



Progetto PULVIRUS

OBIETTIVO 2 - Valutazione sull'intero territorio nazionale della riduzione delle emissioni e concentrazioni di inquinanti atmosferici per effetto dell'introduzione di misure per contrastare la diffusione del COVID 19.

ATTIVITÀ 2.3 - Simulazioni di qualità dell'aria di scenario. – P2.4: Report su riferimenti scientifici relativi a tecniche di analisi dati, in logica di *ensemble modelling*.

Data: 13/06/2022



GRUPPO DI LAVORO

ENEA

Lina Vitali, Gino Briganti, Mario Adani, Massimo D'Isidoro, Ilaria D'Elia



SOMMARIO

1. INTRODUZIONE.....	5
2. LE TECNICHE <i>ENSEMBLE MODELLING</i> : BASI TEORICHE	7
2.1 Il set di simulazioni dell' <i>ensemble</i>	8
2.2 Metodi per il calcolo dell' <i>ensemble</i>	10
2.2.1 La riduzione e la correzione dell'insieme di simulazioni	10
2.2.2 Sintesi statistiche dell'insieme di simulazioni	11
2.3 Metodi per la validazione dell' <i>ensemble</i>	13
2.4 Bibliografia (citata nella sezione 2).....	15
3. METODO PER LA SINTESI DELLE INFORMAZIONI DELLA RICERCA BIBLIOGRAFICA	19
4. RISULTATI.....	21
4.1 Le pubblicazioni raccolte: <i>repository</i> di condivisione	21
4.2 Le pubblicazioni raccolte: elenco.....	21
5. CONCLUSIONI	28
APPENDICE: CAMPIONE DI SCHEDE SINTETICHE PRODOTTE	29
Bianconi et al. (2004).....	29
Brasseur et al. (2019)	31
Delle Monache and Stull (2003).....	34
Delle Monache et al. (2006)	37
Djalalova et al. (2010).....	39
Galmarini et al. (2004)	42
Galmarini et al. (2018)	44



Ganesh et al. (2018)	47
Kioutsioukis and Galmarini (2014).....	49
Krishnamurti et al. (2016)	52
Kumar et al. (2020)	55
Marécal et al. (2015)	58
McKeen et al. (2005).....	60
Monteiro et al. (2013).....	62
Pagowski et al. (2005).....	65
Riccio et al. (2012).....	68
Sofiev et al. (2017).....	71
Solazzo et al. (2012).....	73
Vautard et al. (2009).....	76



1. INTRODUZIONE

La principale finalità dell’Obiettivo 2 del Progetto Pulvirus è la ricostruzione, attraverso gli strumenti resi disponibili dalle Istituzioni coinvolte, dell’impatto sulla qualità dell’aria delle misure restrittive adottate dai diversi Decreti per il contenimento della diffusione del virus SARS-COV-2 in Italia durante la cosiddetta prima ondata (tra febbraio e maggio 2020). A questo scopo, sono stati predisposti e confrontati due scenari: lo scenario di qualità dell’aria “con misure” (scenario *lockdown*) e uno scenario teorico in assenza di tali misure e a parità di meteorologia (scenario *base*).

In particolare, nell’ambito dell’attività 2.3, entrambi gli scenari sono stati simulati utilizzando due diverse catene modellistiche: ENEA ha effettuato le simulazioni dei due scenari con il sistema modellistico MINNI (risultati descritti nel report “Report_ob2_attivita_2.3_MINNI_ENEA.pdf”); ArpaE ha utilizzato la catena Arpae-SNPA (risultati descritti nel report “Report_ob2_attivita_2.3_ArpaE_finale.pdf”), entrambi i report sono disponibili sul sito del progetto (<https://www.pulvirus.it/index.php/documentazione-obiettivo-2/>). Le principali caratteristiche delle simulazioni condotte da ENEA e da ArpaE sono sintetizzate in Tab. 1.

Tab. 1 – Simulazioni condotte da ENEA e da ArpaE.

Istituzione	Catena Modellistica	Modelli		Emissioni	
		Modello Meteorologico	Modello di Qualità dell’Aria	scenario <i>base</i>	scenario <i>lockdown</i>
ENEA	MINNI	WRF	FARM	emissioni prodotte dall’attività 2.1	emissioni prodotte dall’attività 2.2
ArpaE	Arpae-SNPA	COSMO	CHIMERE		

In sintesi, le simulazioni prodotte da ENEA e da ArpaE hanno condiviso lo stesso input emissivo e si sono differenziate, oltre che per i modelli di qualità dell’aria utilizzati, anche per il driver meteorologico.

L’attività oggetto del presente prodotto 2.4 consiste nello studio di tecniche di *ensemble modelling* finalizzate a sintetizzare diverse simulazioni modellistiche applicate allo stesso caso studio. Tale attività era stata programmata prevedendo che un numero maggiore di Istituzioni coinvolte nel Progetto mettessero a disposizione una propria elaborazione modellistica di ciascuno dei due scenari oggetto di studio. Ma dato il numero esiguo di simulazioni a disposizione (solo due per ciascun scenario), si è concordato, fin dalle prime riunioni del gruppo di lavoro del prodotto 2.4, che



esso avrebbe raccolto unicamente i risultati dello studio bibliografico, data l'evidente impossibilità di effettuare un'analisi di *ensemble modelling* sulla base di due sole realizzazioni modellistiche.

Il presente Report è organizzato come segue. Nella sezione 2 è fornita una sintesi dei fondamenti teorici alla base delle tecniche di *ensemble modelling*, come emersa dall'approfondita analisi bibliografica che è stata condotta. Nella sezione 3 è presentata la metodologia adottata per la ricerca bibliografica, in particolare la predisposizione di schede sintetiche finalizzate alla raccolta e alla sintesi delle informazioni salienti di ciascuna pubblicazione. Infine nella sezione 4 sono forniti i risultati della ricerca, ossia l'elenco di tutte le pubblicazioni raccolte e messe a disposizione del Progetto, mentre un campione delle schede elaborate a sintesi delle principali pubblicazioni è fornito in Appendice.



2. LE TECNICHE *ENSEMBLE MODELLING*: BASI TEORICHE

Le tecniche di *ensemble modelling*, nate nell'ambito delle previsioni meteorologiche (e.g. Toth and Kalnay, 1993; Krishnamurti et al., 1999; Hou et al., 2001; Wandishin et al., 2001), hanno trovato da diversi anni ampia diffusione in altri contesti delle scienze atmosferiche, ad esempio in altre applicazioni che utilizzino in ingresso dati meteorologici, come le previsioni dei potenziali energetici (e.g. Sperati et al., 2016), ma soprattutto nelle applicazioni modellistiche di qualità dell'aria (e.g. Delle Monache and Stull, 2003; Galmarini et al., 2018; Marécal et al., 2015; Sofiev et al., 2017; Solazzo et al., 2012).

L'idea che sta alla base delle tecniche di *ensemble modelling* nasce dall'intrinseca incertezza che accompagna le previsioni dello stato e dell'evoluzione dell'atmosfera che, come è noto, presenta le caratteristiche di un sistema caotico. L'incertezza nel definire lo stato iniziale dell'atmosfera e la necessaria semplificazione delle equazioni che ne descrivono l'evoluzione si riflettono infatti nell'incertezza della singola previsione, che pertanto dovrebbe essere ritenuta una delle possibili realizzazioni dell'evoluzione dell'atmosfera. Inoltre, l'aumento della complessità della descrizione del sistema implica, in generale, la necessità di reperire ulteriori parametri sperimentali, con conseguente introduzione di ulteriori incertezze. Per questo motivo un insieme (*ensemble*) di diverse simulazioni, opportunamente costruito modificando le condizioni iniziali e le parametrizzazioni descrittive dei processi atmosferici, risulta generalmente più accurato di ciascuna singola realizzazione perché tiene conto delle diverse fonti di incertezza e statisticamente le media (e.g. Delle Monache et al., 2006; Pagowski et al., 2005). Più esattamente, una certa realizzazione modellistica può essere migliore di un'altra in un dato contesto, a motivo di una specifica parametrizzazione o di una più corretta definizione di una certa variabile iniziale. Ma questo non è prevedibile a priori e inoltre solitamente nessuna realizzazione è migliore di tutte le altre in tutti i contesti. Ma se gli output delle diverse realizzazioni sono considerati nel loro insieme, è verificato che la loro sintesi statistica, pur non avendo le migliori prestazioni sempre, le presenta nella maggior parte dei casi e quindi complessivamente risulta la migliore realizzazione possibile (e.g. Delle Monache and Stull, 2003).

L'utilizzo delle tecniche di *ensemble modelling*, se risulta giustificato per migliorare la descrizione dell'evoluzione dei parametri meteorologici, lo è ancor di più quando si prende in considerazione l'evoluzione della composizione chimica dell'atmosfera descritta dai modelli di qualità dell'aria.



All'incertezza nel riprodurre lo stato fisico dell'atmosfera si aggiungono infatti l'incertezza nella definizione degli input emissivi, la complessità delle reazioni chimiche e l'inevitabile semplificazione dei sistemi di equazioni che le descrivono (Pagowski et al., 2005).

In sintesi, Solazzo et al. (2012) affermano che i vantaggi dell'utilizzo delle tecniche di *ensemble modelling* si possono riassumere in almeno due aspetti: (i) la sintesi statistica dell'*ensemble* (sia essa la media, la mediana, o una qualche altra combinazione delle singole realizzazioni) presenta, come si è già detto, prestazioni migliori di ogni singola realizzazione in quanto tende a medianarne statisticamente gli errori (e.g. McKeen et al., 2005; Vautard et al., 2009); (ii) lo *spread* dell'*ensemble* fornisce una misura della variabilità della previsione modellistica in esame (e.g. Potempski and Galmarini, 2009; Vautard et al., 2006).

2.1 Il set di simulazioni dell'*ensemble*

Una corretta applicazione delle tecniche di *ensemble modelling* presuppone la disponibilità di un ampio set di simulazioni che idealmente dovrebbero soddisfare il criterio *i.i.d.* (*independent and identically distributed around the true state*), ossia essere indipendenti e identicamente distribuite attorno allo stato reale del sistema che si vuole simulare (Kioutsioukis and Galmarini, 2014; Knutti et al., 2010). In altre parole, i membri dell'*ensemble* in condizioni ideali dovrebbero presentare errori non correlati tra loro; solo in queste condizioni la sintesi di insieme, mediando gli errori, è migliore di ciascun membro e la variabilità dell'insieme è rappresentativa dell'incertezza della previsione.

In generale, le diverse simulazioni che compongono un *ensemble* si possono differenziare per: modello meteorologico (parametrizzazioni del *Planetary Boundary Layer* (PBL) e dei processi di diffusione e scambio di calore e massa), modello chimico (schemi chimici in fase gassosa e liquida, parametrizzazione della diffusione e della deposizione, parametrizzazione delle sorgenti), modello di aerosol (dinamica, formazione delle componenti organica ed inorganica), inventario delle emissioni antropogeniche (inclusi gli approcci per la spazializzazione e la modulazione temporale), modelli per la stima delle emissioni naturali (polveri, sale marino e biogeniche), condizioni iniziali e al contorno (meteorologiche e chimiche), estensione, risoluzione orizzontale e verticale del dominio di calcolo (ed eventuale uso del *nesting*, *on-line* o *off-line*). Sulla base di ciò si può abbozzare una classificazione di tutte le possibili combinazioni, tenendo anche presente che, in alcuni casi, meteorologia e diffusione sono valutate *on-line*.



Ad esempio, Galmarini et al. (2004) forniscono una classificazione dei più comuni metodi per ottenere un ensemble di simulazioni in applicazioni di qualità dell'aria.

1. Viene utilizzato sia lo stesso modello meteorologico che lo stesso modello di dispersione e vengono perturbate le condizioni iniziali in input al modello meteorologico (e.g. Straume, 2001).
2. Viene utilizzato sia lo stesso modello meteorologico che lo stesso modello di dispersione e vengono perturbati gli input al modello di dispersione (e.g. Warner et al., 2002).
3. Vengono utilizzati diversi modelli meteorologici e un unico modello di dispersione (e.g. Warner et al., 2002).
4. Vengono utilizzati lo stesso modello meteorologico e diversi modelli di dispersione (e.g. Mosca et al., 1998).
5. Vengono utilizzati sia diversi modelli meteorologici che diversi modelli di dispersione (e.g. Delle Monache and Stull, 2003; Galmarini et al., 2001).

Naturalmente questi metodi possono essere applicati anche in maniera combinata. Ad esempio in Delle Monache et al. (2006), come in 3., le diverse realizzazioni dell'*ensemble* sono generate utilizzando due diversi modelli meteorologici, MC2 (Benoit et al., 1997) ed MM5 (Grell et al., 1994), come drivers dello stesso modello di dispersione, CMAQ (Byun and Ching, 1999), ma il numero di simulazioni a disposizione è moltiplicato dalla perturbazione delle emissioni in input al modello di dispersione (come in 2.) e anche dalla variazione della risoluzione spaziale. In Kumar et al. (2020) il set di realizzazioni modellistiche per la simulazione della concentrazione di PM_{2.5} è ottenuto tramite tre perturbazioni dell'input meteorologico (scelte tra 26 prodotte modificando sia il modello meteorologico, come in 3., che le condizioni meteorologiche iniziali, come in 1.) combinate con quattro perturbazioni dell'input emissivo (come in 2.) e tre diverse parametrizzazioni nello schema chimico di formazione dell'aerosol organico secondario (come in 4.).

Di fatto comunque il calcolo di un *ensemble* modellistico si basa spesso su un set di simulazioni, semplicemente a disposizione nello stesso contesto spazio-temporale (e.g. Brasseur et al., 2019; Djalalova et al., 2010; Galmarini et al., 2018; Marécal et al., 2015; McKeen et al., 2007; Sofiev et al., 2017; Solazzo et al., 2012; Vautard et al., 2009; Wilczak et al., 2006; Xian et al., 2019) e la



condizione *i.i.d.* è raramente soggetta a verifica nelle comuni applicazioni di *ensemble modelling* pubblicate in letteratura.

2.2 Metodi per il calcolo dell'*ensemble*

2.2.1 La riduzione e la correzione dell'insieme di simulazioni

Spesso, prima dell'elaborazione della sintesi statistica di un *ensemble* di simulazioni, vengono applicate a tale insieme tecniche di post-trattamento per ridurre il numero di membri o per migliorarne la qualità.

Per quanto riguarda la riduzione del numero di simulazioni per il calcolo dell'*ensemble*, l'obiettivo è quello di ottenerne un sotto-insieme di alta qualità che minimizzi la ridondanza delle informazioni e massimizzi le prestazioni. In Solazzo et al. (2012) ad esempio il gruppo ottimale (in termini di numero e membri) dell'*ensemble* è definito con due metodi indipendenti: i) gruppo che massimizza le prestazioni (i.e. minimizza il *Root Mean Square Error* (RMSE) ottenuto dal confronto con le misure); ii) gruppo che minimizza la ridondanza, analizzata tramite tecniche di *clustering* (indipendenti dalle misure e basate sulla correlazione tra le simulazioni). In Riccio et al. (2012) la selezione è condotta unicamente mediante tecniche di *clustering* ma sono utilizzati due diversi metodi per calcolare la “distanza” tra i modelli ed effettuarne l'accorpamento: i) il primo metodo utilizza la matrice di covarianza relativa a ciascuna coppia di modelli: la distanza tra due modelli è calcolata sottraendo a uno l'indice di correlazione, così che due modelli si intendono “distanti” se non sono correlati; ii) il secondo è basato sulla teoria dell'informazione e la distanza è stimata sottraendo a uno il rapporto tra mutua informazione ed entropia congiunta. In entrambi i casi, i) e ii), le distanze definite hanno le proprietà di vere e proprie metriche. In Kioutsioukis and Galmarini (2014) il sotto-insieme ottimale di modelli che ottimizza le prestazioni è definito sulla base di due diversi approcci nella decomposizione dell'errore: la *bias–variance–covariance decomposition* (Ueda and Nakano, 1996) e la *accuracy–diversity decomposition* (Brown et al., 2005).

Per quanto riguarda il miglioramento della qualità delle simulazioni, esso viene effettuato attraverso tecniche di aggiustamento dell'output che vanno da semplici correzioni basate sull'introduzione di termini additivi (i.e. correzione del *bias*) e/o fattori moltiplicativi (i.e. normalizzazione del dato) (e.g. Monteiro et al., 2013b; Wilczak et al., 2006) a tecniche più sofisticate basate sull'utilizzo del Kalman Filter (e.g. Djalalova et al., 2010). In Kumar et al. (2020) il processo di calibrazione, applicato a ciascuno dei 24 membri dell'*ensemble*, si articola in due fasi: viene anzitutto rimosso il



bias utilizzando una tecnica di regressione lineare, basata sui metodi standard di MOS (*Model Output statistics*) (Wilks, 2011); quindi viene aggiustato lo *spread* dell'ensemble utilizzando il metodo del deficit della varianza (Sperati et al., 2016).

In McKeen et al. (2005) si valuta anche l'effetto di applicare le tecniche di aggiustamento dell'output (sia di tipo additivo che moltiplicativo) a valle invece che a monte del calcolo dell'ensemble (ossia sugli output di quanto descritto nella prossima sezione 2.2.2); vale la pena osservare che gli autori evidenziano anche come le correzioni di tipo additivo migliorino le statistiche generali, ma impattino quasi sempre negativamente sulle statistiche relative ai superamenti di soglie.

2.2.2 Sintesi statistiche dell'insieme di simulazioni

Una volta disponibile ed, eventualmente, ridotto e/o corretto il set di membri dell'ensemble, diverse sono le tecniche utilizzate in letteratura per calcolarne la miglior sintesi statistica.

I metodi più semplici consistono nell'elaborazione di statistiche di insieme: la media e/o la mediana (e.g. Brasseur et al., 2019; Delle Monache and Stull, 2003; Marécal et al., 2015; Vautard et al., 2009) o altre statistiche di interesse, come il valore massimo (e.g. Bianconi et al., 2004), o un certo percentile o la percentuale di modelli che predicono un valore al di sopra di una certa soglia (e.g. Galmarini et al., 2004).

In generale, tra i metodi più semplici, quelli più diffusi si basano sull'uso della mediana, che in diversi contesti si è mostrato essere l'indicatore più affidabile. Ad esempio in Marécal et al. (2015) la mediana è definita un indicatore: i) statisticamente robusto, ovvero relativamente indipendente dall'assenza di uno o due membri dell'ensemble; ii) capace di gestire gli *outliers*; iii) molto efficiente dal punto di vista computazionale; iv) estremamente efficace nell'ottimizzare le prestazioni dell'ensemble. Viceversa la media aritmetica non sempre risulta un buon indicatore statistico di tendenza centrale dei dati della distribuzione¹. In particolare, la presenza di una sola simulazione che tenda sistematicamente a sovrastimare o sottostimare in maniera accentuata può alterare pesantemente la media e quindi le previsioni di *ensemble*.

Metodi più complessi consistono nel calcolare una media pesata tra i risultati delle diverse simulazioni, dove i pesi ottimali (i.e. che massimizzano le prestazioni) sono calcolati con diverse

¹ Lo si può capire, intuitivamente, pensando ad un ensemble di piccoli numeri, per es. {1, 2, 6, 8, 13}. Aggiungendo un numero molto elevato all'insieme, per es. 80, la media cambia notevolmente, passando da 6 a 18.3 mentre la mediana rimane per lo più invariata (da 6-8 a 8).



tecniche di regressione lineare basate sul confronto con dati osservati (e.g. Krishnamurti et al., 1999; Potempski and Galmarini, 2009; Sofiev et al., 2017).

