

Cliente	Enel GEM
Oggetto	Centrale ENEL "Federico II" – Messa a punto del modello per la simulazione del carbonile in assetto attuale
Ordine	Contratto per la fornitura di prodotti e servizi fra ENEL Produzione e CESI per il periodo 01/03/2002 - 28/02/2006; Offerta A5029249 del 23/06/2005 Attivazione: EMail 05/SARTI/29 del 29-06-05
Note	Rev. 0

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

N. pagine 52 **N. pagine fuori testo** -

Data 06/04/2006

Elaborato Cottarelli Giacomo Giuseppe (CESI-AMB), Sonlieti Walter (CESI-AMB)
A6009450 3710 ALT A6009450 3733 ALT

Verificato Carboni Gabriele (CESI-AMB)
A6009450 3709 VER

Approvato Fiore Antonio (CESI-AMB)
A6009450 3743 APP

Indice

1	PREMESSA	3
2	APPROCCIO METODOLOGICO E SCHEMA DI LAVORO	4
3	DESCRIZIONE DEL MODELLO E DEI DATI DI INPUT	5
	3.1 Scelta e Descrizione del modello matematico.....	5
	3.2 Input meteorologico	6
	3.3 Dominio di calcolo	7
	3.4 I fattori di emissione delle sorgenti	7
4	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE SUL CARBONILE.....	10
5	DETERMINAZIONE SPERIMENTALE, SULLE MISURE DI BREVE PERIODO, DEI FATTORI D'EMISSIONE E DELLE CARATTERISTICHE DELLE SORGENTI	12
	5.1 Osservazione delle attività sul carbonile ed individuazione delle sorgenti di polverosità diffusa 13	
	5.2 Caratterizzazione sperimentale delle sorgenti	14
	5.3 Ottimizzazione del programma sperimentale.....	15
	5.4 Assetti di funzionamento del carbonile caratterizzati sperimentalmente	18
6	ACQUISIZIONE DI DATI SPERIMENTALI DI LUNGO PERIODO ED OTTIMIZZAZIONE DEL MODELLO.....	20
	6.1 Affinamento su lungo periodo del modello di concentrazione.....	21
	6.1.1 Campagna di misura invernale per il monitoraggio delle concentrazioni aerodisperse di PM10	21
	6.1.2 Raffronto tra misure giornaliere di polveri ed elaborazioni modellistiche.....	23
	6.1.3 L'analisi del carbonio per la stima del contributo del carbonile	27
	6.1.4 Stima del fondo per le concentrazioni	30
	6.1.5 Parametri di esercizio effettivi durante il periodo di indagine per la definizione del rateo di emissione.....	32
	6.1.6 Risultati dell'elaborazione modellistica sulla stagione invernale.....	33
	6.2 Applicazione del modello alle deposizioni di polveri sedimentabili.....	35
	6.2.1 Campagna di misura invernale per il monitoraggio delle deposizioni al suolo di polveri sedimentabili	36
	6.2.2 Parametri di esercizio effettivi durante il periodo di indagine	38
	6.2.3 Stima del fondo per le deposizioni al suolo.....	38
	6.2.4 Confronto tra la deposizione attribuibile al carbonile e le misure sperimentali	39
7	CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE COMPLETA DELLE POLVERI SEDIMENTABILI	41
8	ESTENSIONE AD UN ARCO TEMPORALE ANNUO DELLA PREVISIONE MODELLISTICA PER IL PARTICOLATO AERODISPERSO E PER LE DEPOSIZIONI.....	42
	8.1 Input meteorologico	42
	8.2 Simulazioni modellistiche su un arco temporale annuo	45
	8.2.1 Primo scenario: dati consuntivi del 2004	45
	8.2.2 Secondo scenario: alto impatto del trasporto su gomma	47
	8.2.3 Terzo scenario: basso impatto del trasporto su gomma.....	49
9	CONCLUSIONI.....	51

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	06/04/2006	A6009450	Prima emissione

1 PREMESSA

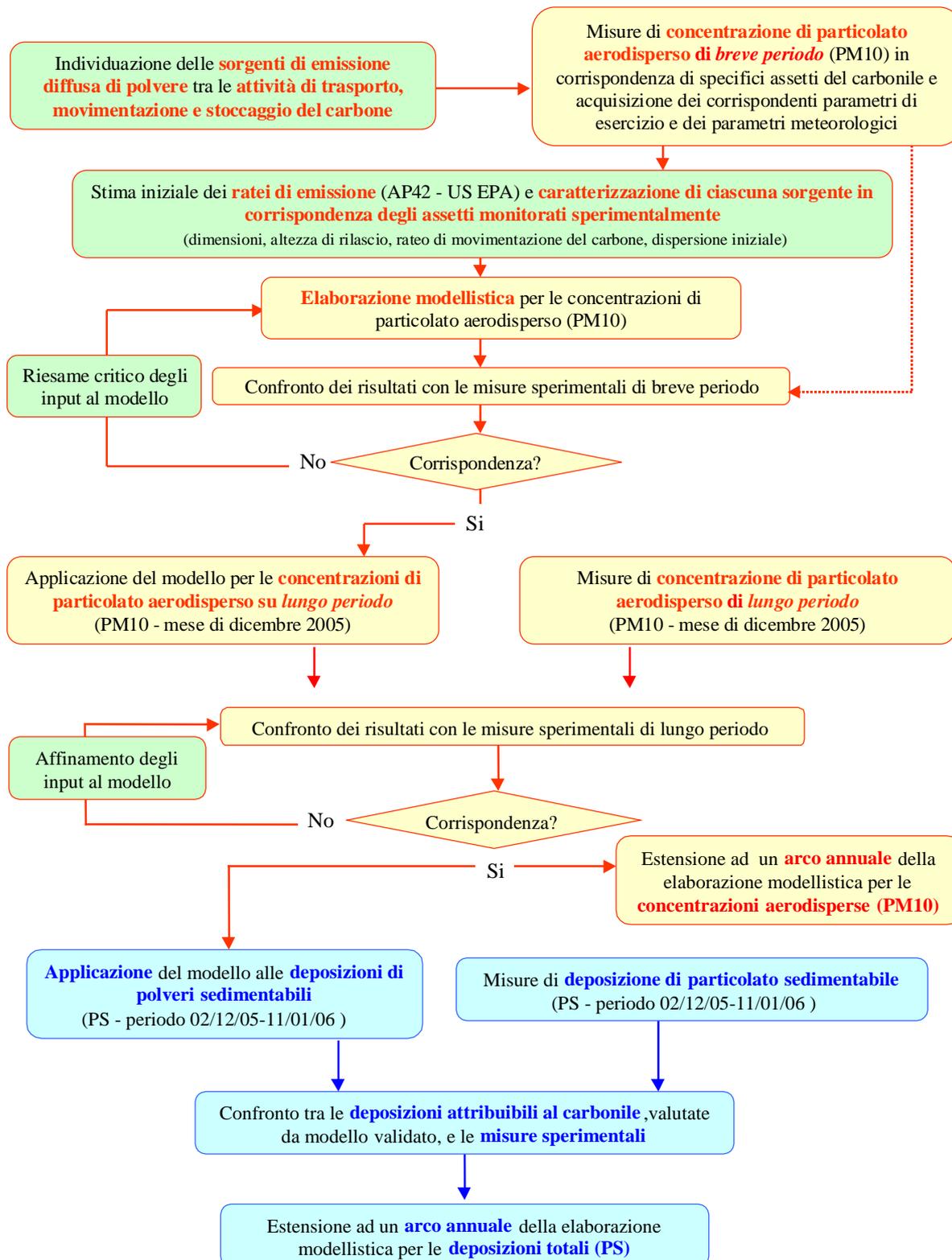
Lo scopo del presente studio è la valutazione della polverosità indotta dalle attività connesse alla gestione del carbonile della centrale Federico II, situata a sud di Brindisi in località Cerano.

L'analisi si concretizza in un modello matematico che stima la dispersione atmosferica e la ricaduta al suolo del particolato. Le ipotesi adottate sono avvalorate dal confronto degli output modellistici con le misure sperimentali effettuate nelle aree limitrofe alla centrale.

Il modello validato sarà quindi utilizzato per la valutazione previsionale dei benefici derivanti dalla realizzazione di interventi ingegneristici e gestionali previsti sul carbonile.

2 APPROCCIO METODOLOGICO E SCHEMA DI LAVORO

Nello schema seguente sono sintetizzate le diverse fasi del processo di modellazione del carbonile, eseguite al fine di valutare la polverosità indotta dalle attività che vi si svolgono:



L'indagine parte dall'osservazione delle attività di movimentazione, di trasporto e di stoccaggio del carbone svolte sul carbonile, al fine di individuare le principali sorgenti di emissione diffusa di particolato.

In corrispondenza di specifici assetti di funzionamento del carbonile, sono stati quindi effettuati campionamenti brevi (mediamente 4h) di particolato aerodisperso (PM10), parallelamente ai quali sono state monitorate le modalità di svolgimento delle attività sul sito e le condizioni meteorologiche.

Per ciascun assetto è stata elaborata una stima del particolato aerodisperso attraverso l'applicazione del modello matematico gaussiano ISC3. La definizione dei parametri di ingresso al modello è stata in principio effettuata sulla base di indicazioni reperibili in letteratura (rif. AP42 – US EPA) e sulla base di risultati ottenuti da studi analoghi effettuati da CESI nel comprensorio brindisino. Successivamente le ipotesi adottate sono state affinate mediante la comparazione della previsione modellistica con i corrispettivi risultati sperimentali di breve periodo.

La caratterizzazione delle sorgenti, ottenuta perfezionando il modello sui rilevamenti di breve periodo di polveri aerodisperse, è stata poi ottimizzata da un ulteriore confronto dell'elaborazione modellistica con un intervallo di misure più esteso, rappresentativo della stagione invernale (mese di dicembre 2005).

I valori dei parametri di ingresso al modello, individuati con lo studio delle polveri aerodisperse, sono stati utilizzati anche per l'analisi delle deposizioni al suolo di polveri totali relativamente allo stesso periodo. La simulazione modellistica relativa alle deposizioni di polveri sedimentabili è stata quindi confrontata con le misure sperimentali di deposizione acquisite parallelamente alla campagna di indagine delle polveri aerodisperse.

Infine, l'elaborazione modellistica, sia per le concentrazioni aerodisperse che per le deposizioni al suolo, è stata estesa ad un arco temporale annuo, sulla base dei dati meteorologici acquisiti da ENEL nel 2004, e sulla base di differenti ipotesi di incidenza del trasporto di carbone su gomma.

3 DESCRIZIONE DEL MODELLO E DEI DATI DI INPUT

3.1 Scelta e Descrizione del modello matematico

La scelta del modello di calcolo da utilizzare nello studio della dispersione degli inquinanti è principalmente condizionata dalle caratteristiche delle sorgenti e del periodo temporale di simulazione da assumere per verificare la rispondenza agli standard ambientali.

L'esigenza di determinare gli indici statistici di riferimento degli Standard di Qualità dell'aria (SQA) ed in particolare quelli riferiti alle medie giornaliere di particolato fine (PM10), richiede l'adozione di un

modello di tipo short-term (a breve termine), che consenta di valutare i valori medi giornalieri delle concentrazioni per periodi significativi (uno o più anni).

Tra i modelli indicati dall'EPA (U.S. - Environmental Protection Agency) è stato scelto il modello ISC3, che è conforme alle caratteristiche richieste dall'applicazione in esame. Questo modello è identificato nelle «Guideline on Air Quality Models» dell'US-EPA, come «preferred» per siti a topografia piana o ondulata (rilievi di altezza inferiore alla quota fisica di emissione), anzi in questi casi il suo utilizzo viene classificato tra le «refined modeling techniques».

Le equazioni di base sono quelle classiche che descrivono la dispersione rettilinea di un pennacchio "gaussiano" in condizioni stazionarie. Tali equazioni, con alcune modifiche, sono usate per trattare diverse tipologie di sorgenti: puntiformi, areali, di tipo volume e "open pit" (cave, miniere a cielo aperto).

Il modello ISC3 per poter funzionare richiede in input i dati meteorologici, i dati delle sorgenti di emissione considerate e i dati relativi al dominio di calcolo.

I dati di input sono descritti dettagliatamente nei punti successivi.

3.2 Input meteorologico

I parametri meteorologici richiesti dal modello, sia per il calcolo delle concentrazioni che per quello delle deposizioni, sono:

- direzione del vento (°N)
- velocità del vento (m/s)
- temperatura dell'aria (K)
- classe di stabilità atmosferica

I parametri meteorologici aggiuntivi per il calcolo delle deposizioni sono:

- velocità di attrito (m/s)
- lunghezza di Monin-Obukhov (m)

Per il calcolo delle deposizioni è necessario fornire inoltre la rugosità superficiale del terreno e, unicamente per la deposizione umida, è richiesta anche la piovosità.

