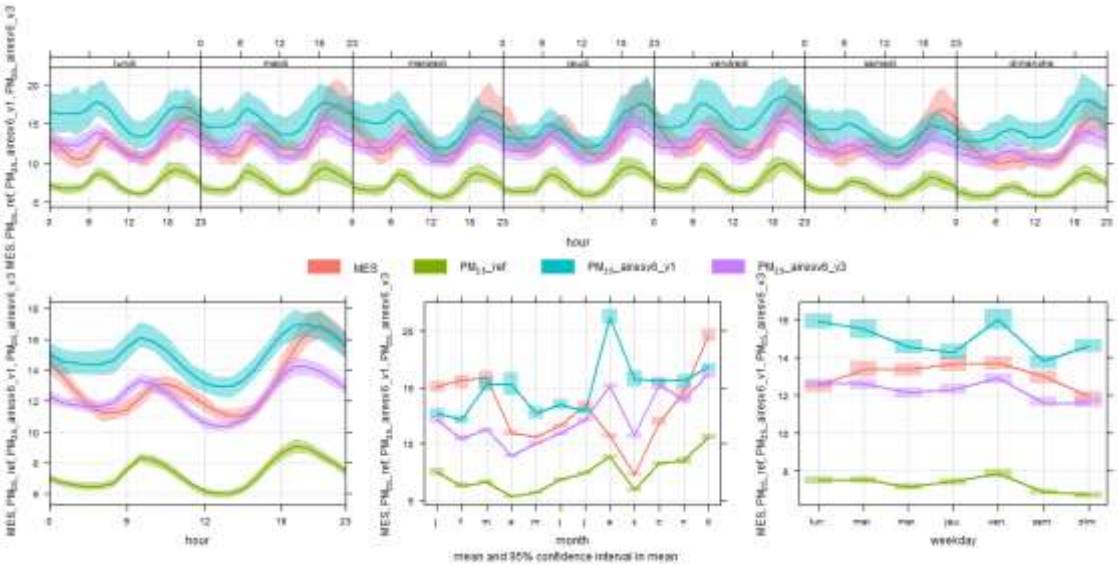


Figura 14: Grafici sintetici di confronto del modello di misura per PM2.5 su tutte le stazioni di misura della rete di monitoraggio AtmoSud, escluse le stazioni di traffico e industriali. Le curve rosse rappresentano le osservazioni, le violette le simulazioni della versione ottimizzata.

[8] https://www.atmosud.org/fiche-etude/climaera-climat-et-qualite-de-lair

Nell'ambito di questo progetto, è stato anche svolto un lavoro per definire le relazioni sorgente-recettore tra variazioni nelle emissioni e variazioni nelle concentrazioni di diversi inquinanti. I risultati di questo lavoro sono stati inseriti in uno strumento, RIAT + (Regional inte-grated assessment Tool Plus), che consente la selezione e la prioritizzazione delle azioni di miglioramento della qualità dell'aria più efficaci nell'area di studio.

- Progetti in corso

Uno dei progetti in corso mira a sviluppare un modulo di emissione del polline di ambrosia. Gli output di questo modulo verranno quindi adattati e formattati per essere integrati direttamente nel cuore del sistema CHIMERE al fine di riprodurre i campi di concentrazione di questa nuova specie.

Un altro progetto, SCIPPER[9], riunisce un consorzio scientifico di importanti modellisti europei sul tema del trasporto marittimo . Nell'ambito di questo progetto, è in corso un confronto tra diversi modelli di trasporto chimico. Questo esercizio confronta i risultati dei modelli CHIMERE, CAMx, CMAQ, EMEP e MARSaero su due domini alla scala dell'Europa e del bacino del Mediterraneo (Figura 15). I risultati di questo esercizio consentiranno una migliore padronanza degli strumenti di modellazione.

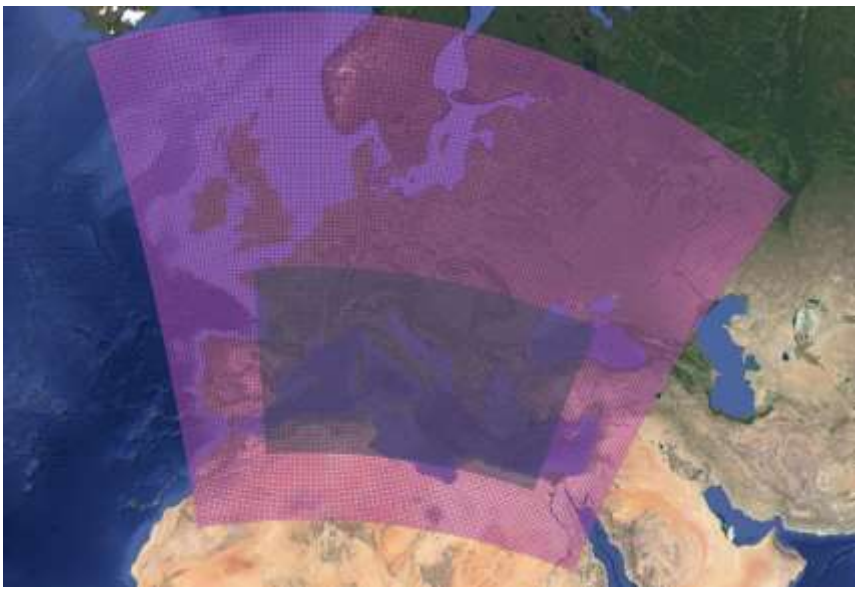


Figura 15: domini di simulazione dell'esercizio di confronto dei modelli utilizzati nell'ambito del progetto SCIPPER.