Tali metodi possono fornire pesi costanti nel tempo o, più frequentemente, specie se applicati a sistemi previsionali, elaborare pesi variabili nel tempo. Ad esempio, sia in Djalalova et al. (2010) che in Monteiro et al. (2013a), i pesi sono calcolati applicando la tecnica di regressione lineare ai dati dei 7 giorni precedenti al giorno della previsione. Il risultato è un unico set di pesi da applicare sull'intero dominio per il giorno successivo al periodo di *training*. La scelta della lunghezza del periodo di *training* su cui calcolare i pesi ottimali può ovviamente condizionare il risultato finale. Pagowski et al. (2005) hanno testato l'effetto della lunghezza di tale periodo (da 1 a 30 giorni) sia sulla variabilità giornaliera dei pesi che sulle prestazioni complessive dell'*ensemble*. Rispetto alla variabilità giornaliera, essa, come prevedibile, diminuisce all'aumentare della lunghezza del periodo di addestramento. Gli autori propongono di usare un lungo periodo di *training* se il fine è produrre medie a lungo termine, mentre un periodo di *training* più breve risulta più appropriato per descrivere la variabilità giornaliera delle concentrazioni. Alla luce anche delle prestazioni, valutate tramite il confronto con i dati di misura, gli autori hanno scelto un periodo di *training* di un solo giorno.

Oltre che costanti o variabili nel tempo, i pesi possono essere omogenei o variabili nello spazio. Le tecniche di regressione lineare possono infatti essere applicate su un unico data set comprensivo dei dati di tutti i punti di misura a disposizione nel periodo di *training*, fornendo così come risultato un unico set di pesi da applicare sull'intero dominio (e.g. Pagowski et al., 2005). Viceversa è possibile calcolare un set di pesi diverso per ciascun punto di misura (e.g. Krishnamurti et al., 1999; Monteiro et al., 2013a) ma in questo caso si producono i risultati solo per tali punti e raramente in letteratura è affrontato il tema della spazializzazione sulla griglia di calcolo dei risultati discreti così ottenuti.

Altre tecniche più complesse di produzione dell'*ensemble* prevedono che la combinazione ottimale dei modelli sia stabilita sulla base di misure di tipo probabilistico: ne è un esempio l'applicazione dell'approccio *Bayesian Model Averaging* (BMA), proposto da Riccio et al. (2007) e ripreso anche in Monteiro et al. (2013a).

Galmarini et al. (2018) applicano, tra gli altri, anche un metodo di *ensemble*, già proposto in Galmarini et al. (2013), e basato sulla decomposizione di Kolmogorov–Zurbenko (Zurbenko, 1986) dei valori di concentrazione (*long term; synoptic; diurnal; inter diurnal*). Per ciascuna delle quattro componenti della decomposizione si studia l'accordo di ciascuna realizzazione modellistica con la



corrispondente componente misurata, si seleziona la realizzazione modellistica in migliore accordo e si ricombinano le quattro componenti selezionate creando così un “nuovo modello”.

Sono infine da ricordare anche le tecniche di intelligenza artificiale che attualmente vengono applicate sia per produrre previsioni sia per elaborare da un set di previsioni quella rappresentativa dell'*ensemble* (e.g. Ganesh et al., 2018).

2.3 Metodi per la validazione dell'*ensemble*

La validazione del prodotto finale di un *ensemble* modellistico è condotta tramite il confronto con i dati misurati e valutando, nello specifico, anche il miglioramento delle prestazioni dell'*ensemble* rispetto alla singole realizzazioni a disposizione.

Quando i dati misurati sono stati utilizzati anche in fase di produzione dell'*ensemble* (vedi sezione 2.2.2), la validazione deve essere condotta su un data set di osservazioni indipendenti; occorre cioè distinguere il data set di *training* da quello di *testing*. In applicazioni di forecast ciò è garantito dalla diversa collocazione temporale dei due data set: si addestra il sistema sui giorni precedenti la simulazione e lo si valuta sulla previsione (e.g. Djalalova et al., 2010; Pagowski et al., 2005). In altri casi si suddivide il data set a disposizione in una parte per il *training* e la restante per la validazione (e.g. Ganesh et al., 2018; Kioutsoukis and Galmarini, 2014). In altri casi è utilizzato un approccio *leave-one-out* per validare su dati indipendenti (e.g. Kumar et al., 2020).

I metodi utilizzati in letteratura per la valutazione dei risultati di un *ensemble* modellistico includono il calcolo dei più comuni indicatori statistici che misurano sotto diversi aspetti l'aderenza del dato simulato a quello misurato: tra i più frequenti si possono citare il coefficiente di correlazione, il *bias* medio, l'RMSE. A questi si aggiungono gli indicatori di prestazione di tipo dicotomico che misurano la capacità del sistema modellistico di prevedere un evento (SI/NO) definito da una soglia (esempio il superamento di un limite di legge): tra questi i più frequentemente utilizzati sono il POD (*Probability of Detection*) e il FAR (*False Alarm Ratio*) che misurano rispettivamente la capacità del sistema modellistico di prevedere l'evento e la frequenza di produzione di falsi allarmi. Per una sintesi dei più comuni indicatori utilizzati in letteratura per la validazione e per la descrizione della loro formulazione si veda ad esempio Denby (2010).

Le realizzazioni grafiche includono i più comuni approcci, dai più semplici e diretti ai più elaborati: confronto di serie temporali (di periodi di interesse o descrittive di andamenti medi: valori mensili



per descrivere la stagionalità, ciclo medio giornaliero, ecc...); diagramma di dispersione; box-plot; diagramma di Taylor; confronto delle funzioni di densità cumulate dei valori di concentrazione (e.g. Kioutsioukis and Galmarini, 2014); confronto del comportamento spettrale (e.g. Galmarini et al., 2018).

Alcune analisi sono finalizzate a valutare in modo specifico l'effetto dell'applicazione dell'*ensemble modelling*. Ad esempio, per individuare il contributo di ciascuna simulazione alle prestazioni dell'*ensemble*, viene studiato come varia un determinato indicatore statistico di interesse escludendo uno alla volta ciascuno dei membri dell'*ensemble* (e.g. Delle Monache et al., 2006; Vautard et al., 2009).

In Galmarini et al. (2018) è proposta un'analisi che mostra le prestazioni dell'*ensemble* in riferimento alle caratteristiche dell'insieme di simulazioni in termini di diversità e accuratezza. La prima rappresenta la media quadratica delle deviazioni di ciascuna simulazione dalla media delle simulazioni, mentre la seconda è la media quadratica delle deviazioni delle simulazioni dal valore osservato. In Krogh and Vedelsby (1995) è dimostrato che la differenza tra diversità e accuratezza definisce l'errore quadratico medio dell'*ensemble* rispetto al valore osservato. Ne consegue che, per un buon accordo tra i risultati dell'*ensemble* e i valori osservati, occorre trovare il giusto bilanciamento tra accuratezza e diversità. Un buon insieme di simulazioni deve presentare sufficiente variabilità mantenendo il valore d'insieme vicino al valore osservato.

In applicazioni di *ensemble modelling* risulta di interesse anche misurare quanto la variabilità di un insieme di simulazioni è rappresentativa dell'incertezza dell'*ensemble* (Hopson, 2014; Kumar et al., 2020). Questo è comunemente analizzato attraverso i così detti *spread-skill diagram*, grafici di dispersione in cui un indicatore dell'errore dell'*ensemble* (e.g. l'RMSE) è presentato in funzione della variabilità delle simulazioni (e.g. *standard deviation*). Una buona correlazione in un *spread-skill diagram* è indicativa di una buona capacità dell'insieme di simulazioni di fornire l'incertezza intrinseca dell'evento simulato.

Molto utilizzato negli studi di *ensemble modelling* (e.g. Djalalova et al., 2010; Galmarini et al., 2018; Kioutsioukis and Galmarini, 2014; Monteiro et al., 2013a; Solazzo et al., 2012; Vautard et al., 2009) è anche il *Talagrand diagram* (o *rank histogram*) (Talagrand et al., 1999). Si tratta di un istogramma caratterizzato da un numero di bin pari al numero di simulazioni a disposizione più uno. Tali bin sono riempiti, in base al confronto tra i valori delle osservazioni e i corrispondenti valori



delle simulazioni a disposizione, come segue: per ogni evento, se il valore osservato è più piccolo del valore più basso modellato, il punto è assegnato al primo bin; se cade tra il primo e il secondo valore simulato viene assegnato al secondo bin, e così via; se il valore osservato eccede il più alto valore simulato, il punto è assegnato all'ultimo bin. In condizioni ottimali il *Talagrand diagram* ha forma piatta ad indicare che la distribuzione di probabilità del gruppo di simulazioni rappresenta correttamente quella dell'evento da simulare. Un *Talagrand diagram* crescente o decrescente potrebbe essere indicativo rispettivamente di una sottostima o sovrastima sistematica dell'insieme di simulazioni. Un *Talagrand diagram* a forma di U indica addensamenti di osservazioni agli estremi ad indicare una scarsa variabilità dell'insieme di simulazioni, rispetto alle osservazioni; viceversa, in caso di U rovesciata, l'ensemble modellistico mostra una eccessiva variabilità.

2.4 Bibliografia (citata nella sezione 2)

Benoit, R., Desgagné, M., Pellerin, P., Pellerin, S., Chartier, Y., Desjardins, S., 1997. The Canadian MC2: A Semi-Lagrangian, Semi-Implicit Wideband Atmospheric Model Suited for Finescale Process Studies and Simulation. *Monthly Weather Review* 125, 2382–2415. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1997\)125<2382:TCMASL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1997)125<2382:TCMASL>2.0.CO;2)

Bianconi, R., Galmarini, S., Bellasio, R., 2004. Web-based system for decision support in case of emergency: ensemble modelling of long-range atmospheric dispersion of radionuclides. *Environmental Modelling & Software* 19, 401–411. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00139-7](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00139-7)

Brasseur, G.P., Xie, Y., Petersen, A.K., Bouarar, I., Flemming, J., Gauss, M., Jiang, F., Kouznetsov, R., Kranenburg, R., Mijling, B., Peuch, V.-H., Pommier, M., Segers, A., Sofiev, M., Timmermans, R., van der A, R., Walters, S., Xu, J., Zhou, G., 2019. Ensemble forecasts of air quality in eastern China – Part 1: Model description and implementation of the MarcoPolo–Panda prediction system, version 1. *Geosci. Model Dev.* 12, 33–67. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-33-2019>

Brown, G., Wyatt, J., Harris, R., Yao, X., 2005. Diversity creation methods: a survey and categorisation. *Information Fusion, Diversity in Multiple Classifier Systems* 6, 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2004.04.004>

Byun, D.W., Ching, J.K.S., 1999. Science algorithms of the EPA models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Delle Monache, L., Deng, X., Zhou, Y., Stull, R., 2006. Ozone ensemble forecasts: 1. A new ensemble design. *J. Geophys. Res.* 111, D05307. <https://doi.org/10.1029/2005JD006310>

Delle Monache, L., Stull, R.B., 2003. An ensemble air-quality forecast over western Europe during an ozone episode. *Atmospheric Environment* 37, 3469–3474. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00475-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00475-8)

Denby, B., 2010. Guidance on the use of models for the European Air Quality Directive. ETC/ACC report Version 6.2.

Djalalova, I., Wilczak, J., McKeen, S., Grell, G., Peckham, S., Pagowski, M., DelleMonache, L., McQueen, J., Tang, Y., Lee, P., 2010. Ensemble and bias-correction techniques for air quality model forecasts of surface O₃ and PM_{2.5} during the TEXAQS-II experiment of 2006. *Atmospheric Environment* 44, 455–467. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.11.007>



Galmarini, S., Bianconi, R., Bellasio, R., Graziani, G., 2001. Forecasting the consequences of accidental releases of radionuclides in the atmosphere from ensemble dispersion modelling. *Journal of Environmental Radioactivity* 57, 203–219. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(01\)00017-0](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(01)00017-0)

Galmarini, S., Bianconi, R., Klug, W., Mikkelsen, T., Addis, R., Andronopoulos, S., Astrup, P., Baklanov, A., Bartniki, J., Bartzis, J.C., Bellasio, R., Bompay, F., Buckley, R., Bouzom, M., Champion, H., D'Amours, R., Davakis, E., Eleveld, H., Geertsema, G.T., Glaab, H., Kollax, M., Ilvonen, M., Manning, A., Pechinger, U., Persson, C., Polreich, E., Potemski, S., Prodanova, M., Saltbones, J., Slaper, H., Sofiev, M.A., Syrakov, D., Sørensen, J.H., Auwera, L.V. der, Valkama, I., Zelazny, R., 2004. Ensemble dispersion forecasting—Part I: concept, approach and indicators. *Atmospheric Environment* 38, 4607–4617. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.05.030>

Galmarini, S., Kioutsioukis, I., Solazzo, E., 2013. E pluribus unum*: ensemble air quality predictions. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 7153–7182. <https://doi.org/10.5194/acp-13-7153-2013>

Galmarini, S., Kioutsioukis, I., Solazzo, E., Alyuz, U., Balzarini, A., Bellasio, R., Benedictow, A.M.K., Bianconi, R., Bieser, J., Brandt, J., Christensen, J.H., Colette, A., Curci, G., Davila, Y., Dong, X., Flemming, J., Francis, X., Fraser, A., Fu, J., Henze, D.K., Hogrefe, C., Im, U., Garcia Vivanco, M., Jiménez-Guerrero, P., Jonson, J.E., Kitwiroon, N., Manders, A., Mathur, R., Palacios-Peña, L., Pirovano, G., Pozzoli, L., Prank, M., Schultz, M., Sokhi, R.S., Sudo, K., Tuccella, P., Takemura, T., Sekiya, T., Unal, A., 2018. Two-scale multi-model ensemble: is a hybrid ensemble of opportunity telling us more? *Atmos. Chem. Phys.* 18, 8727–8744. <https://doi.org/10.5194/acp-18-8727-2018>

Ganesh, S.S., Arulmozhiarman, P., Tatavarti, V.S.N.R., 2018. Prediction of PM_{2.5} using an ensemble of artificial neural networks and regression models. *J Ambient Intell Human Comput.* <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0801-8>

Grell, G., Dudhia, J., Stauffer, D., 1994. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). UCAR/NCAR. <https://doi.org/10.5065/D60Z716B>

Hopson, T.M., 2014. Assessing the Ensemble Spread–Error Relationship. *Monthly Weather Review* 142, 1125–1142. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-12-00111.1>

Hou, D., Kalnay, E., Droegemeier, K.K., 2001. Objective Verification of the SAMEX '98 Ensemble Forecasts. *Mon. Wea. Rev.* 129, 73–91. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<0073:OVOTSE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0073:OVOTSE>2.0.CO;2)

Kioutsioukis, I., Galmarini, S., 2014. De praeceptis ferendis: good practice in multi-model ensembles. *Atmos. Chem. Phys.* 14, 11791–11815. <https://doi.org/10.5194/acp-14-11791-2014>

Knutti, R., Abramowitz, G., Collins, M., Eyring, V., Gleckler, P.L., Hewitson, B., Mearns, L., 2010. Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. Presented at the IPCC Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections, Boulder, USA.

Krishnamurti, T.N., Kishtawal, C.M., LaRow, T.E., Bachiochi, D.R., Zhang, Z., Williford, C.E., Gadgil, S., Surendran, S., 1999. Improved Weather and Seasonal Climate Forecasts from Multimodel Superensemble. *Science* 285, 1548–1550. <https://doi.org/10.1126/science.285.5433.1548>

Krogh, A., Vedelsby, J., 1995. Neural Network Ensembles, Cross Validation, and Active Learning, in: *Advances in Neural Information Processing Systems*. MIT Press.

Kumar, R., Alessandrini, S., Hodzic, A., Lee, J.A., 2020. A Novel Ensemble Design for Probabilistic Predictions of Fine Particulate Matter Over the Contiguous United States (CONUS). *J. Geophys. Res. Atmos.* 125. <https://doi.org/10.1029/2020JD032554>

Marécal, V., Peuch, V.-H., Andersson, C., Andersson, S., Arteta, J., Beekmann, M., Benedictow, A., Bergström, R., Bessagnet, B., Cansado, A., Chéroux, F., Colette, A., Coman, A., Curier, R.L., Denier van der Gon, H.A.C., Drouin, A.,



Elbern, H., Emili, E., Engelen, R.J., Eskes, H.J., Foret, G., Friese, E., Gauss, M., Giannaros, C., Guth, J., Joly, M., Jaumouillé, E., Josse, B., Kadygrov, N., Kaiser, J.W., Krajsek, K., Kuenen, J., Kumar, U., Liora, N., Lopez, E., Malherbe, L., Martinez, I., Melas, D., Meleux, F., Menut, L., Moinat, P., Morales, T., Parmentier, J., Piacentini, A., Plu, M., Poupkou, A., Queguiner, S., Robertson, L., Rouil, L., Schaap, M., Segers, A., Sofiev, M., Tarasson, L., Thomas, M., Timmermans, R., Valdebenito, A., van Velthoven, P., van Versendaal, R., Vira, J., Ung, A., 2015. A regional air quality forecasting system over Europe: the MACC-II daily ensemble production. *Geosci. Model Dev.* 8, 2777–2813. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-2777-2015>

McKeen, S., Chung, S.H., Wilczak, J., Grell, G., Djalalova, I., Peckham, S., Gong, W., Bouchet, V., Moffet, R., Tang, Y., Carmichael, G.R., Mathur, R., Yu, S., 2007. Evaluation of several PM_{2.5} forecast models using data collected during the ICARTT/NEAQS 2004 field study. *J. Geophys. Res.* 112. <https://doi.org/10.1029/2006JD007608>

McKeen, S., Wilczak, J., Grell, G., Djalalova, I., Peckham, S., Hsie, E.-Y., Gong, W., Bouchet, V., Menard, S., Moffet, R., McHenry, J., McQueen, J., Tang, Y., Carmichael, G.R., Pagowski, M., Chan, A., Dye, T., Frost, G., Lee, P., Mathur, R., 2005. Assessment of an ensemble of seven real-time ozone forecasts over eastern North America during the summer of 2004. *J. Geophys. Res.* 110, D21307. <https://doi.org/10.1029/2005JD005858>

Monteiro, A., Ribeiro, I., Tchepel, O., Carvalho, A., Martins, H., Sá, E., Ferreira, J., Martins, V., Galmarini, S., Miranda, A.I., Borrego, C., 2013a. Ensemble Techniques to Improve Air Quality Assessment: Focus on O₃ and PM. *Environ Model Assess* 18, 249–257. <https://doi.org/10.1007/s10666-012-9344-0>

Monteiro, A., Ribeiro, I., Tchepel, O., Sá, E., Ferreira, J., Carvalho, A., Martins, V., Strunk, A., Galmarini, S., Elbern, H., Schaap, M., Builtjes, P., Miranda, A.I., Borrego, C., 2013b. Bias Correction Techniques to Improve Air Quality Ensemble Predictions: Focus on O₃ and PM Over Portugal. *Environ Model Assess* 18, 533–546. <https://doi.org/10.1007/s10666-013-9358-2>

Mosca, S., Bellasio, R., Bianconi, R., European Commission, Joint Research Centre, 1998. ATMES II: Evaluation of long-range dispersion models using data of the 1st ETEX release.

Pagowski, M., Grell, G.A., McKeen, S.A., Dévényi, D., Wilczak, J.M., Bouchet, V., Gong, W., McHenry, J., Peckham, S., McQueen, J., Moffet, R., Tang, Y., 2005. A simple method to improve ensemble-based ozone forecasts. *Geophys. Res. Lett.* 32, L07814. <https://doi.org/10.1029/2004GL022305>

Potempski, S., Galmarini, S., 2009. Est modus in rebus: analytical properties of multi-model ensembles. *Atmos. Chem. Phys.* 19.