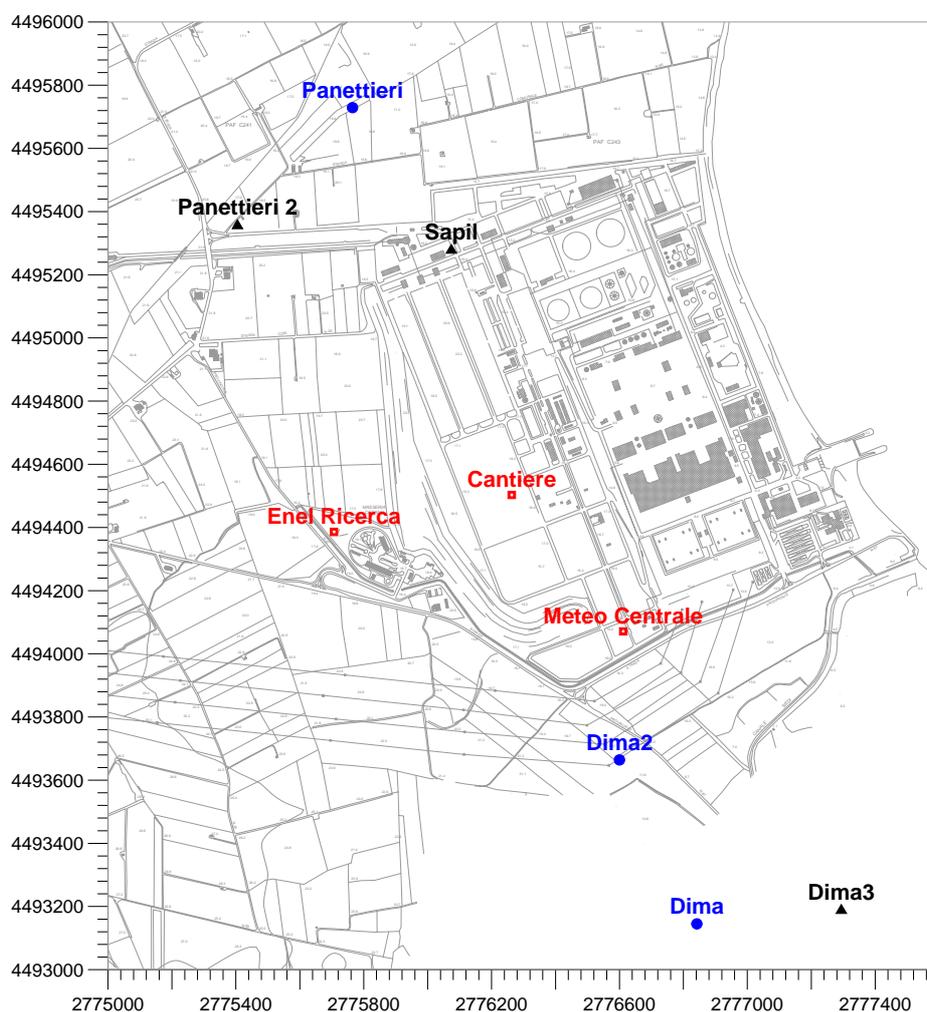
I dati meteorologici sono stati rilevati da una postazione del CESI, collocata all'interno dell'area della Centrale, contemporaneamente alle campagne di misura effettuate sul carbonile.

L'input meteorologico per l'elaborazione modellistica estesa all'arco temporale annuale, è stato invece ottenuto dai dati rilevati presso la stazione meteorologica della centrale ENEL di Brindisi

3.3 Dominio di calcolo

Il dominio di calcolo è costituito da un'area rettangolare di dimensioni pari a 2600m x 3000m, in modo da comprendere l'area della centrale e le postazioni di misura di particolato, dislocate nelle zone limitrofe per le attività di monitoraggio. In carattere rosso sono riportate le postazioni in cui sono stati installati sia i deposimetri che i polverometri. Sono evidenziate invece in carattere blu quelle esterne alla centrale in cui è stato posizionato solo il deposimetro, ed in carattere nero le postazioni in cui è stato collocato solo il polverometro.

Le coordinate sono definite rispetto al sistema cartografico Roma 40, secondo la rappresentazione di Gauss-Boaga. La base cartografica è orientata col Nord geografico.



3.4 I fattori di emissione delle sorgenti

La polverosità indotta dalle attività connesse alla gestione del carbonile ha due origini principali:

- polverosità indotta dalle operazioni di movimentazione: carico/scarico camion a parco/in tramoggia, ripresa/discarica del carbone a parco con macchina combinata, compattazione del cumulo con ruspa, innalzamento del cumulo con pala gommata ed escavatore;
- polverosità indotta dai mezzi di trasporto (camion) e dal loro movimento lungo i tracciati all'interno/all'esterno del carbonile.

US-EPA ha definito fattori di emissione per moltissime attività e sorgenti e li ha raccolti nel documento **“AP 42, Fifth Edition - Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources”**.

Per le tipologie di sorgenti qui considerate si deve fare riferimento al capitolo 13 (**Miscellaneous Sources**) ed in particolare ai paragrafi 13.2.1 (**Paved Roads**), 13.2.2 (**Unpaved Roads**) e 13.2.4 (**Aggregate Handling and Storage Piles**).

Assieme a queste sorgenti bisogna inoltre considerare l'erosione del carbonile, per la quale si fa riferimento alla formula indicata dagli studi condotti da Cowherd e da Bohn¹.

I fattori di emissione per ciascuna attività di movimentazione del carbone (scarico dei camion, innalzamento e stabilizzazione del cumulo, macchina combinata...) sono definiti dalla seguente equazione (*Aggregate Handling and Storage Piles, cap.13.2.4*):

$$E = k(0.0016) \cdot \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}} \quad [1]$$

dove:

E = fattore di emissione (kg di polvere per tonnellata di materiale movimentato)

k = parametro dipendente dalla dimensione delle particelle (0,35 per il PM10 - 0,74 per PTS)

U = velocità media del vento (m/s)

M = percentuale di umidità del materiale movimentato (in peso)

I fattori di emissione per polverosità indotta dai mezzi di trasporto (camion) e dal loro movimento lungo i tracciati su strade asfaltate sono definiti dalla seguente equazione (*Paved Roads, cap.13.2.1*):

$$E = \left[k \cdot \left(\frac{sL}{2}\right)^{0.65} \cdot \left(\frac{W}{3}\right)^{1.5} - C \right] \cdot \left(1 - \frac{1.2P}{N}\right) \quad [2]$$

dove:

E = fattore di emissione (g/automezzo/km percorso)

¹ C. Cowherd, K. Axetell Jr., C. Guenther and G. Jutze. *Development of Emission Factors for Fugitive Dust Sources*. Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri: June 1974, EPA-450/3-74-037.
R. Bohn, T. Cuscino Jr. and C. Cowherd Jr. *Fugitive Emissions from Integrated Iron and Steel Plants*. Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri: March 1978. EPA-600/2-78-050.

- k = parametro dipendente dalla dimensione delle particelle (4,6 per PM10 - 24 per PTS)
 sL = grammi di polvere fine sulla sede stradale (g/m^2)
 W = peso medio dei veicoli che transitano sulla strada (t)
 C = fattore correttivo pari a 0,1317 g/automezzo/km percorso
 P = numero di periodi in cui le precipitazioni hanno superato i 0.254 mm di pioggia
 N = numero di periodi totali di osservazione

I fattori di emissione per polverosità indotta dai mezzi di trasporto (camion) all'interno dell'area di stoccaggio del carbone, ovvero su strada non asfaltata, sono desunti dalla seguente equazione (*Unpaved Roads, cap.13.2.2*):

$$E = \left[k \cdot 281.9 \cdot \left(\frac{s}{12} \right)^a \cdot \left(\frac{W}{3} \right)^b \right] \cdot \left(1 - \frac{1.2P}{N} \right) \quad [3]$$

dove:

- E = fattore di emissione (g/automezzo/km percorso)
 k = parametro dipendente dalla dimensione delle particelle (1,5 per PM10 - 4,9 per PTS)
 s = contenuto percentuale di polvere fine (%)
 a = parametro dipendente dalla dimensione delle particelle (0,9 per PM10 - 0,7 per PTS)
 b = parametro dipendente dalla dimensione delle particelle (0,45 per PM10 e per PTS)

Il fattore 281.9 converte l'emissione da lb/automezzo/miglia a g/automezzo/km.

L'emissione calcolata per mezzo dell'equazione [1] è stata applicata per ciascun punto di carico/scarico del carbone, sia in tramoggia che a parco.

Il fattore di emissione è fortemente influenzato dall'umidità dei materiali movimentati e dalla velocità media del vento. Per l'umidità è stato considerato il valore di letteratura pari a 4,5%.

Per il carbone, in effetti, i dati di umidità del materiale movimentato da ENEL sono più elevati. Si è preferito però adottare un dato di letteratura fornito da EPA che produce una stima molto più conservativa del fattore di emissione.

Per quanto riguarda il vento, in considerazione dell'ampia variabilità durante il ciclo giornaliero, è stato utilizzato un valore medio orario diverso per ogni ora del giorno. Pertanto nel modello il fattore di emissione è stato modulato su base oraria.

L'emissione calcolata per mezzo dell'equazione [2] è stata applicata ai mezzi di trasporto, sia vuoti che a pieno carico, in relazione ai percorsi compiuti su strada asfaltata nell'area adiacente al perimetro del carbonile.

L'emissione calcolata per mezzo dell'equazione [3] è stata invece applicata al transito dei mezzi che accedono internamente all'area di stoccaggio del carbone per la fase di scarico.

In entrambi i casi, il fattore di emissione della polvere sollevata dal transito dei mezzi è fortemente influenzato dal peso dei veicoli e dalla bagnatura dell'asfalto.

Il peso medio dei veicoli che trasportano carbone è stato ricavato dai registri di pesatura dei mezzi in ingresso al carbonile, prima della fase di scarico del materiale: per il veicolo a pieno carico si considera un peso medio di 46t e per il veicolo vuoto un peso medio di 16t.

Il fattore legato alle precipitazioni è stato modulato per simulare la bagnatura e la pulizia delle strade. Il suo valore varia in funzione della stagione, per tenere in considerazione la mutabilità delle condizioni meteorologiche che interferiscono con il potenziale rilascio di polveri, in particolare la piovosità, la radiazione solare e l'umidità.

Il rateo di emissione dell'erosione del carbonile ad opera del vento è stato calcolato secondo la seguente equazione:

$$E = 1.9 \cdot \left(\frac{s}{1.5} \right) \cdot \left(\frac{365 - p}{235} \right) \cdot \left(\frac{f}{15} \right) \quad [4]$$

dove:

E = fattore di emissione (kg/he/giorno)

s = contenuto percentuale di polvere fine (%)

p = numero di giorni all'anno con una precipitazione superiore a 0.25mm

f = % di tempo in cui la velocità del vento indisturbato all'altezza del cumulo supera i 5.4m/s

I valori dei parametri p ed f sono stati calcolati sui dati meteorologici rilevati dalla postazione meteo del carbonile nel periodo che volta per volta viene rappresentato.

4 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE SUL CARBONILE

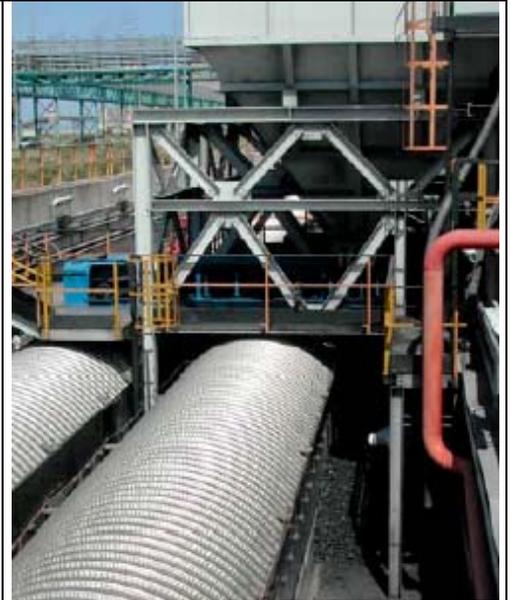
Il carbone per il funzionamento della centrale è scaricato presso l'area portuale di Brindisi ed è trasferito alla centrale "Federico II" mediante asse attrezzato e camion. Qui il combustibile è convogliato direttamente alle caldaie, oppure è stoccato nel carbonile collocato nella zona Ovest dell'area di centrale.

In particolare il carbone in arrivo con l'asse attrezzato può essere:

- trasferito direttamente al parco tramite le torri T11, T12 e T13 e le due macchine combinate;
- trasferito direttamente ai sili delle caldaie mediante i nastri trasportatori.



*Torre T13-T11-T12 per il trasferimento del carbone a/da parco
(da sinistra a destra)*



Nastri trasportatori afferenti alle caldaie

La ripresa del carbone dal carbonile per il trasferimento alle caldaie è effettuato mediante le medesime macchine combinate, funzionanti in modalità inversa; esse consentono il trasferimento del combustibile dal carbonile alle due torri T12 e T13 e quindi alle caldaie tramite il nastro.



Visione delle due macchine combinate



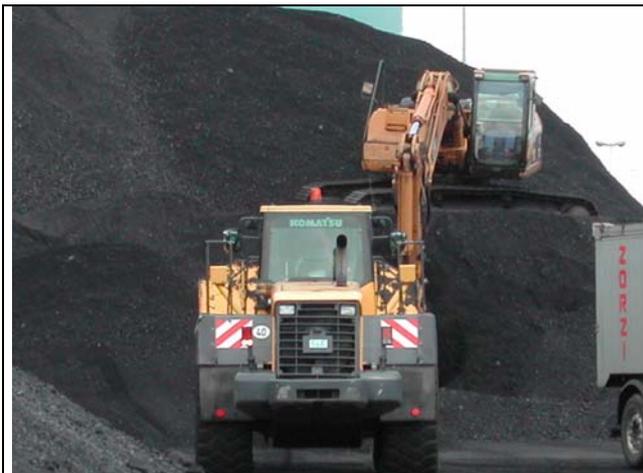
Scarico dei camion a parco

In alcuni casi lo stoccaggio e la successiva ripresa del carbone comportano l'utilizzo di macchine operatrici (pala gommata, escavatore) e di automezzi (per esempio: movimentazione del carbone in prossimità del perimetro del carbonile; fuori servizio dell'asse attrezzato; trasferimento in centrale di quantità superiori al limite di portata del nastro trasportatore dell'asse attrezzato). Gli automezzi possono scaricare il carbone nel carbonile oppure direttamente sul nastro afferente alle caldaie mediante due tramogge (denominate N22 - N23).