[9] https://www.scipper-project.eu/

4. Modellistica Lagrangiana: CALPUFF e PMSS

4.1. Utilizzo del modello CALPUFF: l'esperienza di UNIGE

Lo studio della dispersione sarà condotto da UNIGE utilizzando la catena modellistica basata su CALPUFF (Scire *et al*., 2001, v. 5.7) utilizzato in cascata al modello meteorologico di vento di tipo diagnostico CALMET (Scire *et al*., 2000, v.5.6).

Come già discusso nel capitolo 2, CALPUFF è un modello non stazionario a *puff* per il calcolo della dispersione degli inquinanti rilasciati da diverse categorie di sorgenti emissive (puntuali, areali, lineari, volumetriche). CALPUFF implementa algoritmi per la trattazione della deposizione secca e umida, di alcune trasformazioni chimiche e di alcuni effetti prossimi alla sorgente (*building downwash*, fumigazione, innalzamento progressivo del pennacchio, penetrazione parziale nello strato rimescolato). Pur essendo prevista l'opzione dell'utilizzo di dati meteorologici puntuali (similmente ai più comuni modelli gaussiani stazionari), le piene potenzialità del codice di CALPUFF vengono attivate se utilizzato in congiunzione con i campi meteorologici tridimensionali generati da CALMET. CALMET, a sua volta, è un modello meteorologico diagnostico che, a partire da dati osservati (al suolo e di profilo) e da dati geofisici produce campi orari tridimensionali di vento e bidimensionali di diverse variabili meteorologiche e micrometeorologiche. CALPUFF è indicato dalla US-EPA come modello di riferimento per applicazioni che coinvolgono il trasporto di inquinanti su lunghe distanze, oppure per applicazioni in campo vicino quando sono importanti effetti non stazionari come variabilità delle condizioni meteorologiche, calme di vento, discontinuità terra-mare, orografia complessa, ecc. (http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm).

In merito all'incertezza insita nelle stime modellistiche si rimanda alla "Guideline on Air Quality Models" (US-EPA, 2005) dove viene esplicitato che i modelli sono più affidabili per stime di concentrazioni medie di lungo periodo, piuttosto che per concentrazioni di breve periodo in specifici siti e che le stime relative ai massimi di concentrazione vanno ritenute ragionevolmente affidabili come ordine di grandezza. Sovrastima dei massimi dell'ordine del 10 fino al 40% sono citati come tipici. La normativa italiana, similmente, (DM 60/02) prevede un'incertezza del 30% per le medie annue del 50% per quelle orarie e giornaliere.

Il modello WRF fornirà in questo progetto i campi di velocità tridimensionali ad una risoluzione di circa 1 km sull'area/aree di interesse, che verrà poi elaborato da CALMET per raggiungere campi di vento a risoluzione sino a circa 200 m. La base di inizializzazione di WRF è fornita dal modello meteorologico americano, che opera su scala globale, GFS (*Global Forecast System*, https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forcast-system-gfs).

L'intera catena meteo-dispersiva verrà resa operativa su una infrastruttura di calcolo AWS-Amazon ad alte prestazioni su cui UNIGE ha maturato una esperienza ormai consolidata.

L'Università di Genova ha collaborato attivamente alla realizzazione del progetto MEMORIA, cofinanziato nell'ambito del programma POR-FESR fra le azioni di supporto alle attività di ricerca e sviluppo condotte dalle piccole medie imprese (beneficiari SIGE Srl e PM_TEN Srl). La principale finalità del progetto è stata quella di realizzare uno strumento di valutazione della qualità dell'aria basato sull'integrazione fra le simulazioni di qualità dell'aria prodotte da modelli numerici a microscala e i rilevamenti di una rete di sensori *low-cost*. Il progetto ha

previsto quindi lo sviluppo e l'implementazione di una catena modellistica per lo studio della dispersione atmosferica composta dal modello meteorologico WRF-ARW, interfacciato attraverso il preprocessore CALMET al codice di dispersione atmosferica CALPUFF. Sono state quindi sviluppate procedure specifiche per la semplificazione dell'esecuzione dei *run* di simulazione e per il *post-processing* degli *output* della catena modellistica al fine di produrre le mappe di concentrazione di qualità dell'aria e l'analisi di contributo delle sorgenti emissive. È stata inoltre sviluppata la procedura di integrazione fra i dati della rete di sensori e i risultati delle simulazioni modellistiche con le seguenti finalità:

1. La produzione di un flusso costante di dati su tutta l'area di monitoraggio, ottenuto integrando mediante l'analisi delle simulazioni le eventuali lacune nei rilevamenti dei sensori.