Riccio, A., Ciaramella, A., Giunta, G., Galmarini, S., Solazzo, E., Potempski, S., 2012. On the systematic reduction of data complexity in multimodel atmospheric dispersion ensemble modeling. *J. Geophys. Res.* 117, D5. <https://doi.org/10.1029/2011JD016503>

Riccio, A., Giunta, G., Galmarini, S., 2007. Seeking for the rational basis of the Median Model: the optimal combination of multi-model ensemble results. *Atmos. Chem. Phys.* 14.

Sofiev, M., Ritenberga, O., Albertini, R., Arteta, J., Belmonte, J., Bernstein, C.G., Bonini, M., Celenk, S., Damialis, A., Douros, J., Elbern, H., Friese, E., Galan, C., Oliver, G., Hrga, I., Kouznetsov, R., Krajsek, K., Magyar, D., Parmentier, J., Plu, M., Prank, M., Robertson, L., Steensen, B.M., Thibaudon, M., Segers, A., Stepanovich, B., Valdebenito, A.M., Vira, J., Vokou, D., 2017. Multi-model ensemble simulations of olive pollen distribution in Europe in 2014: current status and outlook. *Atmos. Chem. Phys.* 17, 12341–12360. <https://doi.org/10.5194/acp-17-12341-2017>

Solazzo, E., Bianconi, R., Vautard, R., Appel, K.W., Moran, M.D., Hogrefe, C., Bessagnet, B., Brandt, J., Christensen, J.H., Chemel, C., Coll, I., Denier van der Gon, H., Ferreira, J., Forkel, R., Francis, X.V., Grell, G., Grossi, P., Hansen, A.B., Jeričević, A., Kraljević, L., Miranda, A.I., Nopmongcol, U., Pirovano, G., Prank, M., Riccio, A., Sartelet, K.N.,



- Schaap, M., Silver, J.D., Sokhi, R.S., Vira, J., Werhahn, J., Wolke, R., Yarwood, G., Zhang, J., Rao, S.T., Galmarini, S., 2012. Model evaluation and ensemble modelling of surface-level ozone in Europe and North America in the context of AQMEII. *Atmospheric Environment* 53, 60–74. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.01.003>
- Sperati, S., Alessandrini, S., Delle Monache, L., 2016. An application of the ECMWF Ensemble Prediction System for short-term solar power forecasting. *Solar Energy* 133, 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.04.016>
- Straume, A.G., 2001. A More Extensive Investigation of the Use of Ensemble Forecasts for Dispersion Model Evaluation. *J. Appl. Meteor.* 40, 425–445. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<0425:AMEIOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<0425:AMEIOT>2.0.CO;2)
- Talagrand, O., Vautard, R., Strauss, B., 1999. Evaluation of probabilistic prediction systems. Presented at the Workshop proceedings “Workshop on predictability”, 20–22 October 1997, ECMWF, ECMWF, Reading, United Kingdom, 1999, pp. 1–26.
- Toth, Z., Kalnay, E., 1993. Ensemble Forecasting at NMC: The Generation of Perturbations. *Bulletin of the American Meteorological Society* 74, 2317–2330. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1993\)074<2317:EFANTG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1993)074<2317:EFANTG>2.0.CO;2)
- Ueda, N., Nakano, R., 1996. Generalization error of ensemble estimators, in: Proceedings of International Conference on Neural Networks (ICNN'96). Presented at the Proceedings of International Conference on Neural Networks (ICNN'96), pp. 90–95 vol.1. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1996.548872>
- Vautard, R., Schaap, M., Bergström, R., Bessagnet, B., Brandt, J., Builtjes, P.J.H., Christensen, J.H., Cuvelier, C., Foltescu, V., Graff, A., Kerschbaumer, A., Krol, M., Roberts, P., Rouil, L., Stern, R., Tarrason, L., Thunis, P., Vignati, E., Wind, P., 2009. Skill and uncertainty of a regional air quality model ensemble. *Atmospheric Environment* 43, 4822–4832. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.083>
- Vautard, R., Van Loon, M., Schaap, M., Bergström, R., Bessagnet, B., Brandt, J., Builtjes, P.J.H., Christensen, J.H., Cuvelier, C., Graff, A., Jonson, J.E., Krol, M., Langner, J., Roberts, P., Rouil, L., Stern, R., Tarrasón, L., Thunis, P., Vignati, E., White, L., Wind, P., 2006. Is regional air quality model diversity representative of uncertainty for ozone simulation? *Geophys. Res. Lett.* 33, L24818. <https://doi.org/10.1029/2006GL027610>
- Wandishin, M.S., Mullen, S.L., Stensrud, D.J., Brooks, H.E., 2001. Evaluation of a Short-Range Multimodel Ensemble System. *Mon. Wea. Rev.* 129, 729–747. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<0729:EOASRM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0729:EOASRM>2.0.CO;2)
- Warner, T.T., Sheu, R.-S., Bowers, J.F., Ian Sykes, R., Dodd, G.C., Henn, D.S., 2002. Ensemble Simulations with Coupled Atmospheric Dynamic and Dispersion Models: Illustrating Uncertainties in Dosage Simulations. *J. Appl. Meteor.* 41, 488–504. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2002\)041<0488:ESWCAD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2002)041<0488:ESWCAD>2.0.CO;2)
- Wilczak, J., McKeen, S., Djalalova, I., Grell, G., Peckham, S., Gong, W., Bouchet, V., Moffet, R., McHenry, J., McQueen, J., Lee, P., Tang, Y., Carmichael, G.R., 2006. Bias-corrected ensemble and probabilistic forecasts of surface ozone over eastern North America during the summer of 2004. *J. Geophys. Res.* 111. <https://doi.org/10.1029/2006JD007598>
- Wilks, D., 2011. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Volume 100 - 3rd Edition.
- Xian, P., Reid, J.S., Hyer, E.J., Sampson, C.R., Rubin, J.I., Ades, M., Asencio, N., Basart, S., Benedetti, A., Bhattacharjee, P.S., Brooks, M.E., Colarco, P.R., da Silva, A.M., Eck, T.F., Guth, J., Jorba, O., Kouznetsov, R., Kipling, Z., Sofiev, M., Perez Garcia-Pando, C., Pradhan, Y., Tanaka, T., Wang, J., Westphal, D.L., Yumimoto, K., Zhang, J., 2019. Current state of the global operational aerosol multi-model ensemble: An update from the International Cooperative for Aerosol Prediction (ICAP). *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 145, 176–209. <https://doi.org/10.1002/qj.3497>
- Zurbenko, I.G., 1986. *The spectral analysis of time series*, North-Holland series in statistics and probability 0002. North-Holland, Amsterdam.

3. METODO PER LA SINTESI DELLE INFORMAZIONI DELLA RICERCA BIBLIOGRAFICA

Per favorire la raccolta delle informazioni emerse durante la ricerca bibliografica e per facilitarne la condivisione agli scopi del Progetto, è stato predisposto il *template* di una scheda sintetica da compilare per ciascuna pubblicazione studiata.

La Tab. 2 presenta il *template* predisposto. Le informazioni che si è scelto di raccogliere sono quelle che descrivono gli aspetti salienti degli studi di *ensemble modelling*, secondo quanto descritto nella precedente sezione 2.

Tab. 2 – Template per la raccolta e la sintesi delle informazioni delle pubblicazioni

Riferimento bibliografico	
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	
Tipo di modelli	
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	
Risoluzione spaziale	
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	
Variabili trattate	



<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	
<p>Interesse dell'articolo <i>BASSO/MEDIO/ALTO</i> <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	
<p>Altro</p>	



4. RISULTATI

Di seguito sono forniti i risultati della ricerca bibliografica, ossia l'elenco di tutte le pubblicazioni raccolte e messe a disposizione del Progetto, mentre un campione delle schede elaborate a sintesi delle principali pubblicazioni è fornito in Appendice.

4.1 Le pubblicazioni raccolte: *repository* di condivisione

Tutte le pubblicazioni raccolte sono disponibili, per le finalità del Progetto, sulla piattaforma Eneabox al seguente link

<https://eneabox.enea.it/index.php/s/oJFytxsNGHJh2Uk>

la cui password è stata fornita ai partecipanti al gruppo di lavoro, e può essere condivisa per le finalità del Progetto.

4.2 Le pubblicazioni raccolte: elenco

Alessandrini, S., Sperati, S., Pinson, P., 2013. A comparison between the ECMWF and COSMO Ensemble Prediction Systems applied to short-term wind power forecasting on real data. *Applied Energy* 107, 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.041>

Bianconi, R., Galmarini, S., Bellasio, R., 2004. Web-based system for decision support in case of emergency: ensemble modelling of long-range atmospheric dispersion of radionuclides. *Environmental Modelling & Software* 19, 401–411. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00139-7](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00139-7)

Brasseur, G.P., Xie, Y., Petersen, A.K., Bouarar, I., Flemming, J., Gauss, M., Jiang, F., Kouznetsov, R., Kranenburg, R., Mijling, B., Peuch, V.-H., Pommier, M., Segers, A., Sofiev, M., Timmermans, R., van der A, R., Walters, S., Xu, J., Zhou, G., 2019. Ensemble forecasts of air quality in eastern China – Part 1: Model description and implementation of the MarcoPolo–Panda prediction system, version 1. *Geosci. Model Dev.* 12, 33–67. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-33-2019>

Bretherton, C.S., Widmann, M., Dymnikov, V.P., Wallace, J.M., Bladé, I., 1999. The Effective Number of Spatial Degrees of Freedom of a Time-Varying Field. *J. Climate* 12, 1990–2009. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<1990:TENOSD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1990:TENOSD>2.0.CO;2)

Buizza, R., Richardson, D.S., Palmer, T.N., 2003. Benefits of increased resolution in the ECMWF ensemble system and comparison with poor-man's ensembles. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 129, 1269–1288. <https://doi.org/10.1256/qj.02.92>

Casanova, S., Ahrens, B., 2009. On the Weighting of Multimodel Ensembles in Seasonal and Short-Range Weather Forecasting. *Monthly Weather Review* 137, 3811–3822. <https://doi.org/10.1175/2009MWR2893.1>

Crippa, P., Sullivan, R.C., Thota, A., Pryor, S.C., 2019. Sensitivity of Simulated Aerosol Properties Over Eastern North America to WRF-Chem Parameterizations. *J. Geophys. Res. Atmos.* 124, 3365–3383. <https://doi.org/10.1029/2018JD029900>



- Delle Monache, L., Alessandrini, S., Djalalova, I., Wilczak, J., Knierel, J.C., Kumar, R., 2020. Improving Air Quality Predictions over the United States with an Analog Ensemble. *Weather and Forecasting* 35, 2145–2162. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0148.1>
- Delle Monache, L., Deng, X., Zhou, Y., Stull, R., 2006a. Ozone ensemble forecasts: 1. A new ensemble design. *J. Geophys. Res.* 111, D05307. <https://doi.org/10.1029/2005JD006310>
- Delle Monache, L., Nipen, T., Deng, X., Zhou, Y., Stull, R., 2006b. Ozone ensemble forecasts: 2. A Kalman filter predictor bias correction. *J. Geophys. Res.* 111, D05308. <https://doi.org/10.1029/2005JD006311>
- Delle Monache, L., Stull, R.B., 2003. An ensemble air-quality forecast over western Europe during an ozone episode. *Atmospheric Environment* 37, 3469–3474. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00475-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00475-8)
- Di, Q., Amini, H., Shi, L., Kloog, I., Silvern, R., Kelly, J., Sabath, M.B., Choirat, C., Koutrakis, P., Lyapustin, A., Wang, Y., Mickley, L.J., Schwartz, J., 2019. An ensemble-based model of PM_{2.5} concentration across the contiguous United States with high spatiotemporal resolution. *Environment International* 130, 104909. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104909>
- Djalalova, I., Wilczak, J., McKeen, S., Grell, G., Peckham, S., Pagowski, M., DelleMonache, L., McQueen, J., Tang, Y., Lee, P., 2010. Ensemble and bias-correction techniques for air quality model forecasts of surface O₃ and PM_{2.5} during the TEXAQS-II experiment of 2006. *Atmospheric Environment* 44, 455–467. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.11.007>
- Dosio, A., Paruolo, P., 2011. Bias correction of the ENSEMBLES high-resolution climate change projections for use by impact models: Evaluation on the present climate. *J. Geophys. Res.* 116, D16106. <https://doi.org/10.1029/2011JD015934>
- Feng, J., Zhang, J., Toth, Z., Peña, M., Ravela, S., 2020. A New Measure of Ensemble Central Tendency. *Weather and Forecasting* 35, 879–889. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0213.1>
- Fortin, V., Abaza, M., Anctil, F., Turcotte, R., 2014. Why Should Ensemble Spread Match the RMSE of the Ensemble Mean? *Journal of Hydrometeorology* 15, 1708–1713. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0008.1>
- Galmarini, S., 2006. Ensemble Dispersion Modeling: “All for One, One for All!,” in: Borrego, C., Norman, A.-L. (Eds.), *Air Pollution Modeling and Its Application XVII*. Springer US, Boston, MA, pp. 371–378. https://doi.org/10.1007/978-0-387-68854-1_40
- Galmarini, S., Bianconi, R., Addis, R., Andronopoulos, S., Astrup, P., Bartzis, J.C., Bellasio, R., Buckley, R., Champion, H., Chino, M., D’Amours, R., Davakis, E., Eleveld, H., Glaab, H., Manning, A., Mikkelsen, T., Pechinger, U., Polreich, E., Prodanova, M., Slaper, H., Syrakov, D., Terada, H., Van der Auwera, L., 2004a. Ensemble dispersion forecasting—Part II: application and evaluation. *Atmospheric Environment* 38, 4619–4632. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.05.031>
- Galmarini, S., Bianconi, R., Appel, W., Solazzo, E., Mosca, S., Grossi, P., Moran, M., Schere, K., Rao, S.T., 2012. ENSEMBLE and AMET: Two systems and approaches to a harmonized, simplified and efficient facility for air quality models development and evaluation. *Atmospheric Environment* 53, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.076>
- Galmarini, S., Bianconi, R., Bellasio, R., Graziani, G., 2001. Forecasting the consequences of accidental releases of radionuclides in the atmosphere from ensemble dispersion modelling. *Journal of Environmental Radioactivity* 57, 203–219. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(01\)00017-0](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(01)00017-0)
- Galmarini, S., Bianconi, R., Klug, W., Mikkelsen, T., Addis, R., Andronopoulos, S., Astrup, P., Baklanov, A., Bartniki,



J., Bartzis, J.C., Bellasio, R., Bompay, F., Buckley, R., Bouzom, M., Champion, H., D'Amours, R., Davakis, E., Eleveld, H., Geertsema, G.T., Glaab, H., Kollax, M., Ilvonen, M., Manning, A., Pechinger, U., Persson, C., Polreich, E., Potemski, S., Prodanova, M., Saltbones, J., Slaper, H., Sofiev, M.A., Syrakov, D., Sørensen, J.H., Auwera, L.V. der, Valkama, I., Zelazny, R., 2004b. Ensemble dispersion forecasting—Part I: concept, approach and indicators. *Atmospheric Environment* 38, 4607–4617. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.05.030>

Galmarini, S., Kioutsioukis, I., Solazzo, E., 2013. E pluribus unum*: ensemble air quality predictions. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 7153–7182. <https://doi.org/10.5194/acp-13-7153-2013>

Galmarini, S., Kioutsioukis, I., Solazzo, E., Alyuz, U., Balzarini, A., Bellasio, R., Benedictow, A.M.K., Bianconi, R., Bieser, J., Brandt, J., Christensen, J.H., Colette, A., Curci, G., Davila, Y., Dong, X., Flemming, J., Francis, X., Fraser, A., Fu, J., Henze, D.K., Hogrefe, C., Im, U., Garcia Vivanco, M., Jiménez-Guerrero, P., Jonson, J.E., Kitwiroon, N., Manders, A., Mathur, R., Palacios-Peña, L., Pirovano, G., Pozzoli, L., Prank, M., Schultz, M., Sokhi, R.S., Sudo, K., Tuccella, P., Takemura, T., Sekiya, T., Unal, A., 2018. Two-scale multi-model ensemble: is a hybrid ensemble of opportunity telling us more? *Atmos. Chem. Phys.* 18, 8727–8744. <https://doi.org/10.5194/acp-18-8727-2018>

Ganesh, S.S., Arulmozhivarman, P., Tatavarti, V.S.N.R., 2018. Prediction of PM_{2.5} using an ensemble of artificial neural networks and regression models. *J Ambient Intell Human Comput.* <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0801-8>

Ge, C., Wang, J., Reid, J.S., Posselt, D.J., Xian, P., Hyer, E., 2017. Mesoscale modeling of smoke transport from equatorial Southeast Asian Maritime Continent to the Philippines: First comparison of ensemble analysis with in situ observations: Ensemble Modeling of Smoke Transport. *J. Geophys. Res. Atmos.* 122, 5380–5398. <https://doi.org/10.1002/2016JD026241>

Gneiting, T., Raftery, A.E., Westveld, A.H., Goldman, T., 2005. Calibrated Probabilistic Forecasting Using Ensemble Model Output Statistics and Minimum CRPS Estimation. *Monthly Weather Review* 133, 1098–1118. <https://doi.org/10.1175/MWR2904.1>

Goto, D., Morino, Y., Ohara, T., Sekiyama, T.T., Uchida, J., Nakajima, T., 2020. Application of linear minimum variance estimation to the multi-model ensemble of atmospheric radioactive Cs-137 with observations. *Atmos. Chem. Phys.* 20, 3589–3607. <https://doi.org/10.5194/acp-20-3589-2020>

Hersbach, H., 2000. Decomposition of the Continuous Ranked Probability Score for Ensemble Prediction Systems. *Weather and Forecasting* 15, 559–570. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2000\)015<0559:DOTCRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2000)015<0559:DOTCRP>2.0.CO;2)

Hopson, T.M., 2014. Assessing the Ensemble Spread–Error Relationship. *Monthly Weather Review* 142, 1125–1142. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-12-00111.1>

Hou, D., Kalnay, E., Droegemeier, K.K., 2001. Objective Verification of the SAMEX '98 Ensemble Forecasts. *Mon. Wea. Rev.* 129, 73–91. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<0073:OVOTSE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0073:OVOTSE>2.0.CO;2)

Huijnen, V., Eskes, H.J., Poupkou, A., Elbern, H., Boersma, K.F., Foret, G., Sofiev, M., Valdebenito, A., Flemming, J., Stein, O., Gross, A., Robertson, L., D'Isidoro, M., Kioutsioukis, I., Friese, E., Amstrup, B., Bergstrom, R., Strunk, A., Vira, J., Zyryanov, D., Maurizi, A., Melas, D., 2010. Comparison of OMI NO₂ tropospheric columns with an ensemble of global and European regional air quality models. *Atmos. Chem. Phys.* 24.

Junk, C., Delle Monache, L., Alessandrini, S., Cervone, G., von Bremen, L., 2015. Predictor-weighting strategies for probabilistic wind power forecasting with an analog ensemble. *Meteorologische Zeitschrift* 361–379. <https://doi.org/10.1127/metz/2015/0659>

Kajino, M., Tanji, N., Kuramochi, M., 2021. Better prediction of surface ozone by a superensemble method using emission sensitivity runs in Japan. *Atmospheric Environment: X* 12, 100120. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2021.100120>



Kioutsoukis, I., Galmarini, S., 2014. De praeceptis ferendis: good practice in multi-model ensembles. *Atmos. Chem. Phys.* 14, 11791–11815. <https://doi.org/10.5194/acp-14-11791-2014>

Kioutsoukis, I., Im, U., Solazzo, E., Bianconi, R., Balzarini, A., Baró, R., Bellasio, R., Brunner, D., Chemel, C., Curci, G., van der Gon, H.D., Flemming, J., Forkel, R., Giordano, L., Jiménez-Guerrero, P., Hirtl, M., Jorba, O., Manders-Groot, A., Neal, L., Pérez, J.L., Pirovano, G., San Jose, R., Savage, N., Schroder, W., Sokhi, R.S., Syrakov, D., Tuccella, P., Werhahn, J., Wolke, R., Hogrefe, C., Galmarini, S., 2016. Insights into the deterministic skill of air quality ensembles from the analysis of AQMEII data. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 15629–15652. <https://doi.org/10.5194/acp-16-15629-2016>

Knutti, R., Abramowitz, G., Collins, M., Eyring, V., Gleckler, P.L., Hewitson, B., Mearns, L., 2010. Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. Presented at the IPCC Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections, Boulder, USA.