Trasferimento del carbone dall'automezzo al nastro afferente le caldaie mediante le tramogge N22-N23

Al termine dell'utilizzo all'interno del carbonile, l'automezzo è lavato ad acqua mediante il medesimo impianto utilizzato per la pulizia degli automezzi di trasporto delle ceneri e del gesso.



Pala gommata ed escavatore per l'innalzamento del cumulo di carbone



Impianto di lavaggio automezzi attualmente utilizzato

5 DETERMINAZIONE SPERIMENTALE, SULLE MISURE DI BREVE PERIODO, DEI FATTORI D'EMISSIONE E DELLE CARATTERISTICHE DELLE SORGENTI

In questa fase viene descritto il processo di caratterizzazione sperimentale delle fonti di polverosità individuabili tra le operazioni compiute nel carbonile, allo scopo di definire i parametri di ingresso al modello relativamente alle sorgenti.

5.1 Osservazione delle attività sul carbonile ed individuazione delle sorgenti di polverosità diffusa

La rappresentazione di attività complesse ed articolate, come quelle che contraddistinguono la gestione di un deposito di carbone, richiede inizialmente un'analisi mirata all'identificazione ed alla scomposizione degli elementi che vi si riscontrano.

Per questa ragione lo studio ha contemplato una fase iniziale di ispezione delle operazioni svolte sul carbonile, da cui è emerso che le principali attività che costituiscono una fonte di diffusione di particolato in atmosfera sono:

- Operatività delle macchine combinate 1 e 2 in ripresa / in scarica
- Transito dei camion su strada asfaltata
- Transito dei camion all'interno dell'area di stoccaggio
- Scarico dei camion a parco
- Innalzamento del cumulo mediante pala gommata ed escavatore
- Stabilizzazione del cumulo mediante ruspa compattatrice
- Scarico dei camion in tramoggia

L'attività di stoccaggio comporta inoltre l'esposizione di vaste superfici di materiale all'azione erosiva esercitata dal vento; pertanto è fondamentale considerare, assieme alle precedenti sorgenti, anche l'erosione eolica superficiale del materiale stoccato.

Il nastro trasportatore che attraversa il carbonile non rappresenta una sorgente di emissione significativa di polvere, in quanto influisce unicamente nelle sue immediate vicinanze. Il suo contributo viene quindi valutato esclusivamente nelle prove in cui uno strumento vi è collocato sufficientemente vicino da risentirne. Nelle simulazioni finalizzate invece a valutare la polverosità indotta dal carbonile nelle aree esterne alla centrale il contributo del nastro è stato considerato trascurabile.

I parametri che è necessario determinare per rappresentare una sorgente ai fini dell'elaborazione modellistica sono:

- il rateo di emissione di particolato (g/s)
- la localizzazione spaziale
- le dimensioni geometriche (m)
- l'altezza di rilascio (m)
- la diffusione iniziale (m)

I valori da attribuire a questi parametri sono stati ottenuti dal raffronto tra le concentrazioni di polveri misurate in condizioni controllate e la corrispondente simulazione modellistica, come descritto nei paragrafi seguenti.

5.2 Caratterizzazione sperimentale delle sorgenti

La fase successiva all'identificazione delle sorgenti è la definizione delle caratteristiche emissive, spaziali e geometriche di ognuna, attraverso precisi rilevamenti sperimentali. Trattandosi infatti di sorgenti di emissioni diffuse, che non vengono cioè rilasciate da camini o condotti, è opportuno supportarne la caratterizzazione con il confronto tra la previsione modellistica e le misure in campo.

Tale confronto deve essere compiuto in condizioni il più possibile controllate così da ridurre la variabilità dei risultati associata a modifiche delle modalità di esercizio del carbonile e/o delle condizioni al contorno (meteorologiche e di inquinamento da altre sorgenti). Pertanto, allo scopo di affinare i parametri in input al modello, si è stabilito di procedere al raffronto tra il livello della dispersione di polveri stimato dal modello in specifiche condizioni e le corrispondenti misure sperimentali di polveri aerodisperse. Analogo raffronto con le polveri sedimentabili naturalmente non è possibile, in quanto i tempi di misura (circa 1 mese) non garantiscono il mantenimento di condizioni controllate; d'altra parte una volta affinata la caratterizzazione delle sorgenti attraverso il raffronto con le polveri aerodisperse, il modello può considerarsi idoneo anche alla stima delle polveri sedimentabili.

Per distinguere l'incidenza sulla diffusione di polveri per le specifiche attività sul carbonile, sono stati perciò eseguiti rilevamenti di particolato aerodisperso in corrispondenza di determinati assetti di funzionamento del carbonile, concordati volta per volta con ENEL.

Per ciascuna circostanza, a seconda delle condizioni anemologiche, sono stati previsti uno o più campionatori collocati sia sottovento rispetto alle sorgenti da qualificare e sia sopravento, allo scopo di distinguere il livello di polverosità di fondo dal contributo netto attribuibile alla sorgente stessa.



Campionamento della macchina combinata in ripresa e dell'erosione del carbonile



Campionamento dello scarico dei camion in tramoggia N22-N23

Le prove sono state eseguite per una durata media di 3-4h, in modo da garantire la stabilità delle condizioni anemologiche e la continuità delle attività di movimentazione monitorate. Durante le prove sono state registrate tutte le informazioni utili alla successiva interpretazione dei dati ed alla applicazione modellistica: il tipo e la localizzazione delle attività svolte sul carbonile, le eventuali sospensioni di durata significativa, i quantitativi di carbone movimentati, il numero dei camion in accesso all'area, le osservazioni meteorologiche a vista. Quest'ultime sono state poi integrate con i dati della postazione meteorologica del CESI e, ove non disponibili, sono stati utilizzati i dati della stazione ENEL situata anch'essa all'interno dell'area della centrale.

5.3 Ottimizzazione del programma sperimentale

L'obiettivo del programma sperimentale consiste nell'acquisizione di dati per la definizione dei parametri in input al modello previsionale. D'altra parte il programma sperimentale non è risultato semplice, in quanto lo studio di una realtà così articolata presenta inevitabilmente numerose problematiche. Gli ostacoli incontrati dipendono sia dalla complessità del luogo in cui si sviluppa lo studio che dalla variabilità delle condizioni meteorologiche, non sempre favorevoli all'esecuzione delle prove. Nel presente paragrafo si riportano gli accorgimenti, ricavati dall'esperienza in campo, adottati per migliorare la rappresentatività dei rilevamenti.

In corrispondenza di ciascun assetto di funzionamento del carbonile da monitorare sono stati disposti numerosi campionatori di polveri, collocati sottovento rispetto alle sorgenti da qualificare per discriminarne l'emissione specifica.

Ciascuna prova ha previsto anche la collocazione di campionatori sopravento alla sorgente allo scopo di distinguere il **livello di polverosità di fondo** dal contributo netto attribuibile alla sorgente stessa. In certi casi è stata evidenziata la presenza, presso alcuni recettori, di sorgenti locali estranee al carbonile che hanno interferito con la misura e impedito pertanto la discriminazione dell'incidenza del carbonile. Quando questo ha interessato la postazione scelta per rappresentare il livello di fondo la prova è stata annullata (vedi Prova 1). Per cui, ove le condizioni logistiche l'abbiano reso possibile, sono state impiegate non una ma due postazioni per il rilevamento del bianco (vedi Prova3).

Nei casi in cui è stato possibile individuare la **sorgente secondaria** che influiva sul recettore posto nelle sue immediate vicinanze, questa è stata inserita nella modellazione per ricreare il quadro complessivo rilevato dalle misure. E' il caso del punto di inversione di marcia del nastro interno al carbonile che condiziona esclusivamente il campionatore di polveri posto a qualche metro di distanza (vedi Prova 3, 4) e che inizialmente non era stato considerato come una sorgente di interesse poiché la sua incidenza è esclusivamente locale.

Particolarmente rilevante è la **corretta collocazione dei campionatori** di polveri rispetto alla sorgente emissiva, tale da consentire un'efficace caratterizzazione dell'emissione specifica. In alcuni casi questa collocazione è risultata non ottimale a causa di un vento troppo debole o variabile per individuare correttamente la direzione sottovento rispetto alla sorgente da misurare (vedi Prova 1). Lo stesso problema si presenta quando la sorgente per sua natura è molto mobile sul carbonile (vedi Prova 5).

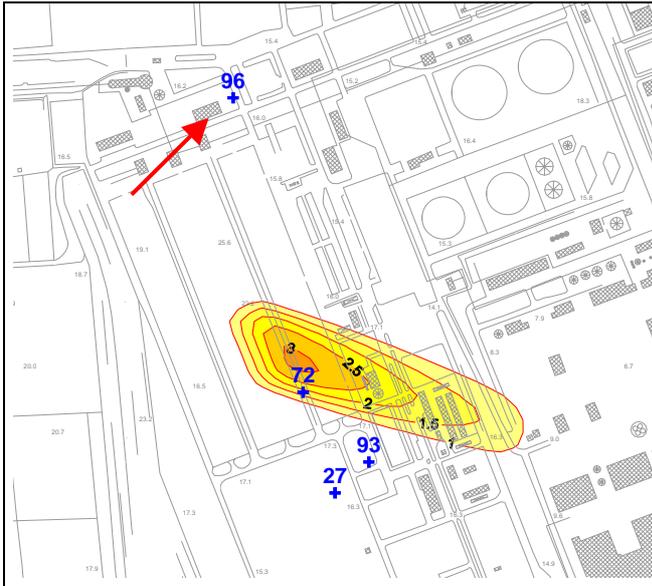
Un altro fattore che incide sul potenziale di dispersione di polvere di una sorgente è **l'umidità del materiale**, che nella stagione invernale risente indubbiamente della minore esposizione alla radiazione solare (vedi Prova 5).

Tra i parametri che qualificano una sorgente è molto rilevante **l'altezza di rilascio dell'emissione**, che se sottostimata determina una valutazione eccessiva della concentrazione al suolo (vedi Prova 2).

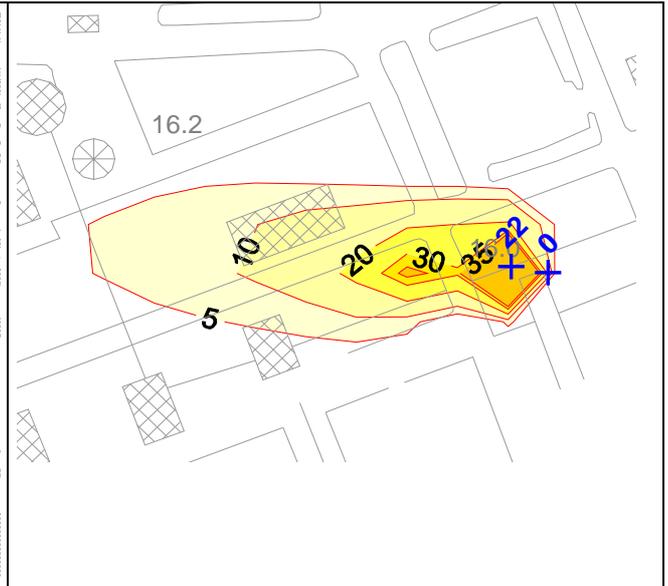
Per una corretta applicazione del modello è fondamentale la **modulazione oraria del rateo di emissione** che tenga conto della durata effettiva di operatività della sorgente; per stimare correttamente il rateo di emissione è stata pertanto monitorata l'attività sul carbonile durante il periodo di indagine sperimentale allo scopo di registrare eventuali sospensioni (vedi Prova 6).

Nel seguito si riportano le prove citate: le curve di iso-concentrazione ottenute dalle elaborazioni modellistiche sono in colore rosso, mentre i corrispondenti risultati sperimentali, depurati del livello di fondo², sono riportati in carattere azzurro.

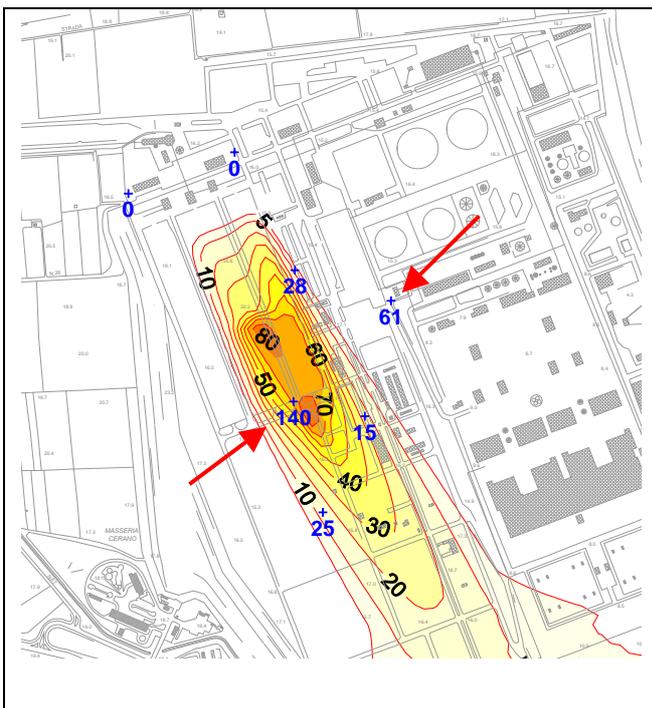
² La postazione di bianco è quella sopravento rispetto alle sorgenti da rilevare e a cui è associato il valore nullo di particolato. I valori riportati nella prova 1 sono invece le concentrazioni effettivamente misurate, in quanto non disponibile una stima attendibile del livello di fondo.