2. La correzione dei risultati della simulazione modellistica per meglio adattare la catena a descrivere le condizioni puntuali osservate (che includono eventuali effetti occasionali e/o locali impossibili da includere nella configurazione modellistica standard), incrementando il livello complessivo di affidabilità dello strumento di simulazione e permettendo quindi di sfruttarne al meglio tutte le possibili applicazioni (estensione del dato di concentrazione su tutta la griglia di calcolo, analisi del contributo delle singole sorgenti emissive, previsione e breve/medio termine).

A titolo esemplificativo riportiamo nel seguito una delle mappe prodotte nell'ambito del progetto, in particolare quella relativa ai valori di concentrazione atmosferica degli ossidi di Azoto emessi dalle sorgenti di traffico veicolare in uno degli istanti simulati (01/06/2017 ore 08:00)

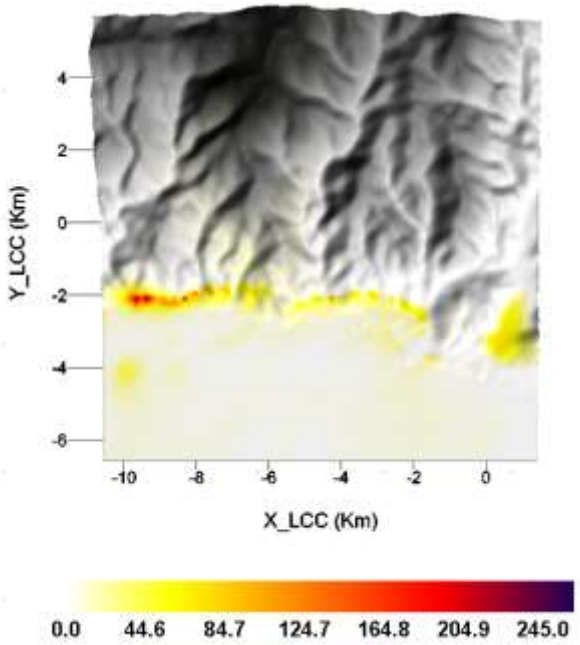


Figura 16: NO_x da traffico stradale - Valore medio orario 01/06/2017 h 08:00 (µg/m³)

4.2. Utilizzo il modello PMSS: le esperienze di ATMOSUD e QUALITAIR CORSE

Descrizione del modello PMSS

Il modello 3D Parallel Micro Swift Spray (PMSS) è sviluppato da ARIA Technologies. Esso simula la dispersione degli inquinanti ad altissima risoluzione, tenendo conto delle variazioni di flusso a causa della presenza di un ostacolo. È quindi adatto per studiare l'impatto sulla qualità dell'aria in ambienti complessi come le aree urbane dense. La Figura 17 mostra la catena di calcolo con i vari dati di input richiesti.

PMSS è composto da un primo modulo per l'interpolazione di campi meteorologici su terreno complesso, denominato SWIFT. Questo modulo ricostruisce i campi di vento in 3 dimensioni da dati di osservazione o da un modello meteorologico di tipo WRF. I dati prodotti alimentano il modulo SPRAY che riproduce la dispersione di pseudo-particelle lungo le linee correnti.