Kolczynski, W.C., Stauffer, D.R., Haupt, S.E., Deng, A., 2009. Ensemble Variance Calibration for Representing Meteorological Uncertainty for Atmospheric Transport and Dispersion Modeling. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 48, 2001–2021. <https://doi.org/10.1175/2009JAMC2059.1>

Krishnamurti, T.N., Kishtawal, C.M., LaRow, T.E., Bachiochi, D.R., Zhang, Z., Williford, C.E., Gadgil, S., Surendran, S., 1999. Improved Weather and Seasonal Climate Forecasts from Multimodel Superensemble. *Science* 285, 1548–1550. <https://doi.org/10.1126/science.285.5433.1548>

Krishnamurti, T.N., Kishtawal, C.M., Zhang, Z., LaRow, T., Bachiochi, D., Williford, E., Gadgil, S., Surendran, S., 2000. Multimodel Ensemble Forecasts for Weather and Seasonal Climate. *J. Climate* 13, 4196–4216. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<4196:MEFFWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<4196:MEFFWA>2.0.CO;2)

Krishnamurti, T.N., Kumar, V., Simon, A., Bhardwaj, A., Ghosh, T., Ross, R., 2016. A review of multimodel superensemble forecasting for weather, seasonal climate, and hurricanes. *Rev. Geophys.* 54, 336–377. <https://doi.org/10.1002/2015RG000513>

Kumar, R., Alessandrini, S., Hodzic, A., Lee, J.A., 2020. A Novel Ensemble Design for Probabilistic Predictions of Fine Particulate Matter Over the Contiguous United States (CONUS). *J. Geophys. Res. Atmos.* 125. <https://doi.org/10.1029/2020JD032554>

Mallet, V., Sportisse, B., 2006. Ensemble-based air quality forecasts: A multimodel approach applied to ozone. *J. Geophys. Res.* 111, D18302. <https://doi.org/10.1029/2005JD006675>

Marécal, V., Peuch, V.-H., Andersson, C., Andersson, S., Arteta, J., Beekmann, M., Benedictow, A., Bergström, R., Bessagnet, B., Cansado, A., Chéroux, F., Colette, A., Coman, A., Curier, R.L., Denier van der Gon, H.A.C., Drouin, A., Elbern, H., Emili, E., Engelen, R.J., Eskes, H.J., Foret, G., Friese, E., Gauss, M., Giannaros, C., Guth, J., Joly, M., Jaumouillé, E., Josse, B., Kadyrov, N., Kaiser, J.W., Krajsek, K., Kuenen, J., Kumar, U., Liora, N., Lopez, E., Malherbe, L., Martinez, I., Melas, D., Meleux, F., Menut, L., Moinat, P., Morales, T., Parmentier, J., Piacentini, A., Plu, M., Poupkou, A., Queguiner, S., Robertson, L., Rouïl, L., Schaap, M., Segers, A., Sofiev, M., Tarasson, L., Thomas, M., Timmermans, R., Valdebenito, Á., van Velthoven, P., van Versendaal, R., Vira, J., Ung, A., 2015. A regional air quality forecasting system over Europe: the MACC-II daily ensemble production. *Geosci. Model Dev.* 8, 2777–2813. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-2777-2015>

McKeen, S., Chung, S.H., Wilczak, J., Grell, G., Djalalova, I., Peckham, S., Gong, W., Bouchet, V., Moffet, R., Tang, Y., Carmichael, G.R., Mathur, R., Yu, S., 2007. Evaluation of several PM_{2.5} forecast models using data collected during the ICARTT/NEAQS 2004 field study. *J. Geophys. Res.* 112. <https://doi.org/10.1029/2006JD007608>

McKeen, S., Wilczak, J., Grell, G., Djalalova, I., Peckham, S., Hsie, E.-Y., Gong, W., Bouchet, V., Menard, S., Moffet, R., McHenry, J., McQueen, J., Tang, Y., Carmichael, G.R., Pagowski, M., Chan, A., Dye, T., Frost, G., Lee, P., Mathur,



- R., 2005. Assessment of an ensemble of seven real-time ozone forecasts over eastern North America during the summer of 2004. *J. Geophys. Res.* 110, D21307. <https://doi.org/10.1029/2005JD005858>
- Monache, L.D., Wilczak, J., Mckeen, S., Grell, G., Pagowski, M., Peckham, S., Stull, R., Mchenry, J., Mcqueen, J., 2008. A Kalman-filter bias correction method applied to deterministic, ensemble averaged and probabilistic forecasts of surface ozone. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 60, 238–249. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2007.00332.x>
- Monteiro, A., Ribeiro, I., Tchepel, O., Carvalho, A., Martins, H., Sá, E., Ferreira, J., Martins, V., Galmarini, S., Miranda, A.I., Borrego, C., 2013a. Ensemble Techniques to Improve Air Quality Assessment: Focus on O₃ and PM. *Environ Model Assess* 18, 249–257. <https://doi.org/10.1007/s10666-012-9344-0>
- Monteiro, A., Ribeiro, I., Tchepel, O., Sá, E., Ferreira, J., Carvalho, A., Martins, V., Strunk, A., Galmarini, S., Elbern, H., Schaap, M., Builtjes, P., Miranda, A.I., Borrego, C., 2013b. Bias Correction Techniques to Improve Air Quality Ensemble Predictions: Focus on O₃ and PM Over Portugal. *Environ Model Assess* 18, 533–546. <https://doi.org/10.1007/s10666-013-9358-2>
- Mosca, S., Bellasio, R., Bianconi, R., European Commission, Joint Research Centre, 1998. ATMES II: Evaluation of long-range dispersion models using data of the 1st ETEX release.
- Pagowski, M., Grell, G.A., 2006. Ensemble-based ozone forecasts: Skill and economic value: ECONOMIC VALUE OF OZONE FORECASTS. *J. Geophys. Res.* 111. <https://doi.org/10.1029/2006JD007124>
- Pagowski, M., Grell, G.A., Devenyi, D., Peckham, S.E., McKeen, S.A., Gong, W., Delle Monache, L., McHenry, J.N., McQueen, J., Lee, P., 2006. Application of dynamic linear regression to improve the skill of ensemble-based deterministic ozone forecasts. *Atmospheric Environment* 40, 3240–3250. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.02.006>
- Pagowski, M., Grell, G.A., McKeen, S.A., Dévényi, D., Wilczak, J.M., Bouchet, V., Gong, W., McHenry, J., Peckham, S., McQueen, J., Moffet, R., Tang, Y., 2005. A simple method to improve ensemble-based ozone forecasts. *Geophys. Res. Lett.* 32, L07814. <https://doi.org/10.1029/2004GL022305>
- Pennell, C., Reichler, T., 2011. On the Effective Number of Climate Models. *Journal of Climate* 24, 2358–2367. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3814.1>
- Petersen, A.K., Brasseur, G.P., Bouarar, I., Flemming, J., Gauss, M., Jiang, F., Kouznetsov, R., Kranenburg, R., Mijling, B., Peuch, V.-H., Pommier, M., Segers, A., Sofiev, M., Timmermans, R., van der A, R., Walters, S., Xie, Y., Xu, J., Zhou, G., 2019. Ensemble forecasts of air quality in eastern China – Part 2: Evaluation of the MarcoPolo–Panda prediction system, version 1. *Geosci. Model Dev.* 12, 1241–1266. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1241-2019>
- Potempski, S., Galmarini, S., 2009. Est modus in rebus: analytical properties of multi-model ensembles. *Atmos. Chem. Phys.* 19.
- Potempski, S., Galmarini, S., Riccio, A., Giunta, G., 2010. Bayesian model averaging for emergency response atmospheric dispersion multimodel ensembles: Is it really better? How many data are needed? Are the weights portable? *J. Geophys. Res.* 115, D21309. <https://doi.org/10.1029/2010JD014210>
- Raftery, A.E., Gneiting, T., Balabdaoui, F., Polakowski, M., 2005. Using Bayesian Model Averaging to Calibrate Forecast Ensembles. *MONTHLY WEATHER REVIEW* 133, 20.
- Riccio, A., Ciaramella, A., Giunta, G., Galmarini, S., Solazzo, E., Potempski, S., 2012. On the systematic reduction of data complexity in multimodel atmospheric dispersion ensemble modeling. *J. Geophys. Res.* 117, D5. <https://doi.org/10.1029/2011JD016503>



- Riccio, A., Giunta, G., Galmarini, S., 2007. Seeking for the rational basis of the Median Model: the optimal combination of multi-model ensemble results. *Atmos. Chem. Phys.* 14.
- Schefzik, R., Thorarinsdottir, T.L., Gneiting, T., 2013. Uncertainty Quantification in Complex Simulation Models Using Ensemble Copula Coupling. *Statist. Sci.* 28. <https://doi.org/10.1214/13-STS443>
- Sofiev, M., Ritenberga, O., Albertini, R., Arteta, J., Belmonte, J., Bernstein, C.G., Bonini, M., Celenk, S., Damialis, A., Douros, J., Elbern, H., Friese, E., Galan, C., Oliver, G., Hrga, I., Kouznetsov, R., Krajsek, K., Magyar, D., Parmentier, J., Plu, M., Prank, M., Robertson, L., Steensen, B.M., Thibaudon, M., Segers, A., Stepanovich, B., Valdebenito, A.M., Vira, J., Vokou, D., 2017. Multi-model ensemble simulations of olive pollen distribution in Europe in 2014: current status and outlook. *Atmos. Chem. Phys.* 17, 12341–12360. <https://doi.org/10.5194/acp-17-12341-2017>
- Solazzo, E., Bianconi, R., Vautard, R., Appel, K.W., Moran, M.D., Hogrefe, C., Bessagnet, B., Brandt, J., Christensen, J.H., Chemel, C., Coll, I., Denier van der Gon, H., Ferreira, J., Forkel, R., Francis, X.V., Grell, G., Grossi, P., Hansen, A.B., Jeričević, A., Kraljević, L., Miranda, A.I., Nopmongkol, U., Pirovano, G., Prank, M., Riccio, A., Sartelet, K.N., Schaap, M., Silver, J.D., Sokhi, R.S., Vira, J., Werhahn, J., Wolke, R., Yarwood, G., Zhang, J., Rao, S.T., Galmarini, S., 2012. Model evaluation and ensemble modelling of surface-level ozone in Europe and North America in the context of AQMEII. *Atmospheric Environment* 53, 60–74. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.01.003>
- Solazzo, E., Galmarini, S., 2015. A science-based use of ensembles of opportunities for assessment and scenario studies. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 2535–2544. <https://doi.org/10.5194/acp-15-2535-2015>
- Solazzo, E., Riccio, A., Kioutsioukis, I., Galmarini, S., 2013. Pauci ex tanto numero: reduce redundancy in multi-model ensembles. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 8315–8333. <https://doi.org/10.5194/acp-13-8315-2013>
- Sperati, S., Alessandrini, S., Delle Monache, L., 2016. An application of the ECMWF Ensemble Prediction System for short-term solar power forecasting. *Solar Energy* 133, 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.04.016>
- Straume, A.G., 2001. A More Extensive Investigation of the Use of Ensemble Forecasts for Dispersion Model Evaluation. *J. Appl. Meteor.* 40, 425–445. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<0425:AMEIOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<0425:AMEIOT>2.0.CO;2)
- Toth, Z., Kalnay, E., 1997. Ensemble Forecasting at NCEP and the Breeding Method. *Monthly Weather Review* 125, 3297–3319. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1997\)125<3297:EFANAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1997)125<3297:EFANAT>2.0.CO;2)
- Toth, Z., Kalnay, E., 1993. Ensemble Forecasting at NMC: The Generation of Perturbations. *Bulletin of the American Meteorological Society* 74, 2317–2330. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1993\)074<2317:EFANTG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1993)074<2317:EFANTG>2.0.CO;2)
- van Loon, M., Vautard, R., Schaap, M., Bergström, R., Bessagnet, B., Brandt, J., Builtjes, P.J.H., Christensen, J.H., Cuvelier, C., Graff, A., Jonson, J.E., Krol, M., Langner, J., Roberts, P., Rouil, L., Stern, R., Tarrasón, L., Thunis, P., Vignati, E., White, L., Wind, P., 2007. Evaluation of long-term ozone simulations from seven regional air quality models and their ensemble. *Atmospheric Environment* 41, 2083–2097. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.073>
- Vautard, R., Schaap, M., Bergström, R., Bessagnet, B., Brandt, J., Builtjes, P.J.H., Christensen, J.H., Cuvelier, C., Foltescu, V., Graff, A., Kerschbaumer, A., Krol, M., Roberts, P., Rouil, L., Stern, R., Tarrason, L., Thunis, P., Vignati, E., Wind, P., 2009. Skill and uncertainty of a regional air quality model ensemble. *Atmospheric Environment* 43, 4822–4832. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.083>
- Vautard, R., Van Loon, M., Schaap, M., Bergström, R., Bessagnet, B., Brandt, J., Builtjes, P.J.H., Christensen, J.H., Cuvelier, C., Graff, A., Jonson, J.E., Krol, M., Langner, J., Roberts, P., Rouil, L., Stern, R., Tarrasón, L., Thunis, P., Vignati, E., White, L., Wind, P., 2006. Is regional air quality model diversity representative of uncertainty for ozone simulation? *Geophys. Res. Lett.* 33, L24818. <https://doi.org/10.1029/2006GL027610>
- Wandishin, M.S., Mullen, S.L., Stensrud, D.J., Brooks, H.E., 2001. Evaluation of a Short-Range Multimodel Ensemble



System. Mon. Wea. Rev. 129, 729–747. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<0729:EOASRM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0729:EOASRM>2.0.CO;2)

Wang, X., Bishop, C.H., 2003. A Comparison of Breeding and Ensemble Transform Kalman Filter Ensemble Forecast Schemes. *Journal of the Atmospheric Sciences* 60, 1140–1158. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2003\)060<1140:ACOBAE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2003)060<1140:ACOBAE>2.0.CO;2)

Warner, T.T., Sheu, R.-S., Bowers, J.F., Ian Sykes, R., Dodd, G.C., Henn, D.S., 2002. Ensemble Simulations with Coupled Atmospheric Dynamic and Dispersion Models: Illustrating Uncertainties in Dosage Simulations. *J. Appl. Meteor.* 41, 488–504. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2002\)041<0488:ESWCAD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2002)041<0488:ESWCAD>2.0.CO;2)

Whitaker, J.S., Loughe, A.F., 1998. The Relationship between Ensemble Spread and Ensemble Mean Skill. *Mon. Wea. Rev.* 126, 3292–3302. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1998\)126<3292:TRBESA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1998)126<3292:TRBESA>2.0.CO;2)

Wilczak, J., McKeen, S., Djalalova, I., Grell, G., Peckham, S., Gong, W., Bouchet, V., Moffet, R., McHenry, J., McQueen, J., Lee, P., Tang, Y., Carmichael, G.R., 2006. Bias-corrected ensemble and probabilistic forecasts of surface ozone over eastern North America during the summer of 2004. *J. Geophys. Res.* 111. <https://doi.org/10.1029/2006JD007598>

Xian, P., Reid, J.S., Hyer, E.J., Sampson, C.R., Rubin, J.I., Ades, M., Asencio, N., Basart, S., Benedetti, A., Bhattacharjee, P.S., Brooks, M.E., Colarco, P.R., da Silva, A.M., Eck, T.F., Guth, J., Jorba, O., Kouznetsov, R., Kipling, Z., Sofiev, M., Perez Garcia-Pando, C., Pradhan, Y., Tanaka, T., Wang, J., Westphal, D.L., Yumimoto, K., Zhang, J., 2019. Current state of the global operational aerosol multi-model ensemble: An update from the International Cooperative for Aerosol Prediction (ICAP). *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 145, 176–209. <https://doi.org/10.1002/qj.3497>

Zhang, F., Bei, N., Nielsen-Gammon, J.W., Li, G., Zhang, R., Stuart, A., Aksoy, A., 2007. Impacts of meteorological uncertainties on ozone pollution predictability estimated through meteorological and photochemical ensemble forecasts. *J. Geophys. Res.* 112, D04304. <https://doi.org/10.1029/2006JD007429>



5. CONCLUSIONI

Nel presente Report sono stati presentati i risultati dell'indagine bibliografica sulle tecniche di *ensemble modelling*, condotta nell'ambito delle attività dell'Obiettivo 2 del Progetto Pulvirus.

Dallo studio è emerso un ampio dibattito sul tema. Diverse sono le tecniche di *ensemble modelling* utilizzate dalla comunità scientifica, caratterizzate da un diverso grado di complessità e scelte tenendo conto sia delle risorse computazionali a disposizione, sia degli aspetti specifici del caso studio: numero di simulazioni a disposizione, diverso set-up modellistico delle simulazioni, scale spaziali e temporali, variabili di interesse, ecc. Pertanto, per raccogliere e mettere a disposizione una visione d'insieme sulle principali caratteristiche delle applicazioni pubblicate in letteratura, sono state predisposte e compilate, per ciascuna pubblicazione studiata, delle schede sintetiche per descriverne gli aspetti salienti.

La ricerca bibliografica, approfondita e aggiornata, ha consentito da un lato di mettere a disposizione oltre 70 pubblicazioni sul tema, dall'altro di sintetizzarne i principali contenuti in una breve descrizione dei fondamenti teorici.

Il numero limitato (due) di simulazioni prodotte nell'ambito dell'Obiettivo 2 non ha consentito di testare nessuna metodologia sugli output del Progetto. Tale attività era stata infatti programmata prevedendo che un numero maggiore di Istituzioni coinvolte nel Progetto mettessero a disposizione una propria elaborazione modellistica.

Il presente Report fornisce comunque un *know how* aggiornato sul tema dell'*ensemble modelling* ed è reso disponibile come ulteriore valore aggiunto del Progetto, per eventuali futuri contesti che prevedessero in ambito nazionale la disponibilità di simulazioni modellistiche multiple applicate allo stesso caso studio.



APPENDICE: CAMPIONE DI SCHEDE SINTETICHE PRODOTTE

Bianconi et al. (2004)

Riferimento bibliografico	Bianconi, R., Galmarini, S., Bellasio, R., 2004. Web-based system for decision support in case of emergency: ensemble modelling of long-range atmospheric dispersion of radionuclides. Environmental Modelling & Software 19, 401–411. https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00139-7
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Applicazione web-based
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Forecast
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	Comunità modellistica internazionale con un totale di 22 modelli di trasporto e dispersione a lungo raggio.
Tipo di modelli	Modelli di trasporto e diffusione dei radionuclidi: lagrangiani, euleriani ed ibridi (lagrangiani/euleriani).
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	Ciascun gruppo esegue simulazioni indipendentemente dagli altri, con i propri input meteorologici. È simulato un incidente nucleare in una determinata area geografica, centrata sull'Europa.
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Europa, scala sinottica: fascia che va da 30° a 75° nord di latitudine e da -15° a 60° est di longitudine.
Risoluzione spaziale	0.5°x0.5°
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	72 h a partire dall'istante del rilascio.
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	1 h
Variabili trattate	Concentrazione e deposizione di radionuclidi e relativa attività.
Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i>	I modelli inviano real-time i dati simulati ad un server, che mostra all'utente (non necessariamente esperto) i valori medi e massimo di ensemble, mediante interfaccia GIS.
Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono</i>	NO Trattandosi di esercizio modellistico, sono solo simulati rilasci accidentali da una sorgente.