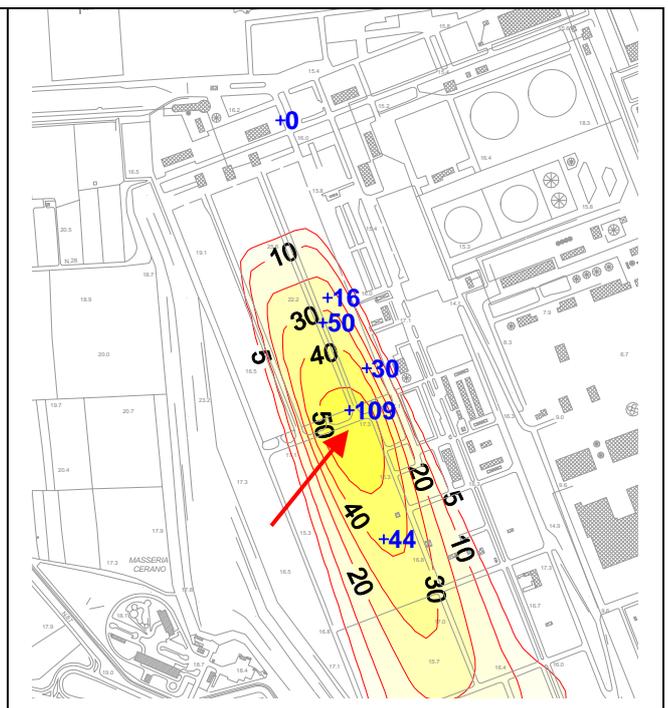
Prova 1 - Annullata
Ruspa compattatrice
*Scorretta disposizione recettori
 vento troppo debole da WNW
 Postazione di bianco influenzata da sorgenti locali*



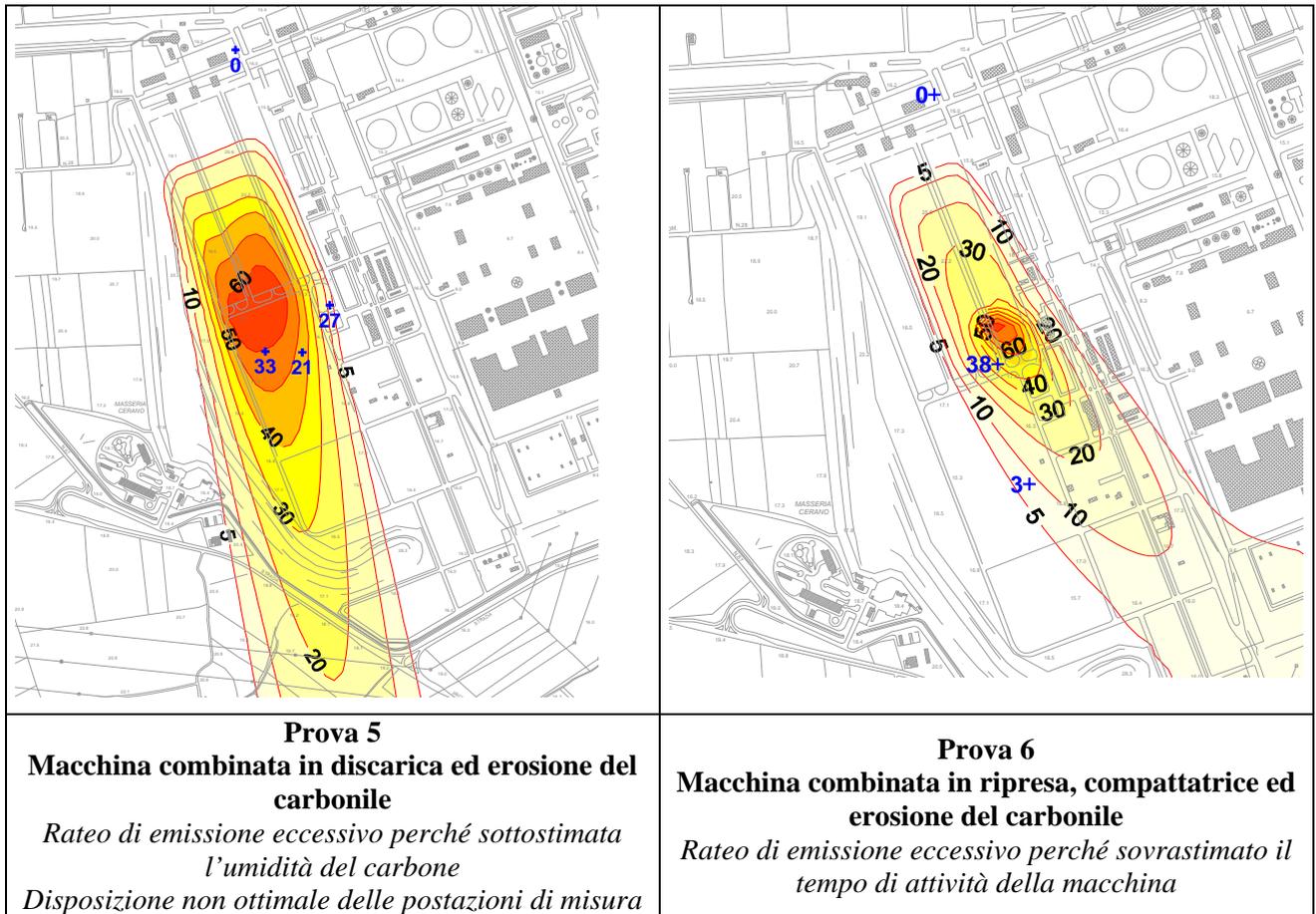
Prova 2
Scarico dei camion in tramoggia N22-N23
*Previsione sovrastimata
 Aumentare l'altezza di rilascio in tramoggia*



Prova 3
Macchina combinata in discarica e compattatrice
*Vento da NNW
 Interferenza di sorgenti locali sui punti di misura
 Influenza del punto di inversione di marcia del
 nastrino sul recettore più vicino*



Prova 4
Erosione del carbonile ad opera del vento
*Influenza del punto di inversione di marcia del
 nastrino sul recettore più vicino*

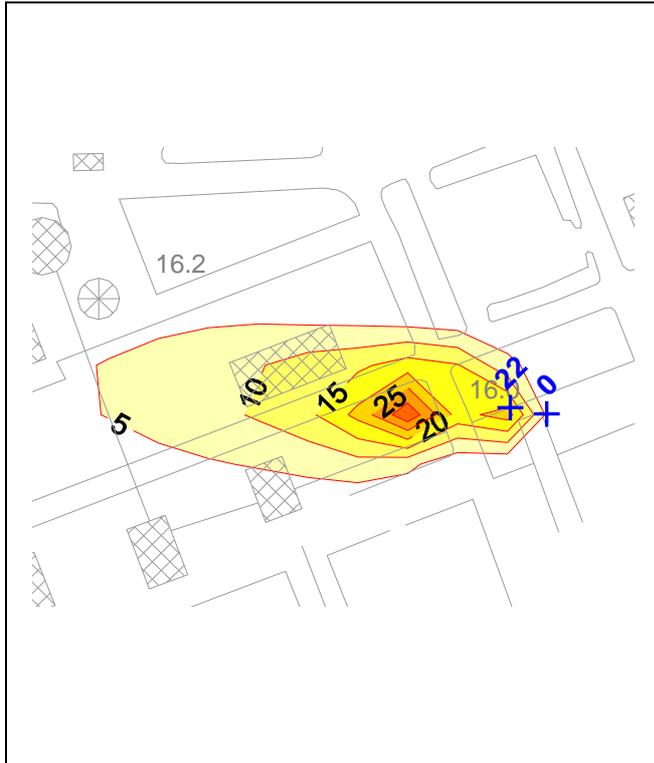


5.4 Assetti di funzionamento del carbonile caratterizzati sperimentalmente

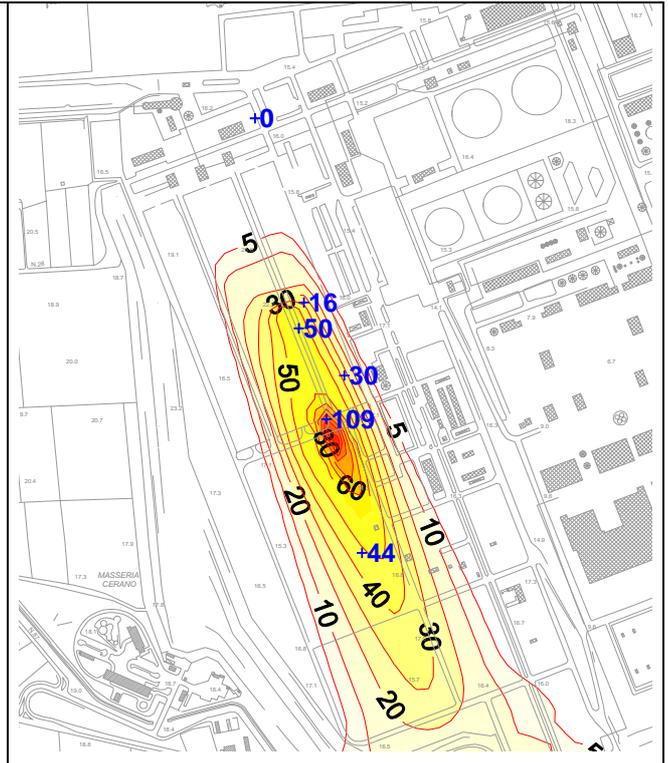
Gli assetti di funzionamento del carbonile caratterizzati con prove sperimentali di breve periodo sono stati i seguenti:

- scarico dei camion in tramoggia N22-N23;
- erosione del carbonile ad opera del vento ;
- operatività della macchina combinata in discarica ed erosione del carbonile;
- operatività della macchina combinata in ripresa, della compattatrice ed erosione del carbonile;
- scarico dei camion a parco con operatività completa (pala gommata ed escavatori), macchina combinata in ripresa ed erosione del carbonile.

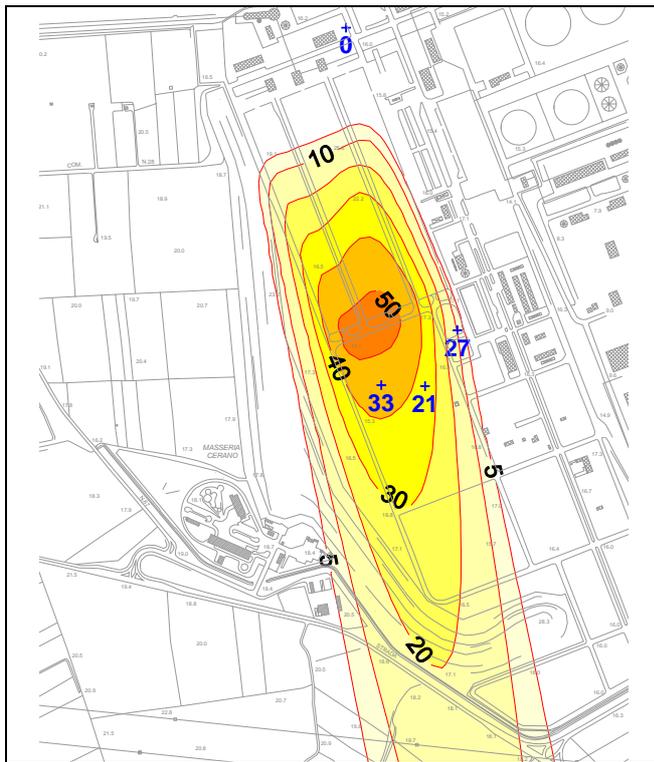
Una volta terminata l'ottimizzazione del programma sperimentale secondo le modalità sopra descritte, per ciascuno assetto sono state condotte prove in condizioni controllate. Nel seguito si riportano le curve di iso-concentrazione (in colore rosso), ottenute dalle elaborazioni modellistiche relative agli assetti sopra descritti, ed il raffronto con i corrispondenti risultati sperimentali (i quali, depurati del livello di fondo, sono riportati in carattere azzurro).