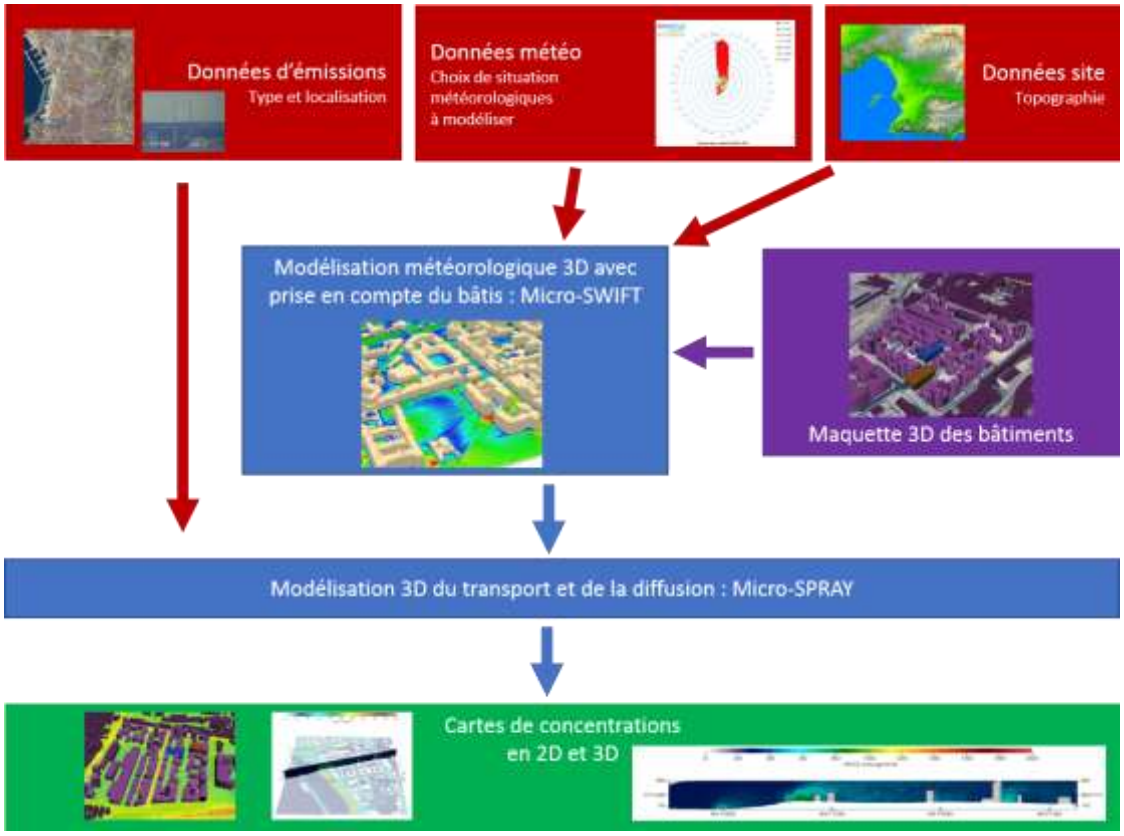


Figura 17 : catena PMSS per portare a mappe della qualità dell'aria

Contesto per l'utilizzo del modello PMSS

PMSS è utilizzato da AtmoSud nella sua catena di modellazione di situazioni di incidente tramite un'interfaccia semplificata che consente all'operatore di simulare la dispersione di sorgenti puntiformi in modo operativo entro un periodo inferiore a 4 ore (Figura 18).

Figura 18: Esempio di simulazione di un pennacchio di particelle nel centro della città di Marsiglia con una risoluzione di 10 m

PMSS è stato utilizzato anche come parte dello scenario di sviluppo urbano per un nuovo distretto a Marsiglia (Figura 19).

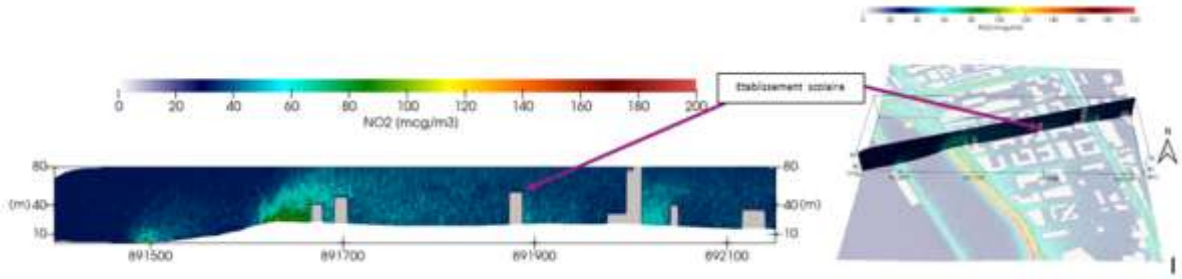


Figura 19: Sezione verticale delle concentrazioni di NO_2 nel distretto Euroméditerranée - Vista verso nord

AtmoSud ha esperienza solo su alcuni progetti con PMSS. Tuttavia, i recenti sviluppi effettuati dal team di modellazione hanno permesso di ottimizzare le catene di preparazione dei dati di input e aumentare le capacità di AtmoSud in termini di operatività con questo modello.

Al momento Qualitair Corse non dispone ancora di alcun feedback sull'esperienza con PMSS, ma il team di modellistica è in formazione per poter effettuare studi portuali. La dispersione dei pennacchi sarà influenzata dalla presa in considerazione delle superfici costruite. Pertanto i risultati dovrebbero essere il più vicino possibile alla realtà.

5. Modellistica Gaussiana

5.1. Descrizione del modello ADMS-Urban

Il modello ADMS- Urban (Atmospheric Dispersion Modeling System) è sviluppato dal CERC (Cambridge Environmental Research Consultant). Riproduce il trasporto degli inquinanti emessi in atmosfera da diverse tipologie di sorgenti (industriali, stradali, residenziali, ecc.) a seconda delle condizioni meteorologiche.

La formulazione del modello permette di integrare queste fonti di inquinamento secondo diverse configurazioni al fine di riprodurre al meglio i loro impatti sulle concentrazioni di inquinanti : sorgenti puntiformi, lineari, superficiali o volumetriche.

La dispersione dei pennacchi nel modello è vincolata dai campi meteorologici provenienti sia dall'osservazione in loco che da un modello meteo. Le variabili necessarie consentono di caratterizzare lo stato dell'atmosfera e di riprodurre i movimenti dell'aria in tre dimensioni oltre che di riprodurre i fenomeni di eliminazione degli inquinanti come la deposizione umida per precipitazione.

Il modello consente inoltre di considerare i vari parametri ambientali del campo di studio che possono indurre una modificazione del flusso come topografia, uso del suolo, asperità, ecc.