<i>usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i>	
<p align="center">Validazione</p> <p><i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p align="center">NO</p>
<p align="center">Interesse dell'articolo <i>BASSO/MEDIO/ALTO</i> <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p align="center">BASSO</p> <p>L'articolo è da ritenersi scarsamente significativo e di livello scientifico contenuto. L'obiettivo dichiarato è di mettere in grado l'utilizzatore, non necessariamente esperto, di eseguire delle valutazioni real-time e prendere delle iniziative di contenimento del materiale radioattivo, semplicemente accedendo tramite web browser.</p>
<p align="center">Altro</p>	<p><i>"The uniqueness of the system resides in the possibility to access a large amount of information in a limited amount of time without the need of any specific technology"</i>.</p> <p>La tecnica di ensemble usata è volutamente molto rudimentale, da applicare in situazioni di emergenza, al fine di ottenere un feedback rapido. Alla luce dell'evoluzione degli strumenti modellistici, dell'allargamento della banda internet e dell'avvento dell'AI, si ritiene questo approccio ormai superato.</p>

Brasseur et al. (2019)

<p>Riferimento bibliografico</p>	<p>Brasseur, G.P., Xie, Y., Petersen, A.K., Bouarar, I., Flemming, J., Gauss, M., Jiang, F., Kouznetsov, R., Kranenburg, R., Mijling, B., Peuch, V.-H., Pommier, M., Segers, A., Sofiev, M., Timmermans, R., van der A, R., Walters, S., Xu, J., Zhou, G., 2019. Ensemble forecasts of air quality in eastern China – Part 1: Model description and implementation of the MarcoPolo–Panda prediction system, version 1. Geosci. Model Dev. 12, 33–67. https://doi.org/10.5194/gmd-12-33-2019</p>
<p>Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i></p>	<p>Applicazione</p>
<p>Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i></p>	<p>Forecast</p>
<p>Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble</p>	<p>9 modelli di qualità dell'aria</p>
<p>Tipo di modelli</p>	<p>Modelli a scala regionale di qualità dell'aria, sia on-line che off-line con la meteorologia. Fa eccezione il solo C-IFS, che invece è globale. WRF-Chem è girato sia dal Max Planck Institute for Meteorology (MPIM) che dai cinesi dello Shanghai Meteorological Service (SMS). I modelli sono C-IFS, CHIMERE, WRF-Chem-MPIM, SILAM, EMEP, LOTOS-EUROS, WRF-Chem-SMS, WRF-CMAQ (Nanjing University, NJU), WARMS-CMAQ.</p>
<p>Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i></p>	<p>I modelli non condividono input, con il driver meteo, le condizioni al contorno e gli inventari che sono in generale differenti. In particolare, riguardo al driver meteo: i) EMEP, SILAM e LOTOS usano i campi IFS; ii) CHIMERE il ECMWF operational data; iii) WRF-Chem-MPIM NCEP- Final Operational Global Analysis data; iv) WRF-Chem SMS, WRF-CMAQ NJU e WARMS-CMAQ SMS usano NCEP GFS. Per quanto concerne l'inventario emissivo: i) WRF-CHEM-SMS, CHIMERE, LOTOS usano MEIC2010, con LOTOS che usa anche EDGAR; ii) WRF-Chem-MPIM, WARMS-CMAQ SMS ed EMEP usano HTAP, con EMEP che integra MEIC2012; iii) IFS e SILAM usano MACCcity; iv) WRF-CMAQ-NJU usa MIX. Fatta eccezione per EMEP, che usa il suo proprio schema, tutti includono le emissioni biogeniche da MEGAN.</p>

<p>Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i></p>	<p>I domini di applicazione e la struttura verticale dei livelli sono differenti, ma tutti i modelli condividono il focus sulle 37 maggiori città della Cina orientale.</p>
<p>Risoluzione spaziale</p>	<p>Le risoluzioni spaziali sono differenti: si va da 9 fino a 40 km di risoluzione orizzontale.</p>
<p>Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i></p>	<p>Forecast di 72 ore</p>
<p>Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i></p>	<p>1 ora</p>
<p>Variabili trattate</p>	<p>PM2.5, PM10, NO₂, O₃ (mostrate nel portale) + SO₂ e CO</p>
<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>Mediana e media</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>È usata l'assimilazione solo da IFS, LOTOS e WRF-CMAQ NJU.</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>SI È condotta una validazione per il periodo 1-15 marzo 2017, mediante gli indici: BIAS, MNBIAS, RMSE, FGE e correlazione per ozono, NO₂ e PM2.5. Sono valutate le prestazioni sia per la media di ensemble che per la mediana. I dati IFS vengono anche validati secondo le procedure standard di Copernicus (https://atmosphere.copernicus.eu/quarterly_validation_reports, sito attualmente non accessibile)</p>
<p>Interesse dell'articolo <i>BASSO/MEDIO/ALTO con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>Medio-basso</p>
<p>Altro</p>	<p>È presentato un sistema operativo di previsione della qualità dell'aria di tipo ensemble, grazie alla cooperazione tra gruppi di ricerca europei e cinesi, con il supporto della Commissione Europea (7° Programma Quadro). Il sistema fornisce previsioni giornaliere di concentrazione di inquinanti nella Cina orientale e nei maggiori centri urbani. Le previsioni sono pubblicate sul seguente sito web (attualmente operativo ed anche interessante da consultare): http://www.marcopolo-panda.eu</p>



	<p>Sul sito è possibile visualizzare le previsioni sia sull'area geografica ("zoomabile" intorno alle singole città), sia come serie temporali sui singoli siti urbani. È anche possibile diminuire lo zoom, per avere un quadro di insieme sulla Cina.</p>
--	---

Delle Monache and Stull (2003)

Riferimento bibliografico	Delle Monache, L., Stull, R.B., 2003. An ensemble air-quality forecast over western Europe during an ozone episode. Atmospheric Environment 37, 3469–3474. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00475-8
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Applicazione
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Applicazione (hindcast) su un episodio di alte concentrazioni di ozono
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	Sono a disposizione 4 simulazioni effettuate con 4 diversi modelli
Tipo di modelli	Lagrangian photochemical models: EMEP Eulerian models: EURAD, LOTOS and REM3
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	Il set-up delle 4 simulazioni è completamente diverso: <ul style="list-style-type: none"> • diversi domini e diversa risoluzione spaziale (sia orizzontale che verticale) • diverse condizioni al contorno • diverse emissioni • diversi input meteorologici • diverse formulazioni (schemi avvettivi, schemi chimici, ecc.)
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	I quattro modelli sono applicati su diversi domini, di cui nel paper non vengono forniti dettagli. Per dettagli si veda Hass et al. (1997) ²
Risoluzione spaziale	I quattro modelli sono applicati a diverse risoluzioni spaziali, di cui nel paper non vengono forniti dettagli. Per dettagli si veda Hass et al. (1997) ¹
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	6 giorni (31 Luglio – 5 Agosto 1990)

² Hass, H., Builtjes, P.J.H., Simpson, D., Stern, R. : Comparison of model results obtained with several European regional air quality models. Atmospheric Environment 31, 3259–3279, 1997.

<p>Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i></p>	<p>Oraria</p>
<p>Variabili trattate</p>	<p>O₃</p>
<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>Viene fornita unicamente la media aritmetica dell'ensemble. Si cita, ma non viene fornita, la possibilità di effettuare una media pesata tra gli output delle diverse simulazioni, basata sulle performances dei singoli modelli valutate su serie temporali precedenti.</p> <p>Anche se non sono mostrate, nella discussione si parla anche della possibilità di fornire informazioni di tipo probabilistico, basate sullo spread dei membri dell'ensemble. Ad esempio, la probabilità che l'ozono in un sito superi uno specifico valore di soglia può essere fornita come la percentuale di modelli che predicono tale superamento.</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>NO</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>SI</p> <p>Validazione sui dati di 5 siti Indicatori/approcci utilizzati</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gross Error, Unpaired Peak Prediction Accuracy • Time series
<p>Interesse dell'articolo <i>BASSO/MEDIO/ALTO con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>MEDIO/BASSO</p> <p>Punti deboli</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non è presentata nessuna metodologia avanzata per il calcolo dell'ensemble che è fornito semplicemente tramite la media. • L'analisi si basa su un caso studio limitato: solo 6 giorni. • Le diverse simulazioni sono caratterizzate da grandi variazioni emissive (anche dell'ordine di fattori 2 o 3), maggiori di quelle che differenziano le due simulazioni BASE e LOCKDOWN. <p>Motivo di interesse</p>



	Contiene interessanti riflessioni generali.
Altro	

Delle Monache et al. (2006)

Riferimento bibliografico	Delle Monache, L., Deng, X., Zhou, Y., Stull, R., 2006. Ozone ensemble forecasts: 1. A new ensemble design. J. Geophys. Res. 111, D05307. https://doi.org/10.1029/2005JD006310
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Applicazione
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Applicazione (forecast) sul periodo 11-15 Agosto 2004
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	Sono a disposizione 12 simulazioni È testato anche l'ensemble di 18 simulazioni, ottenute aggiungendone 6 relative agli stessi giorni ma simulati dai run del giorno prima
Tipo di modelli	Chemical transport models (CTMs)
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	Le 12 simulazioni sono ottenute con <u>lo stesso CTM</u> , i.e. CMAQ, utilizzando come input meteorologico <u>due diversi modelli</u> , MC2 ed MM5, a <u>due diverse risoluzioni</u> (12 km e 4 km); a ciascuna delle 4 configurazioni risoluzione-meteo corrispondono 3 simulazioni, relative a <u>3 diversi scenari emissivi</u> : uno scenario base, e due scenari con variazioni delle emissioni di NO _x (+50% e -50%)
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Dominio comprendente la Lower Fraser Valley (estensione del dominio: 4 °x 2°)
Risoluzione spaziale	12 km e 4 km
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	5 giorni
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	Oraria
Variabili trattate	O ₃

<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>media aritmetica dell'ensemble</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>NO</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>SI</p> <p>Validazione sui dati di 5 stazioni (2 urbane, 2 sub-urbane, 1 rurale)</p> <p>Indicatori/approcci utilizzati</p> <ul style="list-style-type: none"> • Correlazione, Gross Error, RMSE, Unpaired Peak Prediction Accuracy (UPPA) • RMSE decomposto nelle componenti sistematica e non sistematica • Somma, sui diversi siti, dell'indicatore di ranking • Prestazioni dell'ensemble a 11 membri (escludendo uno alla volta ciascuno dei 12 membri) • Diagramma di Taylor
<p>Interesse dell'articolo BASSO/MEDIO/ALTO <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>MEDIO/ALTO</p> <p>Motivo di interesse</p> <p>Il paper si basa sull'utilizzo di un solo modello e ha l'obiettivo di mostrare come, modificando il set-up (risoluzione, modello meteo, emissioni), si possa creare un campione di simulazioni che, mediate nell'ensemble, riducono, mediandole, le possibili incertezze.</p> <p>Punto debole</p> <p>L'utilizzo di una variazione emissiva del 50% porterebbe a costruire un campione di simulazioni per l'ensemble con variabilità emissiva maggiore di quella che distingue le due simulazioni BASE e LOCKDOWN.</p>
<p>Altro</p>	

Djalalova et al. (2010)

Riferimento bibliografico	Djalalova, I., Wilczak, J., McKeen, S., Grell, G., Peckham, S., Pagowski, M., DelleMonache, L., McQueen, J., Tang, Y., Lee, P., 2010. Ensemble and bias-correction techniques for air quality model forecasts of surface O ₃ and PM _{2.5} during the TEXAQS-II experiment of 2006. Atmospheric Environment 44, 455–467. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.11.007
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Applicazione
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Forecast di O ₃ e PM _{2.5} durante il 2006 Texas Air Quality (TEXAQS-II) experiment
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	7
Tipo di modelli	Chemical transport models (CTMs)
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	Diversa risoluzione spaziale, diversi driver meteorologici, diversi schemi chimici, diversi sia gli inventari emissivi che il processamento delle emissioni
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Dominio che ricopre grosso modo il Texas (circa 10°x10°). Dettagli in McKeen et al. (2009) ³
Risoluzione spaziale	Diverse risoluzioni spaziali per i diversi modelli: passo di griglia da un minimo di 12 km ad un massimo di 36 km
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	50 giorni (periodo dal 12 Agosto al 30 Settembre 2006)
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	Oraria

³ McKeen, S., Grell, G.A., Peckham, S.E., et al., 2009. An evaluation of real-time air quality forecasts and their urban emissions over Eastern Texas during the summer of 2006 TexAQS field study. J. Geophys. Res., TexAQS-2006 special issue 114, D00F11. doi:10.1029/2008JD011697.

<p>Variabili trattate</p>	<p>O₃ PM2.5</p>
<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>L'ensemble viene fornito in 6 diverse realizzazioni. Innanzitutto il campione di modelli è reso disponibile in tre modalità diverse. Nel primo caso, gli output dei 7 modelli non vengono post-trattati in nessun modo (raw). Negli altri due casi, gli output dei modelli vengono trattati secondo due diversi schemi di bias-correction, uno definito "simple", l'altro basato sull'utilizzo del Kalman Filter. In entrambi i casi la correzione dei valori originali dei forecast si basa sui bias tra valori simulati e osservati nei 7 giorni precedenti.</p> <p>Per ciascuno di questi tre diversi gruppi, contenenti gli output dei 7 modelli, l'ensemble viene calcolato in due modi diversi: o come media semplice o come media pesata (dove i pesi sono calcolati tramite una tecnica di regressione lineare, che minimizza il bias e che viene anch'essa applicata ai dati dei 7 giorni precedenti).</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>SI</p> <p>I dati di misura (dei 7 giorni precedenti) sono utilizzati sia per l'applicazione dei due schemi di bias-correction sia nel processo di minimizzazione dell'errore per il calcolo dei pesi ottimali.</p> <p>Per quanto riguarda il calcolo dei pesi ottimali, il risultato è un unico set di pesi da applicare sull'intero dominio per il giorno successivo al periodo di training.</p> <p>Si ottengono così pesi variabili nel tempo (per ogni giorno i pesi vengono ricalcolati sul periodo di training corrispondente ai 7 giorni precedenti) ma omogenei su tutto il dominio.</p> <p>Il tema della spazializzazione non è trattato.</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>La validazione, tramite confronto con i dati misurati, si basa sia sul confronto degli andamenti temporali (variamente aggregati) sia sul calcolo di alcuni indicatori: BIAS, RMSE, Coefficiente di Correlazione. A questi si aggiungono i comuni indicatori basati sulle contingency tables: Proportion Correct (PC), Critical Success Index (CSI), Probability of Detection (POD), False Alarm Ratio (FAR), Frequency Bias (FB).</p> <p>Per la stima dell'incertezza del forecast sono utilizzati il Rank Histogram (RH), l'Attributes Diagram (AD) e il Receiver Operating Characteristic (ROC)⁴.</p> <p>Il periodo di validazione è distinto da quello di training quindi le misure utilizzate per il confronto sono indipendenti da quelle usate per l'ottimizzazione.</p>

⁴ Wilks, D.S., 1995. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction. Elsevier, New York.



<p>Interesse dell'articolo BASSO/MEDIO/ALTO <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>MEDIO</p> <p>Principale motivo di interesse: Le simulazioni hanno diversi set up modellistici</p> <p>Principale punto debole: Il periodo di studio è molto breve (meno di 2 mesi)</p>
<p>Altro</p>	<p>Tra i modelli utilizzati c'è anche STEM, da cui deriva FARM</p>

Galmarini et al. (2004)

<p>Riferimento bibliografico</p>	<p>Galmarini, S., Bianconi, R., Klug, W., Mikkelsen, T., Addis, R., Andronopoulos, S., Astrup, P., Baklanov, A., Bartniki, J., Bartzis, J.C., Bellasio, R., Bompay, F., Buckley, R., Bouzom, M., Champion, H., D'Amours, R., Davakis, E., Eleveld, H., Geertsema, G.T., Glaab, H., Kollax, M., Ilvonen, M., Manning, A., Pechinger, U., Persson, C., Polreich, E., Potemski, S., Prodanova, M., Saltbones, J., Slaper, H., Sofiev, M.A., Syrakov, D., Sørensen, J.H., Auwera, L.V. der, Valkama, I., Zelazny, R., 2004. Ensemble dispersion forecasting—Part I: concept, approach and indicators. Atmospheric Environment 38, 4607–4617. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.05.030</p>
<p>Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i></p>	<p>Teorico con semplici applicazioni di esempio</p>
<p>Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i></p>	<p>Dispersione (in forecast) da singola sorgente per rilascio accidentale di sostanze pericolose</p>
<p>Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble</p>	<p>24 ma sono presentate applicazioni su sottogruppi, anche solo su 4 simulazioni modellistiche</p>
<p>Tipo di modelli</p>	<p>Lagrangiani, Euleriani, a Puff</p>
<p>Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i></p>	<p>Sono contemplate diverse possibilità. Le varie simulazioni differiscono per una delle seguenti caratteristiche: modello meteorologico, modello di dispersione, input al modello meteorologico, input al modello di dispersione. È contemplata inoltre una quinta possibilità: a parità di input le simulazioni differiscono sia per il modello meteorologico che per quello di dispersione.</p>
<p>Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i></p>	<p>Scala continentale (alcune migliaia di chilometri)</p>
<p>Risoluzione spaziale</p>	<p>0.5°</p>
<p>Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i></p>	<p>60 h</p>

<p>Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i></p>	<p>3 h</p>
<p>Variabili trattate</p>	<p>Sostanze radioattive, in particolare ¹³⁷Cs</p>
<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>Valore della Mediana</p> <p>Valore Massimo</p> <p>Agreement in Percentile Threshold (APL): percentile p-esimo</p> <p>Agreement in Threshold Level (ATL): percentuale di modelli che predicono un valore al di sopra di una certa soglia</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>NO</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto- campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>NO</p>
<p>Interesse dell'articolo <i>BASSO/MEDIO/ALTO</i> <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>MEDIO</p> <p>Contiene interessanti riflessioni generali. Non è presentata nessuna metodologia avanzata per il calcolo dell'ensemble che è fornito tramite semplici indicatori statistici. Il caso di applicazione (dispersione da sorgente isolata) è molto diverso dal tipo di applicazioni che verranno sviluppate in PULVIRUS.</p>
<p>Altro</p>	

Galmarini et al. (2018)

<p>Riferimento bibliografico</p>	<p>Galmarini, S., Kioutsioukis, I., Solazzo, E., Alyuz, U., Balzarini, A., Bellasio, R., Benedictow, A.M.K., Bianconi, R., Bieser, J., Brandt, J., Christensen, J.H., Colette, A., Curci, G., Davila, Y., Dong, X., Flemming, J., Francis, X., Fraser, A., Fu, J., Henze, D.K., Hogrefe, C., Im, U., Garcia Vivanco, M., Jiménez-Guerrero, P., Jonson, J.E., Kitwiroon, N., Manders, A., Mathur, R., Palacios-Peña, L., Pirovano, G., Pozzoli, L., Prank, M., Schultz, M., Sokhi, R.S., Sudo, K., Tuccella, P., Takemura, T., Sekiya, T., Unal, A., 2018. Two-scale multi-model ensemble: is a hybrid ensemble of opportunity telling us more? Atmos. Chem. Phys. 18, 8727–8744. https://doi.org/10.5194/acp-18-8727-2018</p>
<p>Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i></p>	<p>Applicazione</p>
<p>Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i></p>	<p>Simulazione annuale (hindcast) per l'anno 2010 svolta nell'ambito delle attività di HTAP2-AQMEI3</p>
<p>Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble</p>	<p>Sono a disposizione 13 simulazioni effettuate con modelli regionali 7 simulazioni effettuate con modelli globali</p> <p>Sono presentate applicazioni su sottogruppi Uno degli obiettivi del paper è anche la ricerca del numero ottimale di simulazioni che ottimizza le prestazioni dell'ensemble</p>
<p>Tipo di modelli</p>	<p>Chemical transport models (CTMs)</p>
<p>Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i></p>	<p>Stesso inventario emissivo per tutte le simulazioni (sia globali che regionali) Diversi forzanti meteorologici e, per quanto riguarda le simulazioni regionali, diversi modelli meteorologici Boundary Conditions di tutte le simulazioni regionali dallo stesso modello globale (C-IFS, che è uno dei 7 modelli globali)</p>
<p>Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i></p>	<p>Dominio Europeo</p>
<p>Risoluzione spaziale</p>	<p>Diverse risoluzioni spaziali</p> <p>Simulazioni regionali: passo di griglia da un minimo di 15 km ad un massimo di circa 50 km Simulazioni globali: passo di griglia da un minimo di 0.5° ad un massimo di 2.8°</p>

<p>Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i></p>	<p>Un anno</p>
<p>Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i></p>	<p>Oraria</p>
<p>Variabili trattate</p>	<p>Ozono</p>
<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ media o⁵ mediana dell'ensemble (mme) ✓ ensemble creato dal sottoinsieme ottimale di modelli che minimizza l'RMSE (mmeS)⁶ ✓ ensemble prodotto decomponendo i valori di concentrazione simulate secondo la decomposizione di Kolmogorov–Zurbenko (LT, long term; SY, synoptic; DU, diurnal; ID, inter-diurnal), ricombinando le quattro componenti che sono in maggiore accordo con le corrispondenti componenti misurate e creando così un “nuovo modello” (kzFO)⁷ ✓ optimally weighted combination (mmeW)⁸
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>SI (per i metodi che lo richiedono) Sono usati dati sparsi, i dati misurati da 405 stazioni rurali, situate a quote inferiori a 1000m, con copertura temporale di almeno il 75%</p> <p>Il tema della spazializzazione non è trattato i risultati dell'ensemble sono presentati solo nei punti di monitoraggio</p>

⁵ Nel testo dice letteralmente così. Non è specificato se usino la media o la mediana.