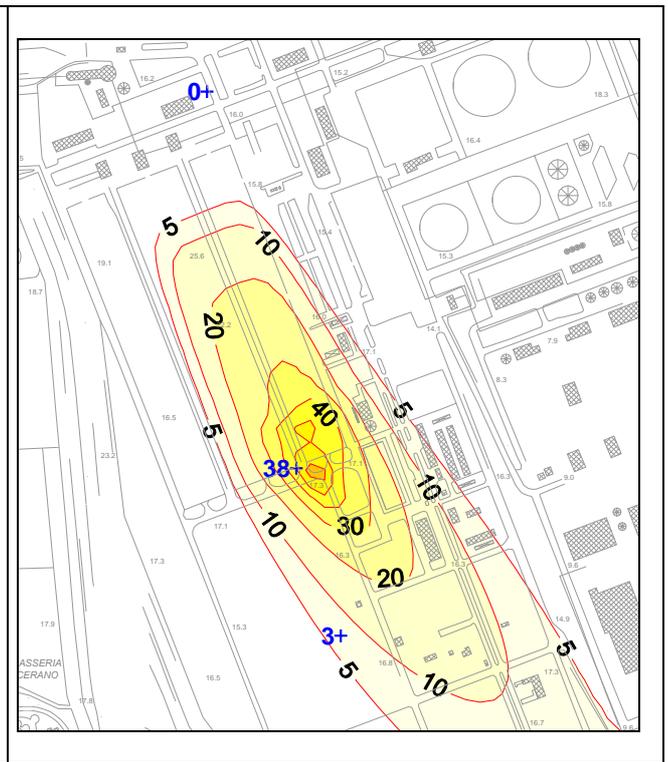
Scarico dei camion in tramoggia N22-N23



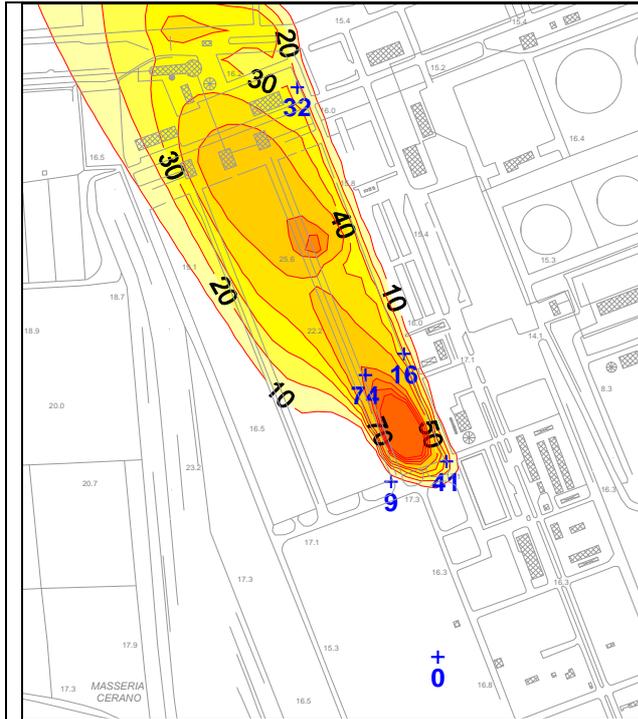
Erosione del carbonile ad opera del vento



Macchina combinata in discarica ed erosione del carbonile



Macchina combinata in ripresa, compattatrice ed erosione del carbonile



Scarico dei camion a parco con operatività completa, macchina combinata in ripresa ed erosione



Scarico dei camion in tramoggia N22-N23

6 ACQUISIZIONE DI DATI SPERIMENTALI DI LUNGO PERIODO ED OTTIMIZZAZIONE DEL MODELLO

I parametri in ingresso al modello, tratti dal confronto dell'elaborazione modellistica con i rilevamenti sperimentali di breve durata di particolato aerodisperso, sono stati ulteriormente affinati applicando la simulazione ad un periodo di campionamento più esteso.

In questa fase lo studio si è allargato anche all'analisi delle deposizioni al suolo di polveri sedimentabili: la valutazione della polverosità di un sito deve infatti comprendere sia l'indagine del particolato aerodisperso sia l'analisi della sua conseguente ricaduta al suolo. I due fenomeni sono strettamente connessi e vanno affrontati in modo integrato.

La conduzione in parallelo di due campagne di rilevamento delle polveri, una delle concentrazioni aerodisperse e l'altra delle deposizioni al suolo, ha pertanto consentito di delineare un quadro completo d'indagine della polverosità nell'area circostante la centrale, riconducibile alle attività svolte sul carbonile.

6.1 Affinamento su lungo periodo del modello di concentrazione

6.1.1 Campagna di misura invernale per il monitoraggio delle concentrazioni aerodisperse di PM10

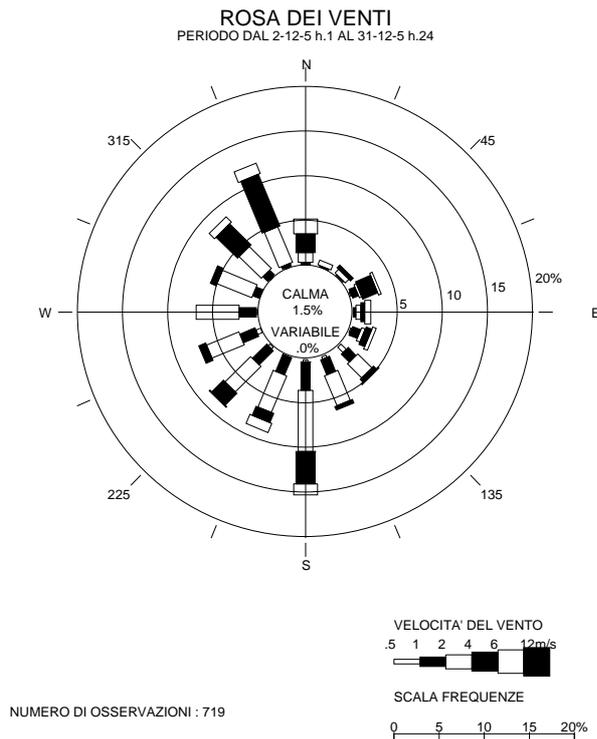
Le concentrazioni di PM10 sono state rilevate nel periodo 2-31 dicembre in sei postazioni: cinque di queste sono dislocate lungo l'asse NNW-SSE, in modo da coprire le zone più frequentemente sottovento rispetto al carbonile ed una è collocata a WSW, quasi sempre sopravento al carbonile.

Internamente alla centrale, i polverometri sono stati collocati presso la sala macchine (postazione denominata "Sapil") e in corrispondenza delle due stazioni meteorologiche del CESI (postazione "Cantiere") e dell'Enel (postazione "Meteo Centrale"). Esternamente alla centrale, i punti di misura sono stati disposti a NW (postazione "Panettieri2"), a SSE (postazione "Dima3") e a WSW (postazione "Enel Ricerca").

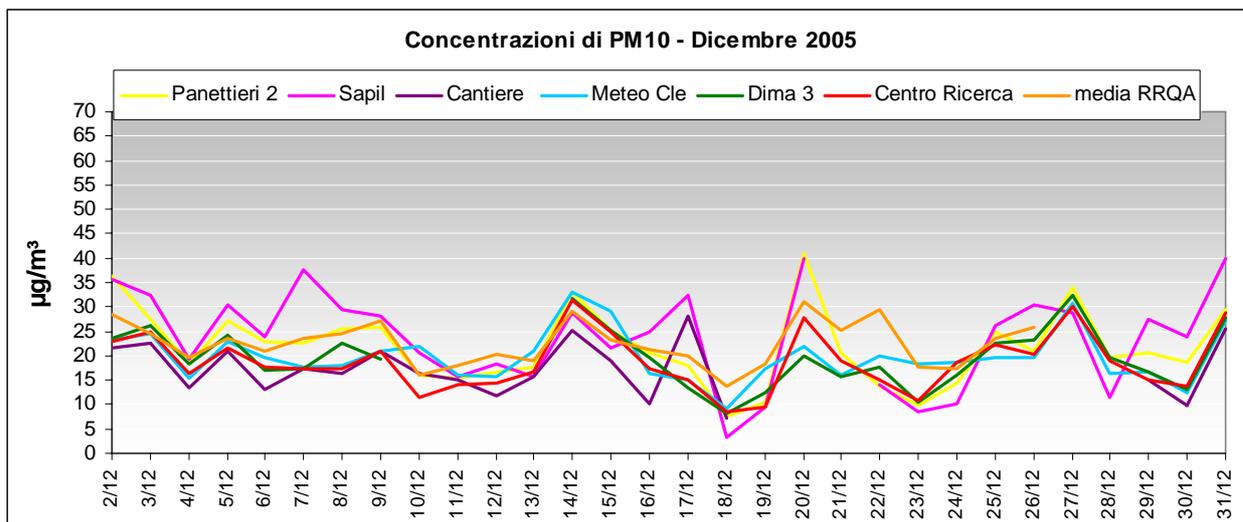
Il recettore meno influenzato dal carbonile, poiché con alta frequenza risulta sopravento, è la postazione di Enel Ricerca collocata a WSW del carbonile: si può pertanto ritenere che nella maggioranza dei casi questa postazione fornisca una stima della polverosità di fondo della zona.

La rosa dei venti³ che hanno interessato l'area in esame nel mese di dicembre, mostra un'evidente polarizzazione lungo l'asse NNW-S, pertanto la disposizione dei recettori è risultata idonea per discriminare l'incidenza del carbonile sulla presenza di particolato aerodisperso. Inoltre, la frequenza di venti provenienti dal quadrante nord-orientale è molto bassa, per cui raramente la postazione Enel Ricerca si è trovata sottovento rispetto al carbonile ed è quindi un buon ricettore per la stima del bianco.

³ Le rose dei venti mostrano la frequenza (%) delle direzioni di provenienza del vento. La frequenza è proporzionale alla lunghezza delle barre, mentre la larghezza ed il colore delle barre si riferiscono alla classe di velocità, secondo quanto riportato nella legenda.



L'analisi delle concentrazioni medie giornaliere di PM10, rilevate nel mese di dicembre, evidenzia un comportamento omogeneo tra i recettori, coerente anche con l'andamento delle polveri totali rilevate dalle postazioni della RRQA di Enel, rappresentative della polverosità del comprensorio e non direttamente influenzate dal carbonile.



In nessuna delle postazioni attivate si è verificato il superamento del limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come media sul periodo, né del limite giornaliero pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore superabile non più di 35 volte l'anno.

Il recettore che registra in genere il più alto livello di polveri è la postazione Sapol, data la sua vicinanza non solo al parco carbone ma anche alla strada percorsa per accedervi e alla tramoggia di scarico dei

camion su nastro. La media sul periodo rilevata a Sapol è comunque molto bassa, pari a $23,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se raffrontata con i valori di riferimento indicati dalla normativa.

Nelle altre postazioni il valore medio nel mese è risultato pari circa a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e quindi di poco inferiore a Sapol.

I minimi si sono registrati in corrispondenza di precipitazioni, nelle giornate 4, 10-12, 18, 22-23 e 28 dicembre.

6.1.2 Raffronto tra misure giornaliere di polveri ed elaborazioni modellistiche

Per valutare l'idoneità del modello, definito sulle misure di breve periodo in condizioni controllate, sono state confrontate alcune misure di polveri giornaliere con le relative simulazioni modellistiche.

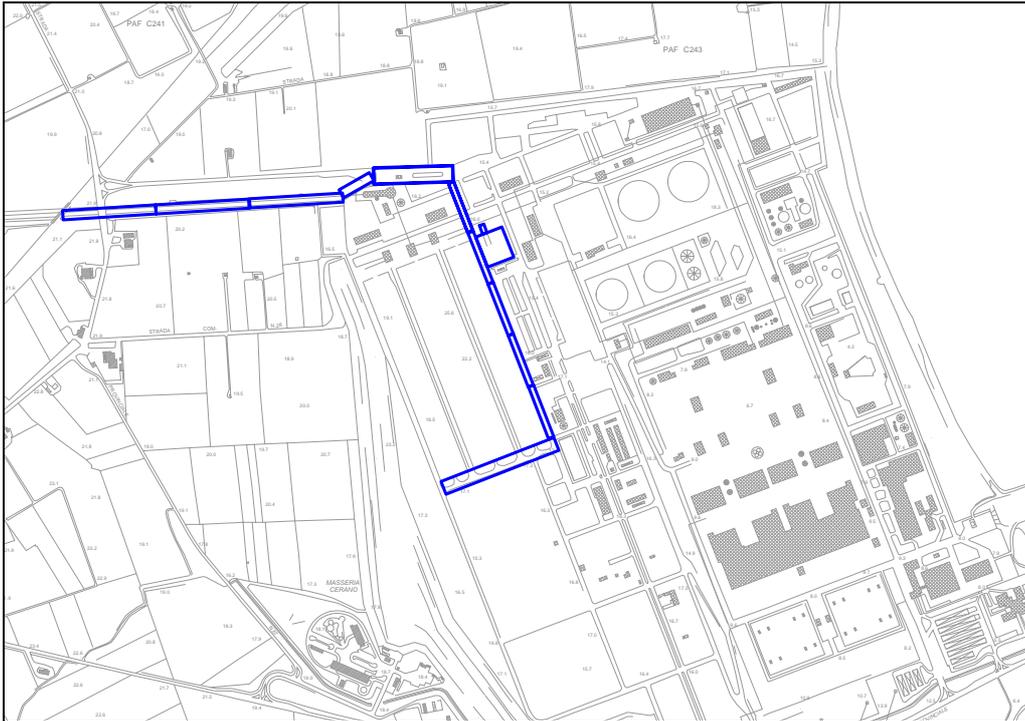
Le giornate in corrispondenza delle quali è stato effettuato il confronto sono state scelte in funzione dei seguenti criteri:

- **Condizioni di vento teso ed assenza di regime brezza**, per individuare la postazione sopravento al carbonile e rappresentativa pertanto del livello di polverosità di fondo;
- **Assenza di precipitazioni** durante l'arco della giornata, poiché l'abbattimento delle polveri impedisce di distinguere l'influenza del carbonile;
- **Disponibilità di dati relativi alla movimentazione del carbone**, per simulare correttamente l'assetto di funzionamento del carbonile (numero dei camion diretti a parco/in tramoggia, quantità di carbone prelevato dal parco ed inviato ai bunker).

Le giornate analizzate sono quattro: il 3 e il 20 dicembre sono rappresentative di una situazione in cui i camion scaricano sia a parco che in tramoggia, mentre il 5 e il 7 dicembre sono rappresentative di una situazione in cui lo scarico dei camion avviene solo in tramoggia.