La sua formulazione di tipo gaussiano è adatta per studi effettuati a fini risoluzioni spaziali pur consentendo grande libertà nel posizionamento dei punti di calcolo. È possibile distribuire questi punti a distanze più o meno vicine alle fonti di emissione per riprodurre il più finemente possibile le variazioni di concentrazione nelle aree di interesse (Figura n. 20).

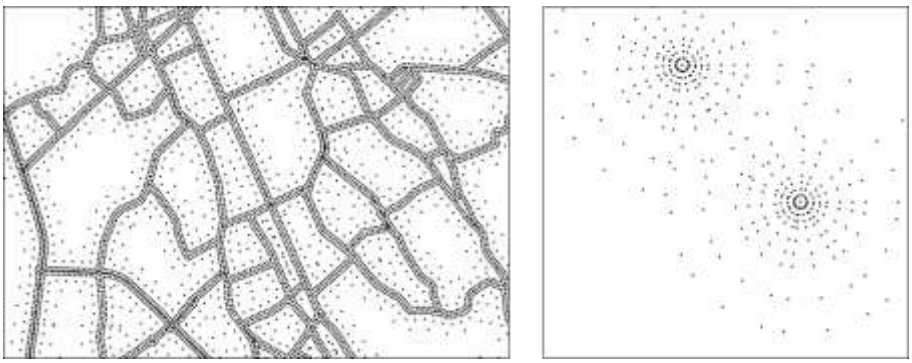


Figura 20 : Esempio di posizionamento dei punti di calcolo per il trattamento di sorgenti lineari (sinistra) e sorgenti puntiformi (destra)

5.2. Utilizzo del modello ADMS-Urban: Esperienza di ATMOSUD

<u>Contesto per l'utilizzo del modello ADMS</u>

Il modello ADMS- Urban viene utilizzato nell'ambito delle analisi (ricalcoli annuali) con un adattamento di alcune parti del software per facilitarne l'utilizzo. ADMS - Urban è utilizzato anche nel quadro proposto per l'analisi di impatto o di scenari.

Uso e configurazione per l' analisi

ADMS - Urban viene utilizzato per il ricalcolo annuale dei campi di concentrazione di NO_2 e PM10 sull'intera regione con una risoluzione spaziale di 25m. Il ricalcolo del PM2,5 è in fase di sviluppo per il 2021.

Come parte di questi ricalcoli, tutte le fonti di emissioni, calcolate da AtmoSud nell'ambito dell'inventario annuale[10] delle emissioni regionali nella regione Provenza-Alpi-Costa Azzurra sono incluse nel calcolo della dispersione. Ciò include tutte le emissioni dovute alle attività industriali e alla produzione di energia, alla gestione dei rifiuti, al trasporto stradale e non stradale come il trasporto aereo e marittimo, alle attività del settore terziario e alle attività residenziali, il settore agricolo e tutte le fonti naturali di emissioni.

Per aggirare i limiti di formulazione del modello, compresa l'omogeneità delle condizioni meteorologiche sul dominio di simulazione, la regione è suddivisa in più sottodomini che consentono di integrare condizioni meteorologiche adattate a ciascun sottodominio e di poter tenere conto delle proprietà fisiche diverse come rugosità, albedo , ecc. Questa divisione consente inoltre di aggirare i limiti computazionali del modello che non consentono l'elaborazione di un numero troppo grande di sorgenti di emissione. La maggior parte dei sottodomini per il ricalcolo annuale sono 6 km x 6 km con una divisione più fine sugli ipercentri dei grandi agglomerati della regione (Figura 21).

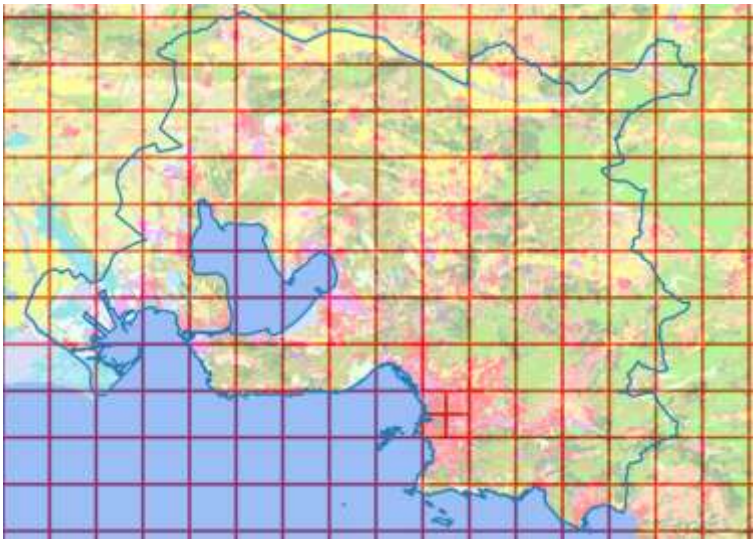


Figura 21 : Illustrazione dei sottodomini di calcolo nell'area metropolitana di Aix-Marsiglia

Questa catena di calcoli basata su ADMS - Urban è stata sviluppata per diversi anni dai team di AtmoSud. Questi risultati consentono di stimare le aree e le popolazioni esposte al superamento dei valori limite per il biossido di azoto (NO_2) e le particelle fini (PM_{10}) da inserire nei rapporti annuali a livello europeo. Un esempio di mappatura annuale di NO_2 calcolata con questo modello su scala regionale è riportato nella Figura 22.