⁶ Solazzo, E., Bianconi, R., Vautard, R., Appel, K. W., Moran, M. D., Hogrefe, C., Bessagnet, B., Brandt, J., Christensen, J. H., Chemel, C., Coll, I., Denier van der Gon, H., Ferreira, J., Forkel, R., Francis, X. V., Grell, G., Grossi, P., Hansen, A. B., Jericvič, Á., Kraljevic, L., Miranda, A. I., Nopmongcol, U., Pirovano, G., Prank, M., Riccio, A., Sartelet, K. N., Schaap, M., Silver, J. D., Sokhi, R. S., Vira, J., Werhahn, J., Wolke, R., Yarwood, G., Zhang, J., Rao, S., and Galmarini, S.: Model evaluation and ensemble modelling of surface-level ozone in Europe and North America in the context of AQMEII, *Atmospheric Environment*, 53, 60–74, 2012.

⁷ Galmarini, S., Kioutsioukis, I., and Solazzo, E.: E pluribus unum: ensemble air quality predictions, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 7153–7182, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7153-2013>, 2013.

⁸ Kioutsioukis, I. and Galmarini, S.: De praeceptis ferendis: good practice in multi-model ensembles, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14, 11791–11815, <https://doi.org/10.5194/acp-14-11791-2014>, 2014.

<p style="text-align: center;">Validazione</p> <p style="text-align: center;"><i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p style="text-align: center;">SI</p> <p style="text-align: center;">Indicatori utilizzati</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spectra behaviour • Taylor plot con classificazione dei punti in base all'RMSE • Probability Of Detection (POD) e False-Alarm Rate (FAR) • Talagrand diagrams ⁹ • Mean Square Error (MSE) con la decomposizione di Kolmogorov–Zurbenko • Accuracy e Diversity <p style="text-align: center;">Non si specifica se il dataset usato per creare l'ensemble sia lo stesso usato per la validazione ma non si parla di nessun sotto-campionamento</p>
<p style="text-align: center;">Interesse dell'articolo</p> <p style="text-align: center;">BASSO/MEDIO/ALTO</p> <p style="text-align: center;"><i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p style="text-align: center;">ALTO</p> <p style="text-align: center;">Principali motivi dell'alto interesse:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. È un'analisi di ensemble "ibrido" (i.e. a diverse scale) e il paper ha l'obiettivo di dimostrare come questo sia un valore aggiunto 2. Le simulazioni hanno diversi forzanti meteorologici 3. La validazione è ricca di interessanti spunti <p style="text-align: center;">Unico punto debole:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Non è trattato il tema della spazializzazione dei risultati
<p style="text-align: center;">Altro</p>	

⁹ Talagrand, O., Vautard, R., and Strauss, B.: Evaluation of probabilistic prediction systems, Workshop proceedings "Workshop on predictability", 20–22 October 1997, ECMWF, Reading, UK, 1999.

Ganesh et al. (2018)

Riferimento bibliografico	Ganesh, S.S., Arulmozhivarman, P., Tatavarti, V.S.N.R., 2018. Prediction of PM2.5 using an ensemble of artificial neural networks and regression models. J Ambient Intell Human Comput. https://doi.org/10.1007/s12652-018-0801-8
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Applicazione
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Forecast di PM2.5
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	5
Tipo di modelli	Modelli di reti neurali Modelli basati su regressione lineare multipla
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	Per tutti i modelli la previsione della variabile dipendente (concentrazione di PM2.5) si basa sulle seguenti variabili indipendenti: concentrazioni di SO ₂ , PM2.5 e O ₃ del giorno precedente e parametri meteorologici (i.e. temperatura massima, velocità del vento)
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Non trattandosi di simulazioni modellistiche non parliamo di dominio. I dati su cui i sistemi apprendono e di seguito vengono testati si riferiscono a due contee degli Stati Uniti: la contea di Harris e quella del Bronx (nel distretto di New York)
Risoluzione spaziale	/
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	I dati usati per l'apprendimento e la validazione si riferiscono ad un periodo che va dal 2010 al 2016
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	/
Variabili trattate	PM2.5

<p style="text-align: center;">Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>L'ensemble viene fornito in 4 diverse realizzazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ensemble calcolato con un metodo basato sulle reti neurali a partire da cinque previsioni basate su differenti metodi che usano reti neurali; • ensemble calcolato con un metodo di regressione lineare multipla a partire da cinque previsioni basate su differenti metodi che usano reti neurali; • ensemble calcolato con un metodo basato sulle reti neurali a partire da cinque previsioni basate su differenti tecniche di regressione lineare multipla; • ensemble calcolato con un metodo di regressione lineare multipla a partire da cinque previsioni basate su differenti tecniche di regressione lineare multipla.
<p style="text-align: center;">Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p style="text-align: center;">SI per l'apprendimento</p>
<p style="text-align: center;">Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto- campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p style="text-align: center;">SI Elaborazioni fornite</p> <ul style="list-style-type: none"> • confronto degli andamenti temporali; • scatter plots; • calcolo di alcune sintesi statistiche: Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percent Error (MAPE), correlation coefficient (R), Root Mean Square Error (RMSE), Index of Agreement (IA). <p>Per entrambi i due casi studio (Harris e New York), i data set a disposizione sono suddivisi in una parte (oltre il 90%) per il training e la restante per la validazione. La validazione è condotta quindi su dati indipendenti.</p>
<p style="text-align: center;">Interesse dell'articolo BASSO/MEDIO/ALTO <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p style="text-align: center;">MEDIO/BASSO Principali punti deboli</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pur essendo interessanti gli approcci utilizzati per ottenere l'ensemble, i membri dell'ensemble sono a loro volta basati su reti neurali o tecniche di regressione lineare; • Non si prevede la produzione di dati grigliati; • La descrizione delle formulazioni non è sufficientemente dettagliata tanto da consentirne la riproducibilità.
<p style="text-align: center;">Altro</p>	

Kioutsioukis and Galmarini (2014)

Riferimento bibliografico	Kioutsioukis, I., Galmarini, S., 2014. De praeceptis ferendis: good practice in multi-model ensembles. <i>Atmos. Chem. Phys.</i> 14, 11791–11815. https://doi.org/10.5194/acp-14-11791-2014
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Due applicazioni (prima su un esempio teorico e poi su dati reali) precedute da un approfondimento teorico
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Applicazione su caso teorico: 14 time series (di 5000 record ciascuna) generate con la tecnica Latin hypercube sampling ¹⁰ : 13 rappresentano output di simulazioni modellistiche e 1 fa le veci delle osservazioni Applicazione su dati reali: Simulazione annuale (hindcast) per l'anno 2006 svolta nell'ambito dell'esercizio di intercomparison di AQMEII
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	Sono a disposizione 13 simulazioni Sono presentate applicazioni su sottogruppi per la ricerca del numero ottimale di simulazioni che ottimizza le prestazioni dell'ensemble
Tipo di modelli	Chemical transport models (CTMs)
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici</i>	Il set-up delle simulazioni e le caratteristiche dei modelli non sono descritti Si fa riferimento all'opportuna letteratura a riguardo ¹¹

¹⁰ McKay M. D., Beckman, R. J., and Conover, W. J.: A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code, *Technometrics*, 21, 239–245, 1979.

¹¹ Galmarini, S., Kioutsioukis, I., and Solazzo, E.: E pluribus unum*: ensemble air quality predictions, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 7153–7182, doi:10.5194/acp-13-7153-2013, 2013.

Pouliot, G., Pierce, T., Denier van der Gon, H., Schaap, M., Moran, M., and Nopmongcol, U.: Comparing Emissions Inventories and Model-Ready Emissions Datasets between Europe and North America for the AQMEII Project, *Atmos. Environ.*, 53, 4–14, 2012.

Schere, K., Flemming, J., Vautard, R., Chemel, C., Colette, A., Hogrefe, C., Bessagnet, B., Meleux, F., Mathur, R., Roselle, S., Hu, R.-M., Sokhi, R. S., Rao, S. T., and Galmarini, S.: Trace gas/aerosol boundary concentrations and their impacts on continental-scale AQMEII modeling domains, *Atmos. Environ.*, 53, 38–50, 2012.

Solazzo, E., Bianconi, R., Vautard, R., Appel, K. W., Moran, M. D., Hogrefe, C., Bessagnet, B., Brandt, J., Christensen, J. H., Chemel, C., Coll, I., Denier van der Gon, H., Ferreira, J., Forkel, R., Francis, X. V., Grell, G., Grossi, P., Hansen, A. B., Jeri'cvi'c, A., Kraljevi'c, L., Miranda, A. I., Nopmongcol, U., Pirovano, G., Prank, M., Riccio, A., Sartelet, K. N., Schaap, M., Silver, J. D., Sokhi, R. S., Vira, J., Werhahn, J., Wolke, R., Yarwood, G., Zhang, J., Rao, S., and Galmarini, S.: Model evaluation and ensemble modelling of surface-level ozone in Europe and North America in the context of AQMEII, *Atmos. Environ.*, 53, 60–74, 2012a.

Solazzo, E., Bianconi, R., Pirovano, G., Matthias, V., Vautard, R., Moran, M. D., Wyatt Appel, K., Bessagnet, B., Brandt, J., Christensen, J. H., Chemel, C., Coll, I., Ferreira, J., Forkel, R., Francis, X. V., Grell, G., Grossi, P., Hansen, A. B., Miranda, A. I., Nopmongcol, U., Prank, M., Sartelet, K. N., Schaap, M., Silver, J. D., Sokhi, R. S., Vira, J., Werhahn, J., Wolke, R., Yarwood, G., Zhang, J., Rao, S. T., and Galmarini, S.: Operational model evaluation for particulate matter in Europe and North America in the context of AQMEII, *Atmos. Environ.*, 53, 75–92, 2012b.

Schere, K., Flemming, J., Vautard, R., Chemel, C., Colette, A., Hogrefe, C., Bessagnet, B., Meleux, F., Mathur, R., Roselle, S., Hu, R.-M., Sokhi, R. S., Rao, S. T., and Galmarini, S.: Trace gas/aerosol boundary concentrations and their impacts on continental-scale AQMEII modeling domains, *Atmos. Environ.*, 53, 38–50, 2012.

<i>nel set up delle simulazioni</i>	
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Scala continentale
Risoluzione spaziale	Vedi quanto detto per il set-up dei modelli ²
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	Sono a disposizione simulazioni annuali, ma è presentata un'analisi su un sotto-periodo di tre mesi: JJA (June–July–August)
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	Oraria
Variabili trattate	O ₃ , NO ₂ , PM10
Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ media aritmetica dell'ensemble (mme) ✓ media aritmetica del sottoinsieme ottimale di modelli (mmeS) che ottimizza le prestazioni sulla base di due approcci nella decomposizione dell'errore: bias–variance–covariance decomposition, accuracy–diversity decomposition ✓ optimally weighted combination (mmeW)¹²
Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i>	SI (per i metodi che lo richiedono) Il tema della spazializzazione non è trattato i risultati sono presentati solo nei punti di monitoraggio
Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i>	SI Indicatori utilizzati <ul style="list-style-type: none"> • Correlazione, RMSE, Standard deviation ratio, Hit Rate • Cfd (Cumulative density function) delle osservazioni e dei modelli • Cfd del rapporto tra l'RMSE dei due metodi (mmeS ed mmeW) e quello di mme • Cfd dell'Hit rate • Taylor plot con classificazione dei punti in base all'RMSE

¹² Potempski, S. and Galmarini, S.: Est modus in rebus: analytical properties of multi-model ensembles, Atmos. Chem. Phys., 9, 9471–9489, doi:10.5194/acp-9-9471-2009, 2009.

	<ul style="list-style-type: none"> • RMSE per tutte le possibili combinazioni di modelli • Talagrand diagrams ¹³ • Accuracy e Diversity <p>Sotto-campionamento delle misure nel tempo: training data set (2/3 dei record a disposizione) e test data set (1/3 dei record a disposizione)</p>
<p>Interesse dell'articolo BASSO/MEDIO/ALTO <i>con particolare riferimento alle finalità di</i> PULVIRUS</p>	<p style="text-align: center;">MEDIO/ALTO</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Il paper ha l'obiettivo di dimostrare come l'utilizzo di simulazioni indipendenti sia un valore aggiunto. 5. La validazione è ricca di interessanti spunti. <p style="text-align: center;">Punto debole:</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Non è trattato il tema della spazializzazione dei risultati.
<p style="text-align: center;">Altro</p>	

¹³ Talagrand, O., Vautard, R., and Strauss, B.: Evaluation of probabilistic prediction systems, Workshop proceedings "Workshop on predictability", 20–22 October 1997, ECMWF, Reading, UK, 1999.

Krishnamurti et al. (2016)

<p>Riferimento bibliografico</p>	<p>Krishnamurti, T.N., Kumar, V., Simon, A., Bhardwaj, A., Ghosh, T., Ross, R., 2016. A review of multimodel superensemble forecasting for weather, seasonal climate, and hurricanes. <i>Rev. Geophys.</i> 54, 336–377. https://doi.org/10.1002/2015RG000513</p>
<p>Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i></p>	<p>Teorico/Review</p>
<p>Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i></p>	<p>Forecast + hindcast (per addestramento)</p>
<p>Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble</p>	<p>N.D. Sono riportati, a titolo di esempio, alcuni casi applicativi. i) Il primo, puramente teorico, è basato sul modello di Lorenz semplificato e simulazioni relative a 10 modelli, ottenute perturbando i parametri dell'equazione stessa; ii) Il secondo riguarda la previsione della localizzazione geografica degli uragani, applicato al caso dell'uragano Lenny (1999), usando quattro modelli di forecast; iii) Applicazione di superensemble multimodel per previsioni a medio termine a livello globale per variabili come vento, temperatura, umidità e precipitazioni: n. 7 modelli, ciascuno dei quali effettua 92 ore di previsione a partire dalle 12:00 UTC (agosto 1998). iv) Previsioni di superensemble relativamente alle precipitazioni monsoniche nell'area dell'India (30 giorni, settembre 2007). In questo caso, la tecnica del superensemble ha mostrato vantaggi su previsione e durata dei periodi di siccità. v) Progettazione di un singolo algoritmo di parametrizzazione dei cumuli che usa sei schemi di parametrizzazione, all'interno di un unico modello di previsione. I pesi (per ciascuna cella, livello verticale e per istante di previsione) sono stati calcolati mediante addestramento (da aprile a giugno 2000) di un superensemble multimodello. vi) Valutazione dei possibili impatti previsti (su flussi di calore, ecc.) di 5 schemi di PBL all'interno di un singolo modello unificato, per la costruzione del superensemble multimodello (v. punto precedente). vii) Rassegna di altre applicazioni simili.</p>
<p>Tipo di modelli</p>	<p>La metodologia è mirata alle applicazioni di forecast meteorologico, anche riguardo ad aspetti climatici, e alla previsione di uragani.</p>

<p>Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i></p>	<p>N.D.</p>
<p>Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i></p>	<p>Sono considerate sia applicazioni a mesoscala, che a scala più ampia (clima).</p>
<p>Risoluzione spaziale</p>	<p>Multiscala</p>
<p>Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i></p>	<p>Multiscala</p>
<p>Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i></p>	<p>Dipendente dall'applicazione</p>
<p>Variabili trattate</p>	<p>Meteorologiche e micrometeorologiche</p>
<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>L'ensemble è determinato da un algoritmo simile a quelli di intelligenza artificiale. Il metodo necessita di un addestramento preliminare e confronto con le osservazioni, per determinare i pesi da assegnare ai vari modelli dell'ensemble, dipendenti dal tempo, dallo spazio e dalla quota; questi parametri sono poi impiegati per attività di forecast. La base della costruzione del superensemble è la minimizzazione ai minimi quadrati, procedura che riduce gli errori quadratici medi. Il metodo si presta ad affrontare problematiche ad ampio spettro ed è applicabile anche ad un singolo modello, per testare eventualmente diverse parametrizzazioni.</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>SÌ Vari tipi di osservazioni, in funzione della specifica applicazione.</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>Sono genericamente usati indicatori basati su RMSE, correlazione, CSI (Critical Success Index), ETS (Equitable Threat Scores, https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/6.4+Relative+Skill+of+IFS+Models), track error. CSI = a / (a + b + c), where a = Hit, b = False Alarm and c = Miss</p>
<p>Interesse dell'articolo <i>BASSO/MEDIO/ALTO con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>MEDIO Potrebbe potenzialmente essere utile per definire un output di ensemble opportunamente pesato, che consenta di riprodurre al meglio i dati della rete di stazioni durante il lockdown. C'è però bisogno di</p>



	addestramento e quindi sono necessarie simulazioni aggiuntive per perseguire lo scopo, insieme alla realizzazione di un tool di post-processamento: il tutto rende necessario un impegno di risorse aggiuntivo.
Altro	

Kumar et al. (2020)

Riferimento bibliografico	Kumar, R., Alessandrini, S., Hodzic, A., Lee, J.A., 2020. A Novel Ensemble Design for Probabilistic Predictions of Fine Particulate Matter Over the Contiguous United States (CONUS). J. Geophys. Res. Atmos. 125. https://doi.org/10.1029/2020JD032554
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Applicazione
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Forecast di PM2.5
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	24 Si testa anche l'effetto di utilizzare un sotto-insieme (9)
Tipo di modelli	Chemical transport model (CTM)
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	Lo stesso modello (CMAQ) è stato utilizzato per produrre 24 diverse simulazioni, così ottenute: utilizzando 3 diversi input meteorologici e, per ognuno di essi, modificando le emissioni antropogeniche (utilizzando due inventari emissivi alternativi a quello del caso base), le emissioni biogeniche (utilizzando un modello emissivo alternativo a quello del caso base), le emissioni da fuochi (emissioni aumentate del 100% rispetto al caso base), i processi di formazione del SOA (tre diverse perturbazioni rispetto al caso base).
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Dominio che ricopre i Contiguous United States (CONUS)
Risoluzione spaziale	12 km
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	4 mesi: Gennaio, Aprile, Luglio, Ottobre 2006
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	Oraria
Variabili trattate	PM2.5

<p style="text-align: center;">Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>L'ensemble viene fornito in 2 diversi modi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • media dei 24 membri originali, i.e. non post-processati (raw) • media dei 24 membri, dopo che a ciascuno è stato applicato un processo di calibrazione, in due steps: i) rimozione del bias utilizzando una tecnica di regressione lineare, basata sui metodi standard di MOS (Model Output statistics)¹⁴; ii) aggiustamento dello spread dell'ensemble utilizzando il metodo del deficit della varianza¹⁵.
<p style="text-align: center;">Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p style="text-align: center;">SI</p> <p>(solo per quanto riguarda il metodo "calibrato") Il tema della spazializzazione non è trattato. Viene detto espressamente che la calibrazione è applicata solo nei punti di osservazione e che la correzione non è propagata agli altri punti del dominio.</p>
<p style="text-align: center;">Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto- campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p style="text-align: center;">SI</p> <p>La validazione, tramite confronto con i dati misurati, si basa su:</p> <ul style="list-style-type: none"> • confronto degli andamenti temporali: andamento delle medie giornaliere nel mese; andamento delle medie al variare del tempo di forecast; • Coefficiente di Correlazione, MB, RMSE per ciascun membro dell'ensemble e ciascuno dei due ensemble, al variare del mese e della zona geografica; • BIAS ed RMSE al variare del tempo del forecast; • Spread/skill diagram¹⁶; • CRPS (Continuous Ranked Probability Score)¹⁷ al variare del tempo del forecast. <p>È stato utilizzato un approccio leave-one-out per validare su dati indipendenti.</p>
<p style="text-align: center;">Interesse dell'articolo BASSO/MEDIO/ALTO <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p style="text-align: center;">MEDIO/ALTO</p> <p style="text-align: center;">Motivi di interesse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il paper si basa sull'utilizzo di un solo modello ed è modificando il set-up (input meteorologico, emissioni, parametrizzazioni chimiche), che viene creato il campione di simulazioni da mediare nell'ensemble. • La validazione è ricca di molti spunti.