Nel seguito si riporta lo schema del percorso compiuto dai camion in ingresso a Cerano, diretti a parco o in tramoggia, simulato dal modello; esso comprende:

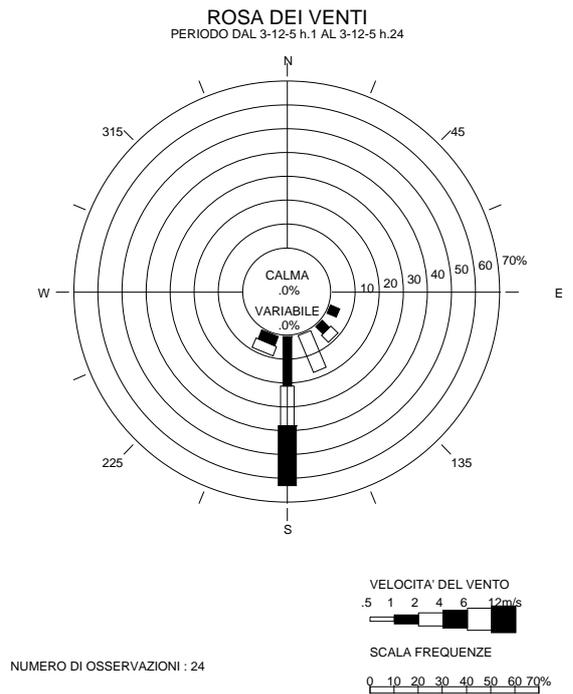
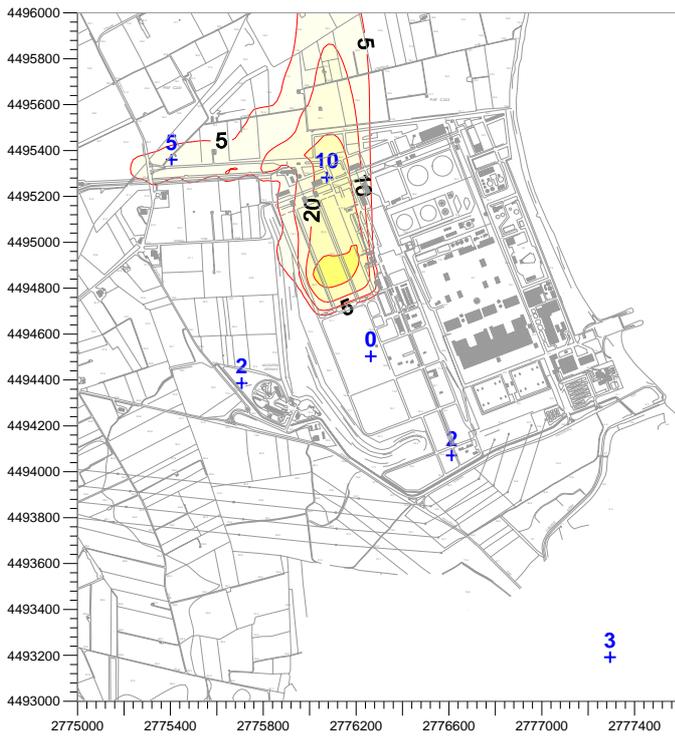
- il tratto finale della strada di accesso alla centrale che affianca l'asse attrezzato, per una lunghezza di circa 700m (tratto vicino alla postazione Panettieri2);
- le strade lungo il perimetro del carbonile, poste a Nord, a Sud e a Est;
- l'area circostante le tramogge di scarico su nastro N22-N23.



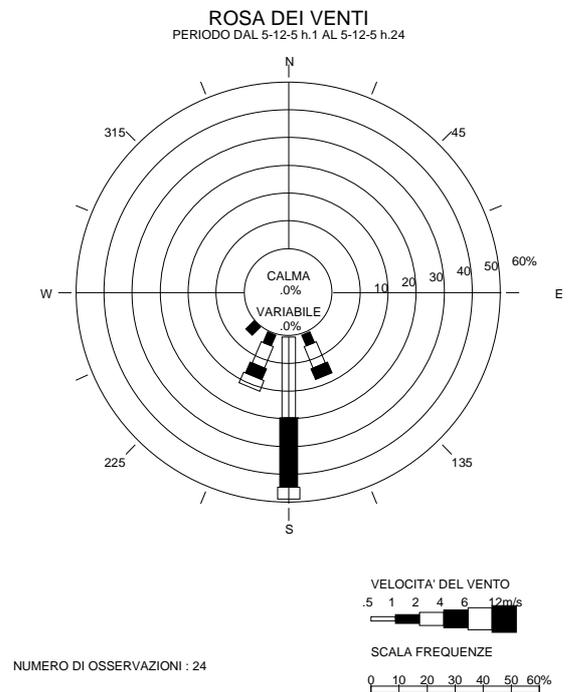
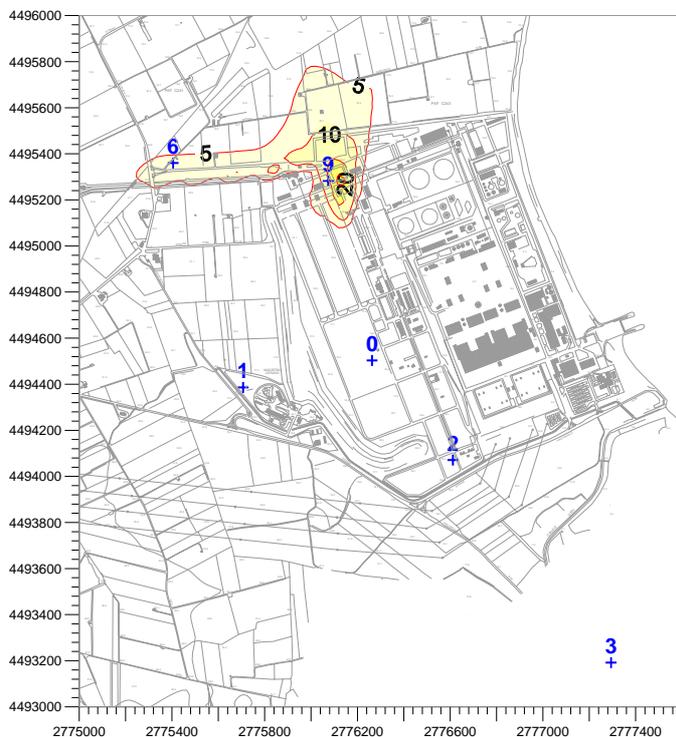
L'erosione del carbonile è stata considerata come una sorgente emissiva di polvere solo in corrispondenza di venti con velocità oraria superiore a 5-6 m/s, soglia che giustifica l'esistenza di un processo di erosione.

Per ciascuna giornata si riporta la rosa dei venti ed il risultato dell'elaborazione modellistica confrontato con le misure sperimentali depurate del livello di fondo.

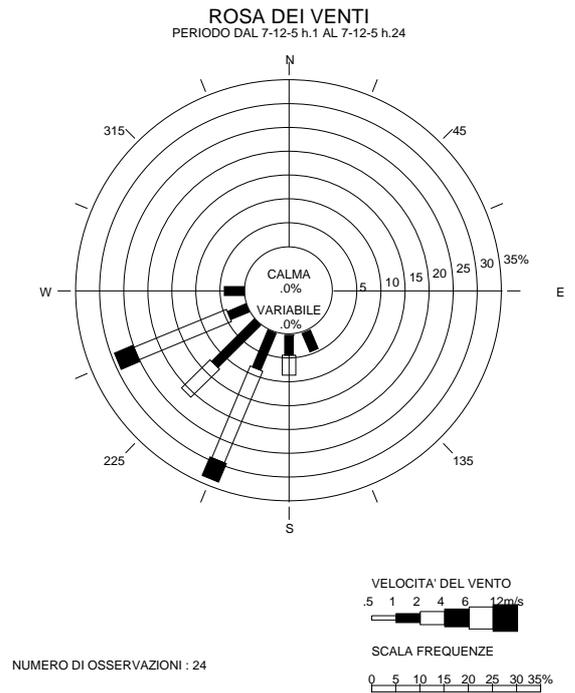
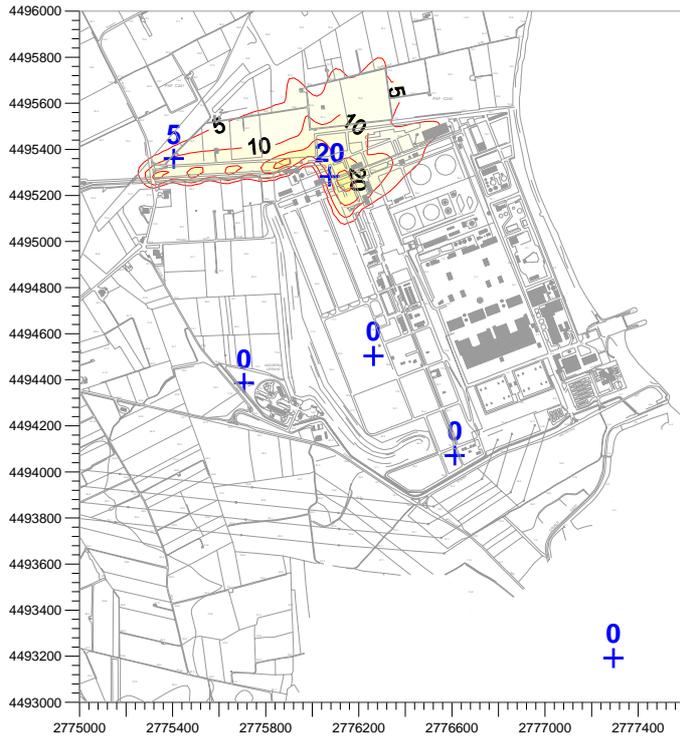
Giornata del 03 dicembre



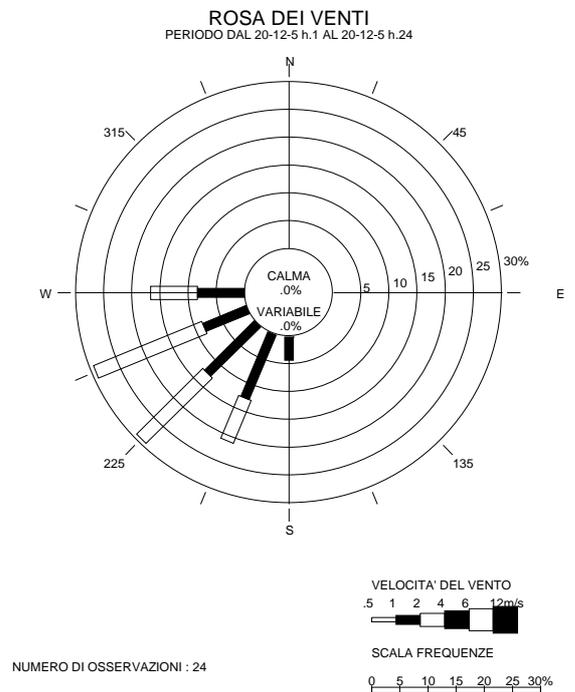
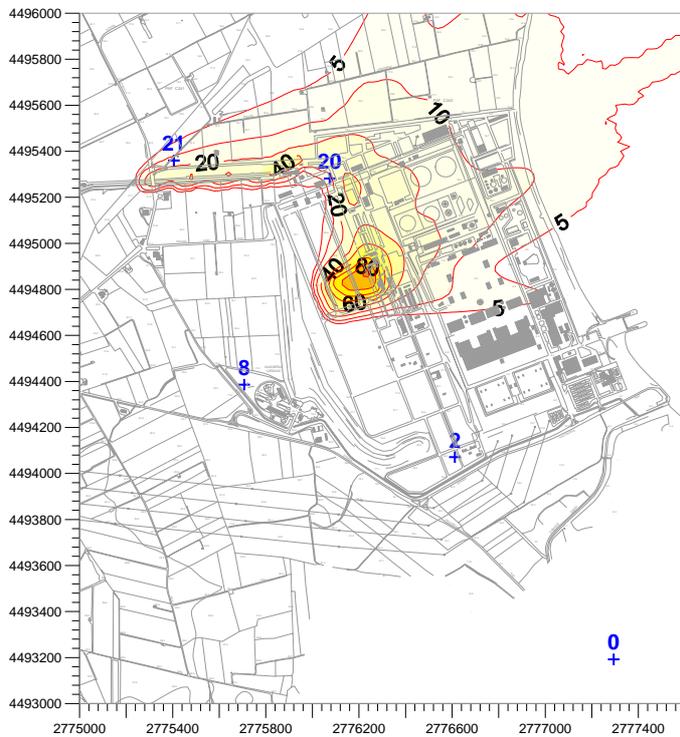
Giornata del 05 dicembre



Giornata del 07 dicembre



Giornata del 20 dicembre



È possibile osservare che il raffronto tra i risultati sperimentali e le corrispondenti elaborazioni modellistiche riferite a diverse condizioni di esercizio del carbonile risulta molto buono e soddisfacente.