[10] AtmoSud, Les inventaires territoriaux Air-Climat-Energie, 2019 - https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/190724_plaquette_inventaires_territoriaux_0.pdf

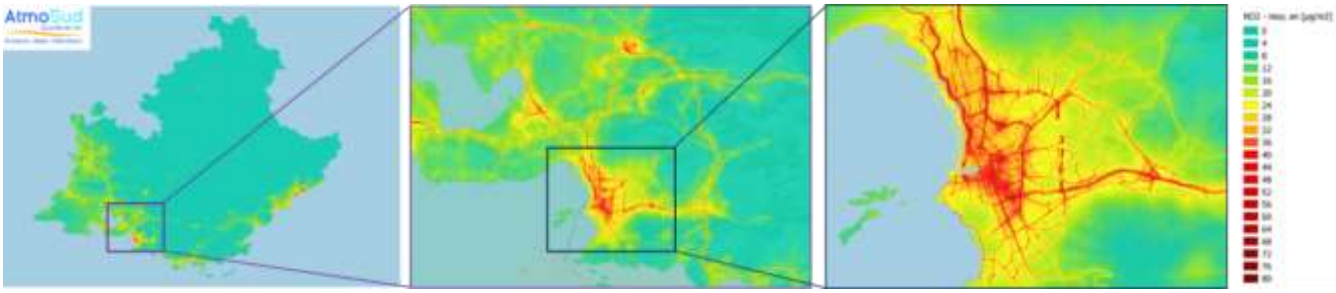


Figura 22 : Mappatura della media annuale di NO_2 per l'anno 2017 a livello regionale

Utilizzo e configurazione all'interno dello scenario

ADMS- Urban è utilizzato in molti studi di scenario, in particolare per valutare l'impatto dei siti industriali o negli studi relativi alla mobilità. Ad esempio, ADMS- Urban è stato utilizzato per simulare l'impatto dei siti di estrazione mediante una rappresentazione della sorgente sotto forma di superficie (Figura 23), per lo studio dello scenario di sviluppo di un'area portuale con la realizzazione di un nuovo terminal nel porto di Marsiglia, con rappresentazione delle sorgenti sotto forma di volume (Figura 24), per studiare l'impatto di una riduzione del traffico pesante su un tratto autostradale con rappresentazione sorgenti sotto forma di linee (Figura 25) o per simulare l'impatto di un sito industriale completo con rappresentazioni di sorgenti puntiformi e superficiali.

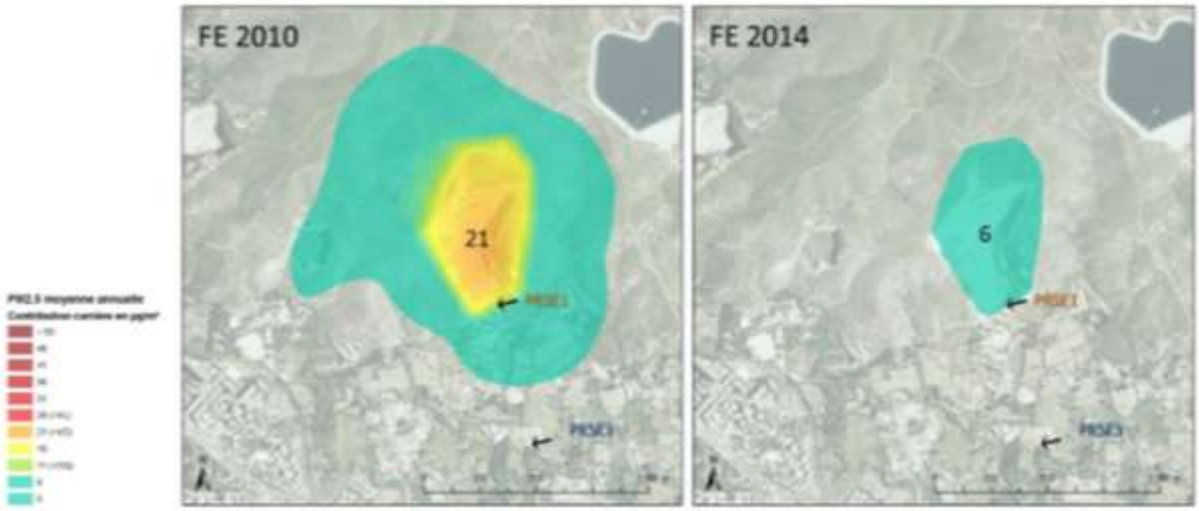


Figura 17 : Mappe delle medie annuali in PM2,5 a livello di una cava (fonte : AtmoSud)[11]