¹⁴ Wilks, D. S. (2011). Statistical methods in the atmospheric sciences (3rd ed., Vol. 100). Cambridge, MA: Academic Press.

¹⁵ Sperati, S., Alessandrini, S., & Delle Monache, L. (2016). An application of the ECMWF ensemble prediction system for short-term solar power forecasting. Solar Energy, 133, 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.04.016>.

¹⁶ Hopson, T. M. (2013). Assessing the ensemble spread–error relationship. Monthly Weather Review, 142(3), 1125–1142. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-12-00111.1>.

¹⁷ Carney, M. & Cunningham, P. (2006). Evaluating density forecasting models. Dublin: Trinity College Dublin, Department of Computer Science. TCD-CS-2006–21, p. 12. <http://www.tara.tcd.ie/handle/2262/13502>.



	<p>Punto debole</p> <ul style="list-style-type: none">• Non è escluso che le variazioni emissive proposte per costruire il campione di simulazioni siano di un'entità paragonabile a quella che distingue le due simulazioni BASE e LOCKDOWN.
<p>Altro</p>	



Marécal et al. (2015)

Riferimento bibliografico	Marécal, V., Peuch, V.-H., Andersson, C., Andersson, S., Arteta, J., Beekmann, M., Benedictow, A., Bergström, R., Bessagnet, B., Cansado, A., Chéroux, F., Colette, A., Coman, A., Curier, R.L., Denier van der Gon, H.A.C., Drouin, A., Elbern, H., Emili, E., Engelen, R.J., Eskes, H.J., Foret, G., Friese, E., Gauss, M., Giannaros, C., Guth, J., Joly, M., Jaumouillé, E., Josse, B., Kadygrov, N., Kaiser, J.W., Krajsek, K., Kuenen, J., Kumar, U., Liora, N., Lopez, E., Malherbe, L., Martinez, I., Melas, D., Meleux, F., Menut, L., Moinat, P., Morales, T., Parmentier, J., Piacentini, A., Plu, M., Poupkou, A., Queguiner, S., Robertson, L., Rouïl, L., Schaap, M., Segers, A., Sofiev, M., Tarasson, L., Thomas, M., Timmermans, R., Valdebenito, Á., van Velthoven, P., van Versendaal, R., Vira, J., Ung, A., 2015. A regional air quality forecasting system over Europe: the MACC-II daily ensemble production. <i>Geosci. Model Dev.</i> 8, 2777–2813. https://doi.org/10.5194/gmd-8-2777-2015
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Applicazione
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Forecast fino a 96 h
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	7 (anno 2015)
Tipo di modelli	Modelli euleriani e ibridi (semi-lagrangiani) a mesoscala e scala regionale: CHIMERE, EMEP, EURAD-IM, LOTOS-EUROS, MATCH, MOCAGE e SILAM
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	I modelli condividono: BC (da C-IFS), meteo (IFS), emissioni (TNO e GFAS). Ciascun modello usa il proprio schema di calcolo/database per la valutazione delle emissioni biogeniche e naturali (dust e sale marino).
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Europa (da 25W a 45 E e da 30N a 70 N).
Risoluzione spaziale	Da 10 a 20 km La risoluzione orizzontale e verticale ed il top del dominio variano da modello a modello.
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	Annuale e multi-annuale

<p>Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i></p>	<p>1 ora</p>
<p>Variabili trattate</p>	<p>O₃, NO, NO₂, SO₂, NH₃, CO, PAN, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5}, pollini di betulla. L'analisi è principalmente focalizzata sull'ozono (massimi giornalieri della media mobile su 8 ore, anche in relazione alla soglia di 120 µg/m³) e contiene un accenno agli score del PM₁₀.</p>
<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>Ensemble modellistico basato sulla mediana. Questo indicatore si è dimostrato: i) statisticamente robusto, ovvero relativamente indipendente dall'assenza di previsioni da uno o due modelli; ii) capace di gestire gli outliers; iii) computazionalmente molto efficiente; iv) estremamente efficace nell'ottimizzare le prestazioni dell'ensemble, rispetto alle osservazioni. Le sintesi statistiche presentate nell'articolo si basano su sette previsioni consecutive di 96 ore eseguite ogni giorno.</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>NO I modelli eseguono il forecast senza assimilazione. L'uso di assimilazione delle osservazioni al suolo, sia 3D che 4D, è limitato alle sole analisi, che vengono prodotte a posteriori, una volta disponibili di dati di AQ delle stazioni per il giorno intero; l'assimilazione deve essere completata entro le 11:30 del giorno D0, per il giorno D0-1.</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>SÌ MB, RMSE, MNMB, FGE (MNMB in valore assoluto), correlazione.</p>
<p>Interesse dell'articolo <i>BASSO/MEDIO/ALTO con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>MEDIO/ALTO Considerata la disponibilità in PULVIRUS di due soli modelli, questo metodo non può essere purtroppo applicato, almeno a livello nazionale.</p>
<p>Altro</p>	<p>Questo è il metodo attualmente implementato in CAMS.</p>

McKeen et al. (2005)

<p>Riferimento bibliografico</p>	<p>McKeen, S., Wilczak, J., Grell, G., Djalalova, I., Peckham, S., Hsie, E.-Y., Gong, W., Bouchet, V., Menard, S., Moffet, R., McHenry, J., McQueen, J., Tang, Y., Carmichael, G.R., Pagowski, M., Chan, A., Dye, T., Frost, G., Lee, P., Mathur, R., 2005. Assessment of an ensemble of seven real-time ozone forecasts over eastern North America during the summer of 2004. J. Geophys. Res. 110, D21307. https://doi.org/10.1029/2005JD005858</p>
<p>Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i></p>	<p>Applicazione</p>
<p>Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i></p>	<p>Forecast</p>
<p>Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble</p>	<p>7 modelli real-time ensemble forecast</p>
<p>Tipo di modelli</p>	<p>On-line (WRF-CHEM) e off-line (STEM, AURAMS, BAMS, BARON, CHRONOS, CMAQ) CTM</p>
<p>Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i></p>	<p>Hanno tutti schemi chimici, risoluzione, meteorologia e BC differenti.</p>
<p>Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i></p>	<p>Est del nord America e Canada sud-est.</p>
<p>Risoluzione spaziale</p>	<p>Range 12-45 km</p>
<p>Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i></p>	<p>Estate 2004</p>
<p>Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i></p>	<p>Oraria</p>
<p>Variabili trattate</p>	<p>Ozono</p>
<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>Sono calcolati gli indici statistici standard (r, RMSE, bias), applicati sia a ciascun modello che all'ensemble. È anche valutato l'impatto in termini statistici di tecniche di aggiustamento dell'output (correzione del bias e normalizzazione del dato): sono testate separatamente le influenze dei due tipi di aggiustamento, che possono venire applicati sia a monte dell'ensemble (a valle, cioè, dell'output di ciascun modello), che a valle della produzione</p>

	<p>dell'ensemble. La statistica è applicata al dato medio, alla mediana, ma anche ai massimi giornalieri e ai massimi delle medie mobili su 8 ore; sono valutati gli effetti dei suddetti aggiustamenti sui superamenti delle soglie, probabilità di identificazione dell'episodio critico di superamento e falsi allarmi.</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>SÌ sono usati i dati delle osservazioni per calcolare le correzioni (bias e scaling) da applicare agli output modellistici o all'ensemble.</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>R (Pearson), RMSE, BIAS, varianza temporale (collegata a R), statistiche di soglia (probability of detection (POD), false alarm rate (FAR), critical success index (CSI), and the bias ratio)</p>
<p>Interesse dell'articolo BASSO/MEDIO/ALTO <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>Riguardo a Pulvirus: MEDIO-ALTO Ensemble modeling in generale: MEDIO-ALTO</p>
<p>Altro</p>	<p>L'articolo prende in considerazione, tra gli altri modelli, il codice STEM, padre del codice FARM. Questo è ulteriore motivo dell'interesse dell'articolo per i nostri scopi. Sono molto intriganti le analisi condotte sulla modalità di introduzione delle correzioni (offset e fattore di scala) e, in particolare, per quanto concerne le differenze implicate dall'applicarle a monte o a valle dell'estrazione dell'ensemble. Parimenti interessanti le investigazioni riguardo all'impatto sugli indicatori a soglia. Vale la pena segnalare che, sorprendentemente, la correzione del bias tramite il fattore di scala migliora gli score statistici, ma impatta negativamente sulle statistiche di soglia, nella maggior parte dei casi. Un limite del lavoro (peraltro evidenziato dagli autori) è l'aver considerato suite modellistiche eterogenee, una diversa dall'altra nel set-up. Ciò consente di capire l'origine delle differenze con le osservazioni e le rispettive entità; in altri termini, non si riescono a discriminare gli errori sulla meteo, da quelli introdotti mediante le BC, dall'influenza del passo di griglia, dello schema chimico usato, ecc.</p>

Monteiro et al. (2013)

Riferimento bibliografico	Monteiro, A., Ribeiro, I., Tchepel, O., Carvalho, A., Martins, H., Sá, E., Ferreira, J., Martins, V., Galmarini, S., Miranda, A.I., Borrego, C., 2013. Ensemble Techniques to Improve Air Quality Assessment: Focus on O ₃ and PM. Environ Model Assess 18, 249–257. https://doi.org/10.1007/s10666-012-9344-0
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Applicazione
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Forecast di O ₃ e PM sul Portogallo
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	5
Tipo di modelli	Chemical transport models (CTMs)
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	Stesse emissioni e stessa risoluzione spaziale (5 km), diversi driver meteorologici, diversi schemi chimici, diverse parametrizzazioni, diverse condizioni al contorno
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Scala regionale Dominio che ricopre il Portogallo
Risoluzione spaziale	5 km
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	1 mese: Luglio 2006
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	Oraria
Variabili trattate	O ₃ PM10

<p style="text-align: center;">Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>L'ensemble viene fornito con 4 diversi metodi.</p> <p>a) MED: mediana</p> <p>b) SLR (Static Linear Regression): media pesata dei risultati dei modelli, dove i pesi, costanti nel tempo, sono calcolati tramite regressione lineare</p> <p>c) DLR (Dynamic Linear Regression): media pesata dei risultati dei modelli, dove i pesi, variabili nel tempo, sono calcolati tramite regressione lineare applicata ogni giorno ai dati degli n giorni precedenti (sono stati testati i risultati per n=1,4,7 e si è scelto n=7)</p> <p>d) BMA (Bayesian Model Averaging): dove la distribuzione di probabilità dell'ensemble è la media pesata delle distribuzioni dei singoli modelli.</p> <p>Sia in b) che in c) i pesi sono calcolati per ogni punto di misura a disposizione (e non si tratta il tema della spazializzazione di questi valori negli altri punti del dominio). In c) è testato anche il calcolo di un unico set di pesi, omogeneo su tutto il dominio.</p>
<p style="text-align: center;">Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p style="text-align: center;">SI</p> <p>per le tecniche di ottimizzazione che lo richiedono</p> <p>Sono utilizzati dati sparsi nel tempo e nello spazio. I pesi calcolati sono costanti nel tempo in b) variabili in c), variabili nello spazio in b) sia variabili nello spazio che costanti in c).</p>
<p style="text-align: center;">Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto- campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p style="text-align: center;">SI</p> <p>Sono utilizzati per il confronto, sia per O₃ che per PM10, i dati di 22 stazioni di fondo.</p> <p>Output utilizzati:</p> <ul style="list-style-type: none"> • confronto di andamenti temporali • Taylor Plot • Talagrand diagram¹⁸ • Relative Operating Characteristic (ROC) diagram. <p>Per il caso b) non è chiaro se il periodo di validazione sia distinto da quello di training e quindi se le misure utilizzate per il confronto siano indipendenti da quelle usate per l'ottimizzazione.</p>
<p style="text-align: center;">Interesse dell'articolo BASSO/MEDIO/ALTO <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p style="text-align: center;">MEDIO</p> <p>Principali motivi di interesse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le simulazioni hanno diversi set up modellistici • Sono presentati, a parte la mediana, metodi per l'ensemble molto diversi tra loro (b) e c) vs d)) <p>Principale punto debole:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il periodo di studio è molto breve (1 mese)

¹⁸ Talagrand, O., Vautard, R., Strauss, B. (1998). Evaluation of probabilistic prediction systems. Proceedings of the Seminar on Predictability, Reading, UK, ECMWF (pp. 1–26).



<p>Altro</p>	
---------------------	--

Pagowski et al. (2005)

Riferimento bibliografico	Pagowski, M., Grell, G.A., McKeen, S.A., Dévényi, D., Wilczak, J.M., Bouchet, V., Gong, W., McHenry, J., Peckham, S., McQueen, J., Moffet, R., Tang, Y., 2005. A simple method to improve ensemble-based ozone forecasts. Geophys. Res. Lett. 32, L07814. https://doi.org/10.1029/2004GL022305
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Applicazione
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Forecast di ozono per i mesi di Luglio e Agosto 2004
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	7
Tipo di modelli	Chemical transport models (CTMs)
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	Diversi driver meteorologici, diversi schemi chimici, diversi sia gli inventari emissivi che il processamento delle emissioni
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Est USA e Sud Canada (non vengono forniti altri dettagli sulla collocazione ed estensione del dominio di applicazione)
Risoluzione spaziale	Diverse risoluzioni spaziali per i diversi modelli: passo di griglia da un minimo di 12 km ad un massimo di 45 km
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	Due mesi (Luglio e Agosto 2004)
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	Oraria
Variabili trattate	Ozono (massimo giornaliero delle medie mobili su 8 ore)

<p style="text-align: center;">Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p style="text-align: center;">Media pesata dei modelli.</p> <p>I pesi sono calcolati tramite una tecnica di minimizzazione dell'errore (differenza quadratica tra valore dell'ensemble e misura).</p> <p>Le prestazioni sono confrontate, oltre che con quelle dei singoli modelli, anche con quelle dell'ensemble calcolato come media dei 7 modelli.</p>
<p style="text-align: center;">Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p style="text-align: center;">SI</p> <p>Sono usati i dati misurati da più di 350 stazioni.</p> <p>Il processo di minimizzazione dell'errore per il calcolo dei pesi ottimali è applicato su tutti i dati di misura a disposizione nel periodo di training (al variare dello spazio e del tempo) ma il risultato è un unico set di pesi da applicare sull'intero dominio per il giorno successivo al periodo di training.</p> <p>Si ottengono così pesi variabili nel tempo (per ogni giorno i pesi vengono ricalcolati sul periodo di training corrispondente ai giorni precedenti) ma omogenei su tutto il dominio.</p> <p>È testato l'effetto della lunghezza del periodo di training (da 1 a 30 giorni) sia sulla variabilità giornaliera dei pesi che sulle prestazioni complessive dell'ensemble.</p> <p>Rispetto alla variabilità giornaliera, essa, come prevedibile, diminuisce all'aumentare della lunghezza del periodo di training. Gli autori propongono di usare un lungo periodo di training se il fine è produrre medie a lungo termine, mentre un periodo di training più breve risulta più appropriato per descrivere la variabilità giornaliera delle concentrazioni di ozono.</p> <p>Alla luce delle prestazioni, tramite confronto con i dati di misura, gli autori propongono un periodo di training di 1 giorno.</p> <p style="text-align: center;">Il tema della spazializzazione non è trattato.</p> <p>Si cita la possibilità di calcolare pesi variabili nello spazio, corrispondenti al processo di ottimizzazione applicato sui singoli punti griglia dove ricadono le misure.</p> <p>Ma si dice che in questo caso si produrrebbero i risultati solo per quei punti. Non si parla quindi della possibilità di spazializzare i risultati discreti una volta ottenuti.</p>
<p style="text-align: center;">Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto- campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>La validazione, tramite confronto con i dati misurati, si basa sugli indicatori RMSE, BIAS, IoA, Correlazione.</p> <p>Il periodo di validazione è distinto da quello di training quindi le misure utilizzate per il confronto sono indipendenti da quelle usate per l'ottimizzazione.</p> <p>È presentata anche una valutazione della bontà della regressione lineare utilizzata per calcolare i pesi. Gli indicatori utilizzati in questo caso sono MSE, R^2 ed F ratio.</p>



<p>Interesse dell'articolo BASSO/MEDIO/ALTO <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>MEDIO/ALTO</p> <p>Principali motivi di interesse:</p> <ol style="list-style-type: none">6. Le simulazioni hanno diversi set up modellistici7. La tecnica utilizzata per produrre la media pesata è ben descritta e documentata <p>Principale punto debole:</p> <ol style="list-style-type: none">3. Il periodo di studio è molto breve (2 mesi) e caratterizzato da rari casi di elevate concentrazioni di ozono
<p>Altro</p>	<p>Tra i modelli utilizzati c'è anche STEM, da cui deriva FARM</p>

Riccio et al. (2012)

Riferimento bibliografico	Riccio, A., Ciaramella, A., Giunta, G., Galmarini, S., Solazzo, E., Potempski, S., 2012. On the systematic reduction of data complexity in multimodel atmospheric dispersion ensemble modeling. <i>J. Geophys. Res.</i> 117, D5. https://doi.org/10.1029/2011JD016503
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Teorico/Applicazione
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Applicazione hindcast I modelli simulano l'esperienza di rilascio di traccianti ETEX-1. Il 23 ottobre 1994, 340 kg di gas perfluoro-metil-ciclo-esano furono emessi ininterrottamente per 12 h a partire dalle 16:00 UTC, in cima alla torre alta 8 m situata a Monterfil, a circa 30 Km da Rennes, in Francia.
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	26
Tipo di modelli	Modelli regionali lagrangiani, euleriani e lagrangiani a puff. Nell'articolo non vengono presentati questi 26 modelli, in quanto l'approccio è prettamente statistico. Si rimanda alla bibliografia ¹⁹
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	I modelli simulano l'esperienza di rilascio di traccianti ETEX-1, per cui condividono la stessa sorgente di emissione. Leggendo un po' di bibliografia, si capisce che l'input meteo non dovrebbe essere lo stesso per tutti.
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Dominio a scala regionale (Europa, centrato su Francia e Germania)
Risoluzione spaziale	0.5°x0.5°
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	60 ore
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	3 ore La cadenza di 3 ore è imposta da quella delle osservazioni.
Variabili trattate	Tracciante generico.