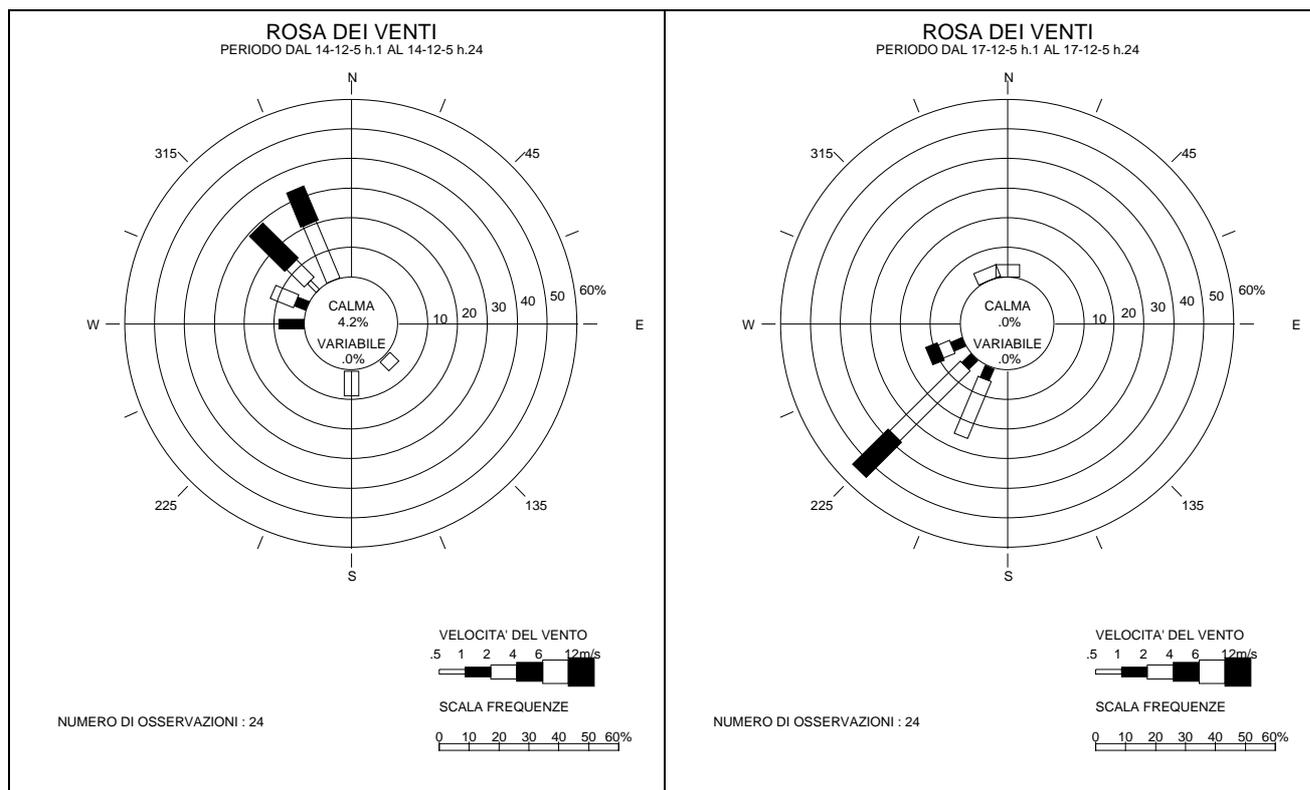
6.1.3 L'analisi del carbonio per la stima del contributo del carbonile

Le fonti di particolato presenti sul comprensorio brindisino sono numerose; per risalire alla provenienza delle polveri e stimare l'influenza di una sorgente rispetto alle altre, in alcuni casi, può essere utile conoscerne la composizione chimica.

Sono state quindi effettuate le analisi chimiche sui filtri di concentrazione in due giornate significative per i livelli di polvere aerodispersa:

- il 14 dicembre, giornata rappresentativa di un innalzamento diffuso della polverosità che coinvolge tutte le postazioni. Vento proveniente da NW-NNW;
- il 17 dicembre, giornata rappresentativa di un inquinamento locale che riguarda esclusivamente le postazioni a ridosso del carbonile. Vento proveniente da SSW-SW.

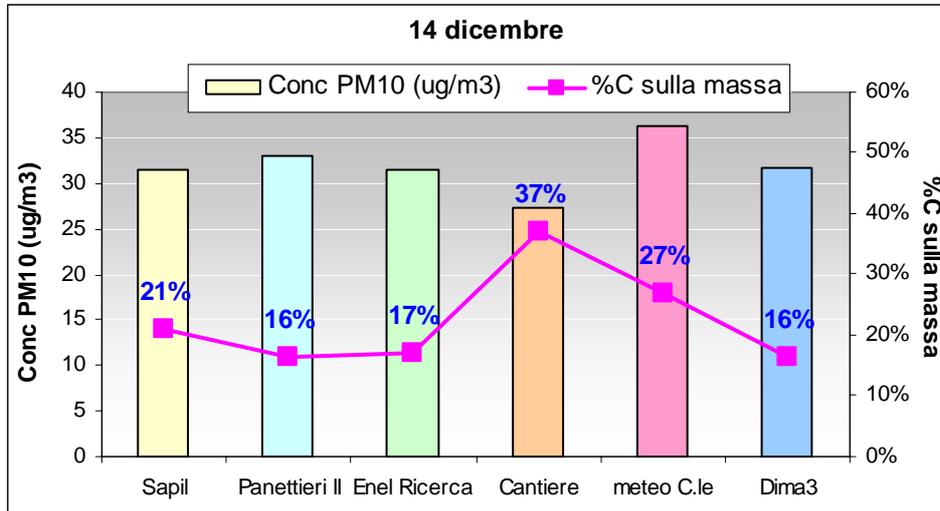
In queste giornate si vuole distinguere il contributo del carbonile attraverso la determinazione analitica del contenuto di carbonio sui campioni di polvere prelevati in aria. La scelta del carbonio totale fornisce una stima certamente conservativa, in quanto è un elemento abbondante anche nella composizione della crosta terrestre. Tuttavia, significativi innalzamenti del suo contenuto si possono ritenere indicativi di un ulteriore apporto proveniente dal carbonile.



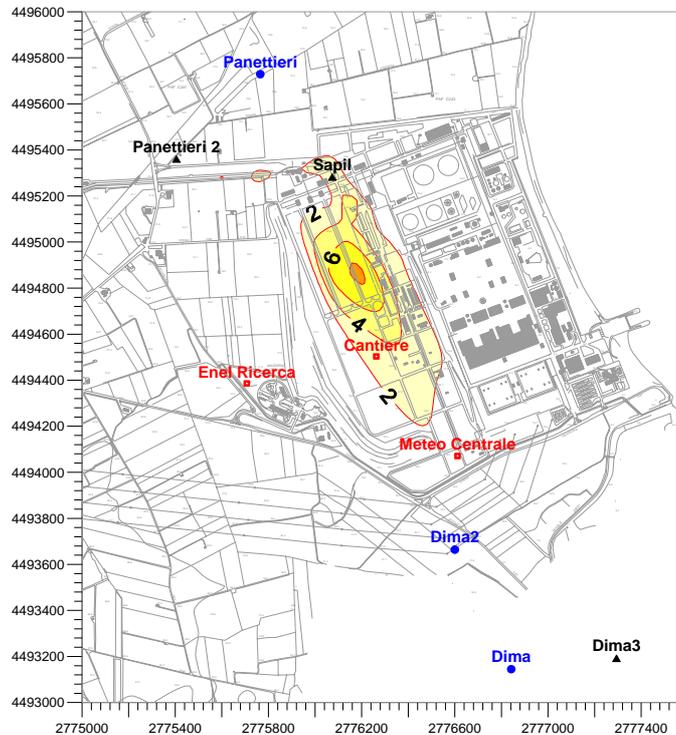
14 dicembre - Inquinamento diffuso

Il 14 di dicembre si è registrato un innalzamento diffuso del livello di polvere, che ha interessato non solo le postazioni adiacenti al carbonile ma tutta l'area monitorata. Siccome il vento proveniva da NW-NNW, la postazione sottovento più vicina al carbonile è stata Cantiere. Si osserva effettivamente che il

contenuto percentuale di carbonio totale è del 37% a Cantiere e si riduce al 27% a Meteo C.le con l'aumentare della distanza dal carbonile. Nella postazione sopravento (Panettieri2), in quella laterale (Enel Ricerca) e in quella sottovento ma molto distante (Dima3), il contenuto di carbonio è inferiore ed omogeneo, pari al 16-17%. SapiI, pur essendo sopravento, misura un valore leggermente più alto pari al 21%, perché interessata dal transito dei camion che trasportano carbone e diretti in tramoggia o a parco.

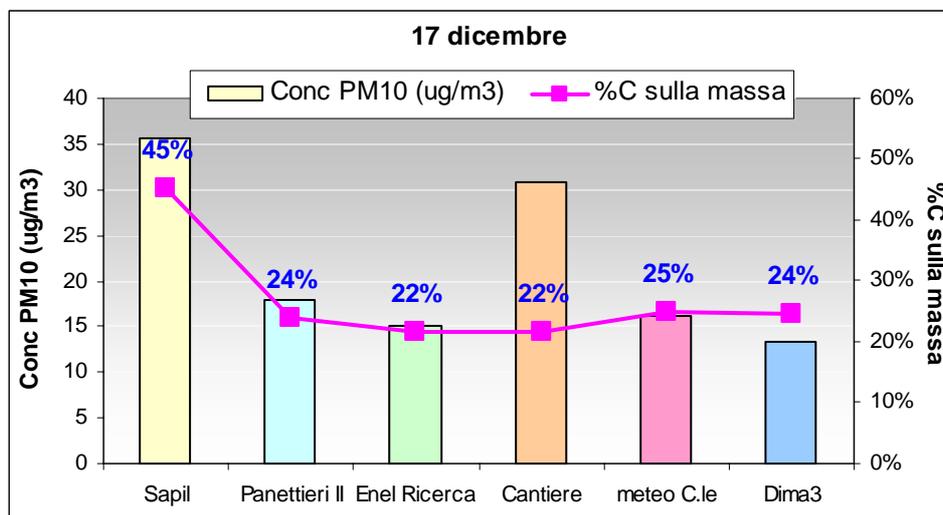


Per cui, nonostante la concentrazione di PM10 sia molto elevata presso tutti i recettori, **il contributo del carbonile emerge solo nelle postazioni sottovento interne all'area della centrale, coerentemente a quanto evidenziato dalle elaborazioni modellistiche.** Infatti a Dima3 e ad Enel Ricerca il contenuto di carbonio è pari al valore misurato sopravento presso Panettieri2.

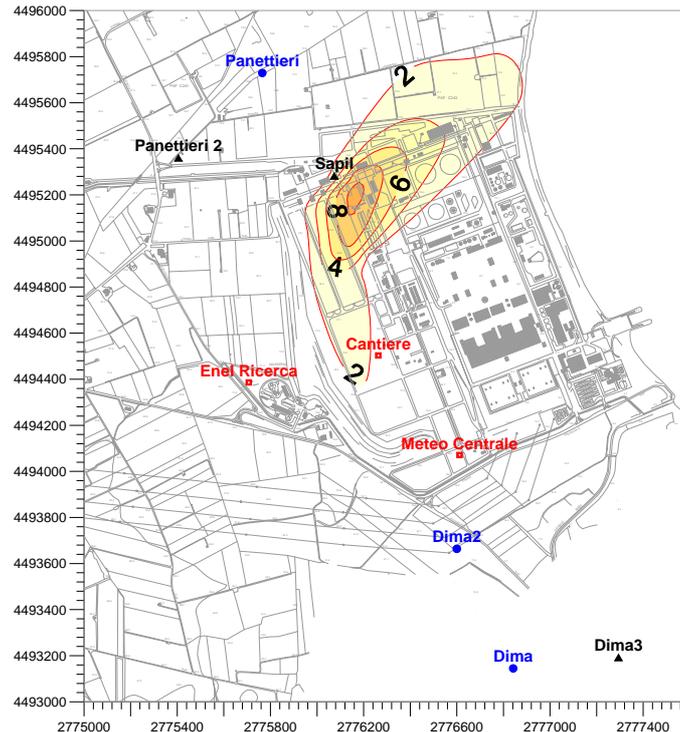


17 dicembre - Inquinamento locale

Il 17 dicembre si è registrato un innalzamento locale del livello di Pm10 nelle postazioni interne alla centrale, Sapol e Cantiere. Poiché il vento proveniva dal quadrante meridionale, l'unica postazione sottovento al carbonile è Sapol in cui, come atteso, il contenuto di carbonio è significativamente maggiore di quello mediamente registrato nelle altre postazioni (45% contro 22-25%).



L'elaborazione modellistica conferma che in questa giornata **l'unica postazione che risente in modo significativo delle attività svolte sul carbonile è Sapol**; i camion hanno infatti scaricato il materiale solo in tramoggia N22-N23, prossima a Sapol, e non a parco. **L'innalzamento di polveri registrato presso la postazione Cantiere è imputabile probabilmente all'apporto di materiale terrigeno, poiché non vi corrisponde un rilevante aumento del contenuto di carbonio.** La postazione è ubicata infatti su un terreno naturale incolto, fonte a sua volta di polverosità perché scarsamente protetto dal manto erboso.