[11] https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/160601_rapport_carriere_2014_aa_versionfinale.pdf

Figura 24 : Differenza relativa tra lo scenario "Riferimento futuro" e lo scenario " Sviluppo terminal crociere " per concentrazioni di PM2,5 durante il periodo invernale sull'area di simulazione urbana dei bacini orientali del porto di Marsiglia-Fos (fonte : AtmoSud[12])

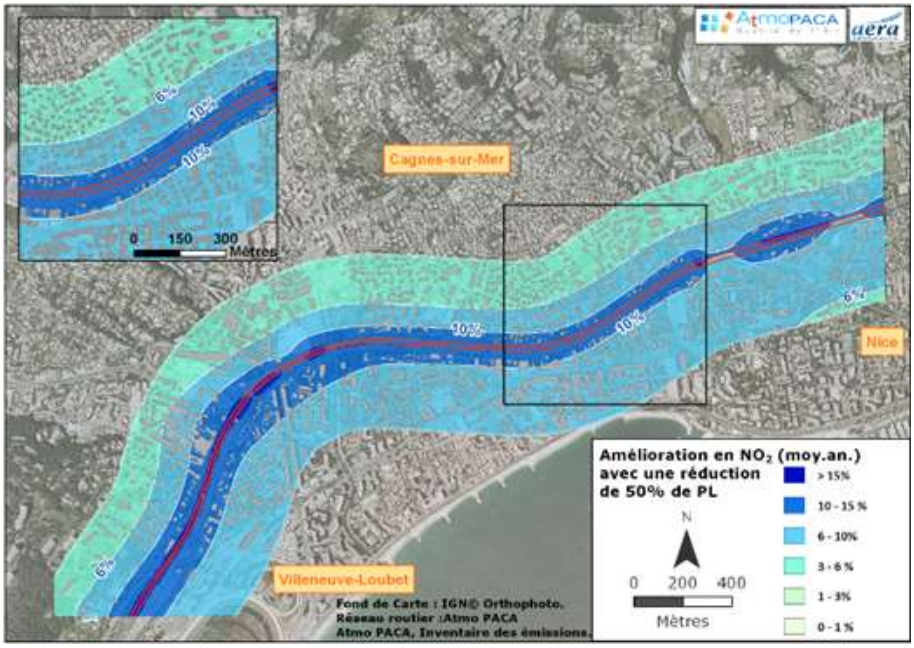


Figura 25 : Miglioramento (in%) della concentrazione annuale di NO2 con una riduzione del -50% di PL a Cagnes (fonte AtmoSud[13])

[12] https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/130200_apice_final_publication_v-anglaise.pdf

[13] https://www.atmosud.org/sites/paca/files/publications_import/files/121200_AirPACA_AERA_impact_Poids_Lourds_A8_net.pdf