¹⁹ Galmarini, S., Bianconi, R., Addis, R., Andronopoulos, S., Astrup, P., Bartzis, J.C., Bellasio, R., Buckley, R., Champion, H., Chino, M., D'Amours, R., Davakis, E., Eleveld, H., Glaab, H., Manning, A., Mikkelsen, T., Pechinger, U., Polreich, E., Prodanova, M., Slaper, H., Syrakov, D., Terada, H., Van der Auwera, L., 2004. Ensemble dispersion forecasting—Part II: application and evaluation. *Atmospheric Environment* 38, 4619–4632. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.05.031>

<p style="text-align: center;">Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>Il riferimento dell'ensemble modellistico è la mediana calcolata sull'ensemble.</p> <p>Nell'articolo si osserva che i modelli potrebbero fornire dati tra loro correlati (la meteorologia, ad es., può essere simile, così come la micrometeorologia). Si esplora, quindi, la possibilità di ottenere un sotto-ensemble di alta qualità, costituito da un sottoinsieme di modelli; l'obiettivo è evitare l'uso di informazioni ridondanti e ottenere benefici nell'efficienza di calcolo dell'ensemble.</p> <p>La selezione è condotta mediante una tecnica di clustering, basata sull'analisi dei relativi dendrogrammi; l'accorpamento dei modelli è eseguito definendo preventivamente una metrica che dia una misura della "distanza" tra le prestazioni di due singoli modelli. Sono ipotizzati due metodi per il calcolo di tale distanza: i) il primo ("uncorrelation distance") è basato sulla matrice di covarianza relativa ad una coppia di modelli (che non è, a rigore, una vera e propria metrica, perché non soddisfa né la condizione di triangolazione, né quella di indiscernibilità); ii) il secondo ("mutual information") è, invece, basato sulla teoria dell'informazione e la distanza è stimata a partire dalla definizione di entropia congiunta e mutua informazione. A ciascun cluster, viene assegnato il modello di riferimento, definito come quello che si discosta meno, in termini di metrica, dal "cluster centroid", calcolato come media.</p> <p>Una volta eseguito il clustering, si ricorre ancora alla mediana del sottoinsieme di modelli individuato, per ottenere l'ensemble.</p> <p>La metodica adottata è prettamente statistica e non considera in alcun modo fenomeni fisici alla base dei risultati.</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p style="text-align: center;">SÌ</p> <p>Sono usate serie temporali tritorarie su recettori spaziali.</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p style="text-align: center;">SÌ</p> <p>Root Mean Square Error (RMSE), correlation coefficient (CC), FA2, FA5 and FOEX</p>
<p>Interesse dell'articolo BASSO/MEDIO/ALTO <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p style="text-align: center;">BASSO/MEDIO</p> <p>I motivi sono legati alla disponibilità in PULVIRUS di due sole simulazioni</p>



<p>Altro</p>	<p>Nell'applicazione, il metodo di clustering sembrerebbe abbastanza robusto, nel senso che sembra dipendere molto poco dalla metrica scelta.</p>
---------------------	---

Sofiev et al. (2017)

<p>Riferimento bibliografico</p>	<p>Sofiev, M., Ritenberga, O., Albertini, R., Arteta, J., Belmonte, J., Bernstein, C.G., Bonini, M., Celenk, S., Damialis, A., Douros, J., Elbern, H., Friese, E., Galan, C., Oliver, G., Hrga, I., Kouznetsov, R., Krajsek, K., Magyar, D., Parmentier, J., Plu, M., Prank, M., Robertson, L., Steensen, B.M., Thibaudon, M., Segers, A., Stepanovich, B., Valdebenito, A.M., Vira, J., Vokou, D., 2017. Multi-model ensemble simulations of olive pollen distribution in Europe in 2014: current status and outlook. Atmos. Chem. Phys. 17, 12341–12360. https://doi.org/10.5194/acp-17-12341-2017</p>
<p>Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i></p>	<p>Applicazione</p>
<p>Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i></p>	<p>Forecast <i>(The ensemble was constructed to mimic the forecasting mode)</i></p>
<p>Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble</p>	<p>6</p>
<p>Tipo di modelli</p>	<p>Modelli euleriani e ibridi (semi-lagrangiani) a mesoscala e scala regionale: EMEP, EURAD-IM, LOTOS-EUROS, MATCH, MOCAGE e SILAM</p>
<p>Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i></p>	<p>I modelli usano lo stesso modello di produzione di polline da olivi (quello di Sofiev). La distribuzione delle piante di olivo è determinata sulla base delle mappe ECOCLIMAC, che incorpora il CORINE landuse per parecchi paesi dell'Europa occidentale. La produzione di pollini non è la stessa per tutti i modelli, ma dipende da temperatura al suolo, umidità, vento, turbolenza e pioggia.</p>
<p>Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i></p>	<p>Europa (da 25W a 45 E e da 30N a 70 N)</p>
<p>Risoluzione spaziale</p>	<p>Da 10 a 20 km La risoluzione orizzontale e verticale ed il top del dominio variano da modello a modello.</p>
<p>Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i></p>	<p>Anno 2014, stagione di produzione di pollini.</p>
<p>Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i></p>	<p>1 ora</p>
<p>Variabili trattate</p>	<p>Numero di pollini di olivo per unità di volume</p>
<p>Indicatori/Metodo</p>	<p>L'ensemble è calcolato mediante tre metodi: i) come</p>

<p>per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>media; ii) come mediana; iii) usando un metodo di minimizzazione dell'errore quadratico medio, che usa due parametri per filtrare il rumore. Quest'ultimo metodo porta alla determinazione di coefficienti che dipendono dal periodo di addestramento (sono usati 5 giorni precedenti) e dal tempo cui si riferisce il forecast (fino a 96 ore): i coefficienti, che forniscono essenzialmente il contributo di ciascun modello, sono scarsamente variabili passando dal primo al quarto giorno di forecast. Il terzo metodo si è rivelato più accurato, rispetto alle tecniche di media o mediana dell'ensemble.</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>SÌ Le osservazioni (anno 2014) per lo studio sono state fornite dalle otto reti nazionali dei seguenti membri dell'EAN: Croazia, Grecia, Francia, Ungheria, Israele, Italia, Spagna e Turchia. I dati sono su base giornaliera.</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>SÌ La validazione è condotta con tecniche standard: estrazione di coefficiente di correlazione, bias, errore quadratico medio (RMSE). Due altri parametri fondamentali, l'inizio e la fine della produzione di polline, sono stati inclusi nell'analisi.</p>
<p>Interesse dell'articolo BASSO/MEDIO/ALTO <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>BASSO/MEDIO Tratta i pollini, che non sono di interesse per PULVIRUS. Il modello proposto può tuttavia fornire spunti per altri algoritmi applicabili agli inquinanti convenzionali.</p>
<p>Altro</p>	



Solazzo et al. (2012)

<p>Riferimento bibliografico</p>	<p>Solazzo, E., Bianconi, R., Vautard, R., Appel, K.W., Moran, M.D., Hogrefe, C., Bessagnet, B., Brandt, J., Christensen, J.H., Chemel, C., Coll, I., Denier van der Gon, H., Ferreira, J., Forkel, R., Francis, X.V., Grell, G., Grossi, P., Hansen, A.B., Jeričević, A., Kraljević, L., Miranda, A.I., Nopmongkol, U., Pirovano, G., Prank, M., Riccio, A., Sartelet, K.N., Schaap, M., Silver, J.D., Sokhi, R.S., Vira, J., Werhahn, J., Wolke, R., Yarwood, G., Zhang, J., Rao, S.T., Galmarini, S., 2012. Model evaluation and ensemble modelling of surface-level ozone in Europe and North America in the context of AQMEII. Atmospheric Environment 53, 60–74. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.01.003</p>
<p>Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i></p>	<p>Applicazione</p>
<p>Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i></p>	<p>Simulazione annuale (hindcast) per l'anno 2006 svolta nell'ambito delle attività dell'esercizio di intercomparison di AQMEII</p>
<p>Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble</p>	<p>Sono a disposizione 11 simulazioni sul dominio Europeo (EU) 7 simulazioni sul dominio del Nord America (NA)</p> <p>Sono presentate applicazioni su sottogruppi Uno degli obiettivi del paper è anche l'analisi del numero ottimale di simulazioni che ottimizza le prestazioni dell'ensemble</p>
<p>Tipo di modelli</p>	<p>Chemical transport models (CTMs)</p>
<p>Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i></p>	<p>Sia le simulazioni sul dominio EU che quelle sul dominio NA hanno potuto contare su meteorologia, emissioni e condizioni al contorno comuni Consentito comunque, per ciascuna delle tre tipologie di input, l'uso di dati propri</p> <p>Rispetto alle emissioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ sul dominio EU sono stati forniti dati grigliati e modulati nel tempo ma non sono stati forniti dati per le emissioni biogeniche (stimate autonomamente nell'ambito di ciascuna simulazione) ✓ sul dominio NA sono stati forniti tutti i dati emissivi (anche le emissioni biogeniche) ma da inventario; il processing delle emissioni (a parte per le biogeniche e per i fuochi) è stato a cura delle diverse simulazioni

<p>Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i></p>	<p>Due distinti domini continentali (Europa e Nord America)</p>
<p>Risoluzione spaziale</p>	<p>Diverse risoluzioni spaziali Sul dominio EU: passi di griglia da 15 km a 50 km Sul dominio NA: passi di griglia da 12 km a 50 km</p>
<p>Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i></p>	<p>Un anno</p>
<p>Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i></p>	<p>Oraria</p>
<p>Variabili trattate</p>	<p>Ozono</p>
<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>Media e Mediana</p> <p>Lo studio si occupa anche dell'identificazione del gruppo ottimale (numero e membri) dell'ensemble che massimizzi le prestazioni</p> <p>Tale identificazione è condotta con due metodi indipendenti:</p> <ol style="list-style-type: none"> gruppo che minimizza l'RMSE ottenuto dal confronto con le misure gruppo risultante da un'analisi di cluster (indipendente dalle misure e basata sulla correlazione tra simulazioni) che minimizzi la ridondanza
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>SI (ma solo per l'identificazione del gruppo ottimale secondo l'opzione a)</p> <p>Dati sparsi, misurati da stazioni rurali, situate a quote inferiori a 1000 m, con copertura temporale di almeno 75%</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sottocampionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>SI</p> <p>Indicatori/grafici utilizzati</p> <ul style="list-style-type: none"> Box plot della distribuzione dei valori orari, delle medie giornaliere e dei dati orari del ciclo giornaliero

	<ul style="list-style-type: none"> • Talagrand diagrams²⁰ • Confronto modelli/misure dei cicli giornalieri nel periodo estivo • Soccer goal plot²¹ • Mean Bias, Root Mean Square Error, Mean Gross Error, Normalised Mean Square Error, Fractional Bias, Normalised Mean Bias, Pearson correlation coefficient • Confronto Standard Deviation modelli/misure <p>Nessun sotto-campionamento delle misure per l'analisi</p>
<p>Interesse dell'articolo <i>BASSO/MEDIO/ALTO</i> <i>con particolare riferimento alle finalità di PULVIRUS</i></p>	<p>MEDIO/ALTO</p> <p>Il paper ha l'obiettivo di dimostrare come l'utilizzo di simulazioni indipendenti (diversi modelli e/o diversi input) sia un valore aggiunto.</p>
<p>Altro</p>	

²⁰ Talagrand, O., Vautard, R., and Strauss, B.: Evaluation of probabilistic prediction systems, Workshop proceedings "Workshop on predictability", 20–22 October 1997, ECMWF, Reading, UK, 1999.

²¹ Appel, K.W., Gilliam, R.C., Davis, N., Zubrov, A., Howard, S.C.: Overview of the atmospheric model evaluation tool (AMET) v1.1 for evaluating meteorological and air quality models, Environmental Modelling & Software, 26, 434-443, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.09.007>, 2011.

Vautard et al. (2009)

Riferimento bibliografico	Vautard, R., Schaap, M., Bergström, R., Bessagnet, B., Brandt, J., Builtjes, P.J.H., Christensen, J.H., Cuvelier, C., Foltescu, V., Graff, A., Kerschbaumer, A., Krol, M., Roberts, P., Rouïl, L., Stern, R., Tarrason, L., Thunis, P., Vignati, E., Wind, P., 2009. Skill and uncertainty of a regional air quality model ensemble. Atmospheric Environment 43, 4822–4832. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.083
Tipo di articolo <i>Teorico /Applicazione/Review</i>	Applicazione
Caso di applicazione <i>Specificare se l'applicazione è in forecast o hindcast</i>	Hindcast Esercizio EURODELTA I
Numero di simulazioni a disposizione per l'Ensemble	7 (CHIMERE, DEHM, EMEP, LOTOS-EUROS, MATCH, REM-CALGRID, TM5)
Tipo di modelli	Off-line, euleriani. Sono tutti modelli regionali, tranne TM5, che è globale.
Set up dei modelli <i>Quali gli input e le caratteristiche in comune e quali quelli specifici nel set up delle simulazioni</i>	Le simulazioni condividono l'inventario emissivo (CAFE baseline emissions for the year 2000). Per dettagli, vedere: van Loon et al. (2007) ²² . Le condizioni al contorno sono basate su osservazioni per EMEP, RCG, LOTOS-EUROS e MATCH, globali per CHIMERE e DEHM. MATCH usa un misto di osservazioni e campi globali. Il drive meteo usato è: globale per TM5; basato su output di modello LAM per EMEP, CHIMERE, DEHM e MATCH; basato su interpolazione da osservazioni per RCG e LOTOS-EUROS.
Scala spaziale <i>Dominio di applicazione</i>	Scala regionale/mesoscala. Globale per il solo TM5
Risoluzione spaziale	Risoluzione orizzontale da 25 a 50 km. Risoluzione verticale piuttosto eterogenea, con primo livello che va da 20m (RCG) a 90 m (EMEP).
Scala temporale <i>Lunghezza temporale delle simulazioni</i>	Annuale: anno 2001
Risoluzione temporale <i>Frequenza di output dei modelli</i>	Oraria

²² van Loon, M., Vautard, R., Schaap, M., Bergström, R., Bessagnet, B., Brandt, J., Builtjes, P.J.H., Christensen, J.H., Cuvelier, C., Graff, A., Jonson, J.E., Krol, M., Langner, J., Roberts, P., Rouil, L., Stern, R., Tarrason, L., Thunis, P., Vignati, E., White, L., Wind, P., 2007. Evaluation of long-term ozone simulations from seven regional air quality models and their ensemble. Atmospheric Environment 41, 2083–2097. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.073>

<p>Variabili trattate</p>	<p>O_3, $O_x = O_3 + NO_2$, NO_2, NO_3^-, NH_4^+ and $SO_4^{(2-)}$</p>
<p>Indicatori/Metodo per il calcolo dell'Ensemble <i>Metodo per la sintesi delle informazioni fornite dall'insieme delle simulazioni</i></p>	<p>L'ensemble è definito come media degli output dei modelli. Gli indici considerati sono: media, bias, correlazione e deviazione standard relativi all'ensemble ed alle singole stazioni.</p>
<p>Utilizzo di dati osservati nel calcolo dell'Ensemble <i>NO/SI e in questo caso specificare se sono usati dati sparsi nel tempo e nello spazio</i></p>	<p>NO Sono state selezionate le stazioni europee relative ai database Airbase ed EMEP, integrando i dati con quelli una stazione svizzera della Swiss Environmental Agency.</p>
<p>Validazione <i>NO/SI e in questo caso: indicatori statistici utilizzati, eventuale sotto-campionamento delle misure per l'analisi, ecc...</i></p>	<p>SI Sono confrontati gli output modellistici e l'ensemble con le osservazioni relative a stazioni rappresentative di vaste aree. A causa della scarsa rappresentatività spaziale delle stazioni montane, sono state considerate solo quelle situate a quote inferiori a 1000 m. Inoltre, per omogeneizzare il database, è stato selezionato un insieme ridotto di stazioni in corrispondenza delle aree con densa copertura di osservazioni. La bontà dell'ensemble è misurata tramite rank histogram²³ e l'analisi dello spread dell'ensemble. La forma del rank histogram è associata ad un numero (reliability index), che esprime la concavità dell'istogramma; in quest'ultimo sono inseriti, come ascisse, i bin dell'ensemble modellistico ed è riempito utilizzando la distribuzione delle osservazioni. I bin del diagramma di Talagrand sono determinati dai valori minimo e massimo dei modelli dell'ensemble, secondo la procedura che segue.</p> <p><i>Si prendono dapprima, relativamente alle previsioni di una qualche variabile, i valori forniti dall'ensemble modellistico. Si supponga di ottenere, ad es., per un ensemble di 5 modelli: (1.5, 2.3, 0.8, 4.1, 0.3). Si procede ad ordinare questi valori, ottenendo: (0.3, 0.8, 1.5, 2.3, 4.1). A partire da questi valori si definiscono 6 bin, come segue:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • bin 1: valori inferiori al valore più basso (0.3), • bin 2: valori compresi tra 0.3 e 0.8, • bin 3: valori compresi tra 0.8 e 1.5, • bin 4: valori compresi tra 1.5 e 2.3, • bin 5: valori compresi tra 2.3 e 4.1, • bin 6: valori superiori a 4.1. <p><i>Si posizionano infine i valori misurati nei rispettivi bin, ad es.: il valore osservato di 2.95 è inserito nel</i></p>

²³ Talagrand, O., Vautard, R., Strauss, B., 1999. Evaluation of probabilistic prediction systems. Presented at the Workshop proceedings "Workshop on predictability", 20–22 October 1997, ECMWF, ECMWF, Reading, United Kingdom, 1999, pp. 1–26.

	<p><i>bin 5 e così via.</i></p> <p>La situazione ottimale è un rank histogram piatto ed uno spread modellistico relativo basso. Un rank histogram a forma di U indica addensamenti di osservazioni agli estremi e potrebbe essere indice di una scarsa variabilità della simulazione di ensemble, rispetto alle osservazioni; viceversa, in caso di U rovesciata, l'ensemble modellistico mostra una eccessiva variabilità, rispetto alle osservazioni, che può essere dovuto alla dinamica simulata, ma anche alle condizioni al contorno usate.</p> <p>Nei rank histogram i dati delle stazioni e dei relativi output temporali puntuali dei modelli sono accorpati come uniche serie temporali, che vengono comparate.</p> <p>In alcuni casi (indicatore O_x), sono effettuati dei sottocampionamenti, eliminando a rotazione singoli modelli, per individuare il peso relativo di ciascuno di essi sull'insieme.</p> <p>È anche usata un'interessante sintesi delle prestazioni dei singoli modelli e dell'ensemble tramite diagramma di Taylor.</p>
<p>Interesse dell'articolo <i>BASSO/MEDIO/ALTO</i> <i>con particolare riferimento alle finalità di</i> <i>PULVIRUS</i></p>	<p>MEDIO/ALTO</p> <p>L'utilizzo della metodologia presentata è purtroppo limitato dalla disponibilità in PULVIRUS di due soli modelli.</p> <p>Alcune delle tecniche usate potrebbero essere riciclate allo scopo.</p>
<p>Altro</p>	<p>L'articolo mostra applicazioni di metodi di intercomparison da tenere eventualmente in considerazione anche per la validazione di un singolo modello.</p>