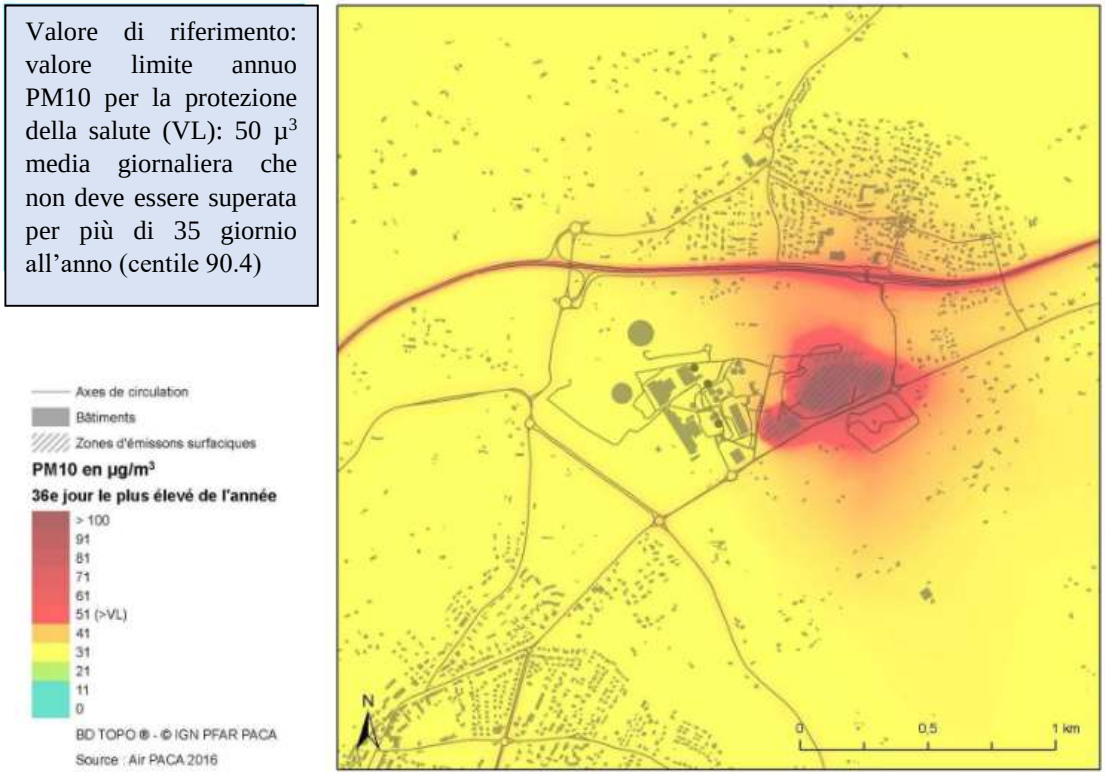


Figura 26 : Concentrazioni di PM10 intorno alla centrale termica della Provenza nel 2015 - 90,4 percentile annuo delle medie giornaliere (fonte AtmoSud[14])

I principali limiti delle simulazioni effettuate con ADMS - Urban riguardano l'omogeneità delle condizioni meteorologiche all'interno del dominio, non consentendo disturbi del flusso dovuti alla presenza di ostacoli come edifici nonché la deformazione del pennacchio nel tempo.

6. Conclusioni

Nelle aree pilota individuate dal progetto verrà applicata una combinazione di approcci modellistici e di analisi in campo per caratterizzare al meglio il contributo del traffico navale e portuale alla qualità dell'aria urbana. La strategia migliore verrà sviluppata in corso d'opera, parallelamente alla pianificazione e svolgimento delle campagne di misura, in base alle peculiarità delle aree portuali allo studio, come ad es. configurazione geografica o prevalenza delle tipologie di sorgenti (puntuali, lineari, areali) da inserire nel dominio di indagine.

Sulla base di queste considerazioni potrebbe essere prediletto un approccio modellistico piuttosto che un altro, od anche un'integrazione tra più modelli.

L'approccio euleriano, quale utilizza Chimere, consente la completa descrizione di tutte le specie chimiche immesse nel dominio di calcolo e provenienti dai bordi dello stesso, nonchè le loro interazione fotochimiche. Essendo già integrato con l'inventario delle emissioni fornisce una stima dei contributi degli inquinanti di origine portuale, urbana e le altre fonti (comprese

[14] https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/170523_airpaca_uniper_modelisation_etat0.pdf

quelle naturali). Inoltre, tali contributi possono essere confrontati con i risultati del "modello a recettore", che è utilizzato a partire dalle concentrazioni misurate delle principali specie chimiche di cui è formato il particolato, fornendo cosi anche i dati necessari per la chiusura del bilancio di massa. Tuttavia la risoluzione di questi modelli non si spinge al di sotto di 1 km di maglia, per cui potrà fornire indicazioni sugli andamenti di concentrazioni mediate nello spazio. Inoltre Chimere non rappresenta la scelta più efficiente quando si tratta di inserire sorgenti puntuali di emissione tempo variante sito specifica, come il caso del monitoraggio degli accosti e delle partenze delle navi.

Per quest'ultimo aspetto la scelta migliore ricade sui modelli lagrangiani (PMSS e CALPUFF) che possono spingersi fino alla risoluzione sufficiente a distinguere gli edifici e posso riprodurre fedelmente il comportamente di un effluente nei casi più complessi. Per contro i campi di concentrazione calcolati dai modelli ad alta risoluzione tracceranno soltanto il contributo delle emissioni portuali, per cui la validazione con i dati osservati, sarà subordinata a opportune strategie : o facendo riferimento a centraline accuratamente posizionate in modo da risentire prevalentemente delle emissioni navali, oppure con l'utilizzo di un tracciante caratteristico.

Dal punto di vista della modulabilità degli scenari, un approccio gaussiano evoluto come quello di ADMS, consentirebbe di gestire in maniera agevole (lineare) la sovrapposizione degli effetti delle varie fonti di inquinamento, ed anche la loro variazione nel tempo, al costo di una semplificazione nell'accuratezza della dispersione, in particolare su terreno complesso e urbanizzato. Va anche detto che l'approccio stazionario rende difficile la riproduzione realistica di un evento reale monitorato in campo, come è il caso dell'accensione e spegnimento di motori navali nell'arco della giornata.

Quindi non si esclude, anzi è probabile, l'applicazione di due modelli « accoppiati » o in parallelo per verificare reciprocamente la coerenza dei rapporti tra le emissioni inserite e le ricadute al suolo, ottenendo auspicabilmente un feedbak utile a testare le informazioni fornite dagli inventari delle emissioni.

In conclusione l'attività 2.2 dovrà giungere alla definizione di uno scenario base affidabile da cui partire per sviluppare gli scenari di riduzione futura. La particolarità degli anni 2020 e 2021, caratterizzati dalla pandemia in corso, potrebbe aggiungere un ulteriore difficoltà nella stima di quello che dovrà essere considerato l'anno « base », dato che ci troviamo in una situazione molto atipica di andamento delle emissioni da traffico stradale e portuale. Per cui potrebbe rendersi necessario riscalare i dati emissivi sui valori di un anno pre-lockdown.