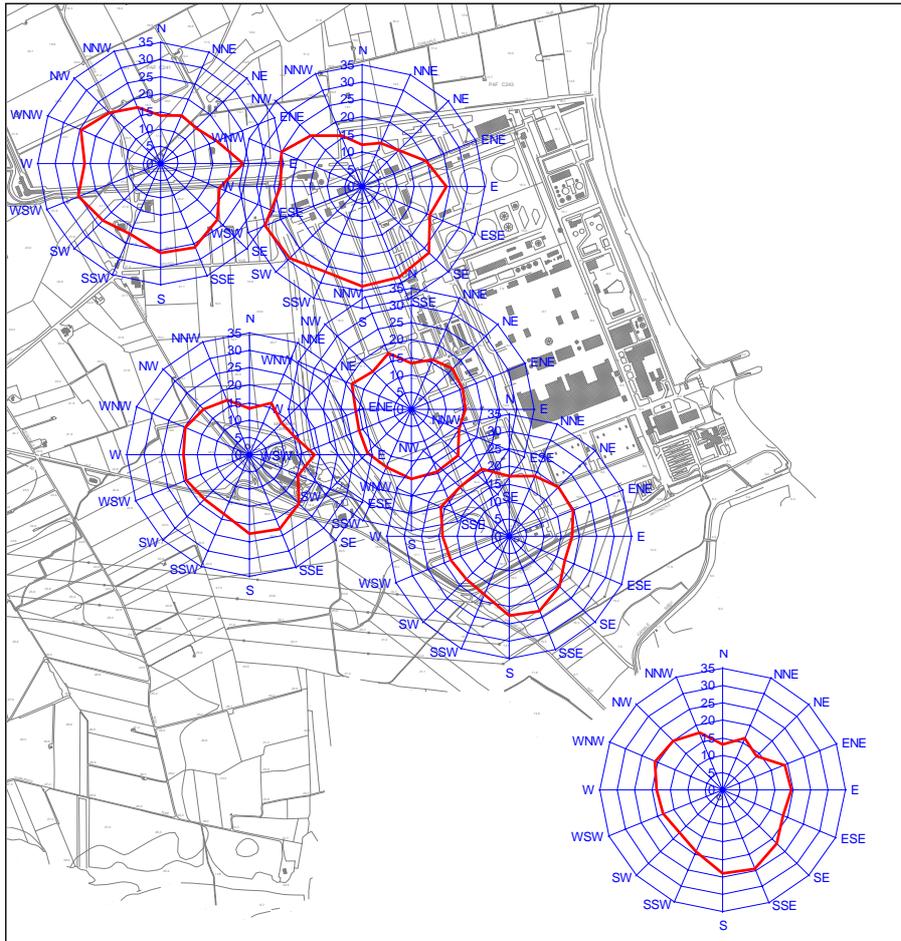
6.1.4 Stima del fondo per le concentrazioni

L'analisi delle rose di vento-concentrazione delle misure di PM10 eseguite nelle sei postazioni durante il mese di dicembre ha evidenziato la provenienza di particolato anche da sorgenti secondarie, non identificabili nelle attività connesse al carbonile.

Difatti, specie nelle postazioni Dima3, Enel Ricerca, Meteo C.le e Cantiere, si osservano innalzamenti dei livelli di polveri in associazione a venti provenienti da quadranti che non includono le attività in oggetto. La postazione Meteo C.le risente ad esempio anche della viabilità lungo la strada litoranea e lungo la via di accesso alla centrale, poste entrambe a sud: la rosa vento-concentrazione è infatti abbastanza omogenea e non rivela un'influenza predominante del carbonile.

Le postazioni dove al contrario emerge più chiaramente il contributo del carbonile sono quelle situate a nord, in particolare Sapi, recettore prossimo alla tramoggia di scarico dei camion su nastro afferente alle caldaie.

Si conferma inoltre la caratteristica "di fondo" di Enel Ricerca, postazione che non presenta rialzi significativi di polverosità anche in corrispondenza degli sporadici casi di venti da NNE-NE.



L'esame delle misure di concentrazione di polveri in relazione alla provenienza dei venti fornisce pertanto un criterio di stima del valore di fondo per il PM10 nelle zone limitrofe alla centrale; la determinazione del livello di polverosità di fondo è necessaria a distinguere, per differenza, il contributo aggiuntivo apportato dalle attività svolte sul parco carbone.

Per ciascuna postazione sono individuabili più settori di provenienza del vento che non coinvolgono l'area interessata dal carbonile (ad esempio il quadrante meridionale per Dima3 o quello occidentale per Enel Ricerca): è corretto ritenere che il particolato misurato in corrispondenza di venti provenienti da queste direzioni non arrivi dal carbonile. Per ciascuna postazione si assume quindi come stima cautelativa del valore della polverosità di fondo in quell'area il 10° percentile della distribuzione delle misure di concentrazione associate a venti provenienti dai settori che non coinvolgono il carbonile.

Adottando questo criterio, il valore di fondo per il PM10 è stimabile intorno ai $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per le postazioni a nord (valore a Panettieri2) e intorno a $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per le postazioni a sud (media tra Cantiere, Meteo C.le, Dima3, Enel Ricerca). L'ordine di grandezza del valore di fondo è confermato dall'analisi delle misure rilevate ad Enel Ricerca, postazione in cui il 10° percentile della distribuzione delle concentrazioni con venti dal quadrante occidentale è pari a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6.1.5 Parametri di esercizio effettivi durante il periodo di indagine per la definizione del rateo di emissione

Il modello di dispersione delle polveri aerodisperse è stato applicato alla stagione invernale, esattamente sul periodo 02–31 dicembre, in modo da poter confrontare i risultati della simulazione con le misure sperimentali effettuate direttamente sul sito.

L'applicazione del modello prevede l'utilizzo dei dati reali relativamente non solo alle condizioni meteorologiche ma anche ai parametri di esercizio effettivi che caratterizzano la fase di indagine.

Pertanto sono state reperite ed utilizzate informazioni relative alle quantità di carbone effettivamente scaricate a Cerano, via nastro e via camion, alle caratteristiche dei mezzi e agli orari di esercizio.

Per ogni sorgente, attraverso la conoscenza dell'effettivo *rateo di attività* (attività/unità di tempo - t/h scaricate in tramoggia) si passa da un *fattore di emissione*, calcolato secondo le indicazioni fornite nei documenti AP42 dell'EPA (g di polvere/unità di attività), ad un *rateo di emissione* specifico per l'attività considerata (g di polvere/unità di tempo).

Il rateo di emissione è infatti la grandezza che correla la quantità di inquinante, rilasciato in atmosfera nell'unità di tempo, con l'attività stessa di rilascio. L'equazione per il calcolo è:

$$ER = A \cdot EF$$

dove:

ER = rateo di emissione (t polvere/h);

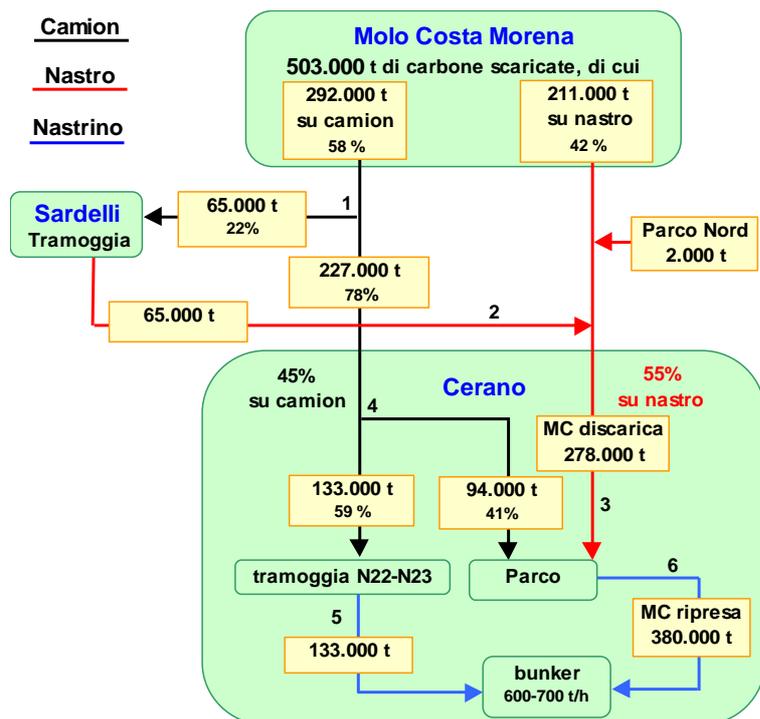
A = rateo di attività (t materiale movimentato/h);

EF = fattore di emissione (t polvere/t materiale movimentato).

Dai dati consuntivi di scarico e trasporto del carbone è noto che nel mese di dicembre sono state scaricate approssimativamente:

- 133.000 t di carbone dai camion in tramoggia N22-N23, Cerano;
- 94.000 t di carbone dai camion a Parco Sud;
- 65.000 t di carbone dai camion in tramoggia N13, area Sardelli;
- 278.000 t di carbone da asse attrezzato a Parco Sud.

I flussi di carbone da Costa Morena a Cerano relativi al mese di dicembre sono sintetizzati nello schema seguente, a cui si affianca una descrizione del percorso:



1. I camion, una volta caricato il carbone a Costa Morena, si dirigono all'area Sardelli (dove scaricano in tramoggia N13) o proseguono per Cerano lungo la strada che affianca l'asse attrezzato.
2. Il carbone scaricato in area Sardelli dai camion prosegue via nastro verso Cerano.
3. Il carbone inviato a Cerano via nastro (proveniente sia dall'area Sardelli, sia dal porto) è scaricato a parco dalle macchine combinate.
4. I camion in ingresso a Cerano scaricano il carbone a parco o nelle tramogge N22-N23.
5. Il carbone, scaricato dai camion nelle tramogge N22-N23, è inviato ai bunker via nastro.
6. Le macchine combinate prelevano carbone dal parco per alimentare l'impianto

A partire dai dati reali sono stati quindi calcolati i ratei di attività di ciascuna sorgente; per caratterizzare le sorgenti sono state inoltre adottate le seguenti ipotesi:

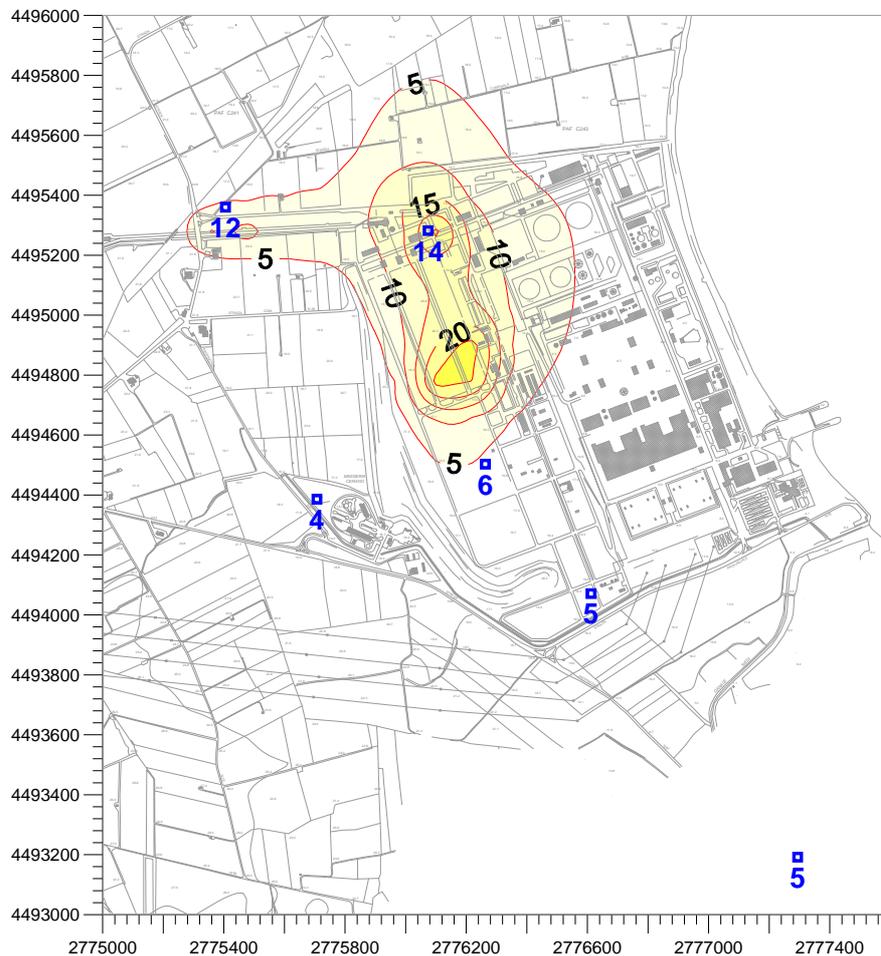
- il materiale prelevato dal parco con le macchine combinate ed inviato ai bunker è stimato sulla base della portata di carbone con cui viene alimentato l'impianto nel periodo, tenendo conto che parte di questo proviene dalle tramogge N22-N23;
- i camion diretti a parco scaricano il carbone nei settori ABCD 7-8-9, area dove operano quindi anche gli escavatori e la pala gommata;
- la quantità di materiale movimentato dalla ruspa compattatrice è funzione della quantità scaricata complessivamente a parco dai camion e dalla macchina combinata.

Il modello generato con i ratei di emissione calcolati sui dati di movimentazione reali del periodo è stato confrontato con le corrispondenti misure sperimentali di polveri aerodisperse. I parametri di input che rappresentano le caratteristiche geometriche e di dispersione delle sorgenti sono stati quindi affinati in modo che vi fosse corrispondenza tra la previsione modellistica e il quadro fornito dalla campagna di indagine invernale. I risultati del modello sono illustrati nel successivo paragrafo.

6.1.6 Risultati dell'elaborazione modellistica sulla stagione invernale

Il grafico seguente riporta l'elaborazione modellistica della concentrazione media di PM10 nel periodo 02-31 dicembre 2005, ottenuta sui dati meteorologici e di esercizio effettivi. Le curve di iso-

concentrazione elaborate dal modello sono di colore rosso ed i corrispondenti risultati sperimentali, depurati del livello di fondo, sono riportati in carattere azzurro.

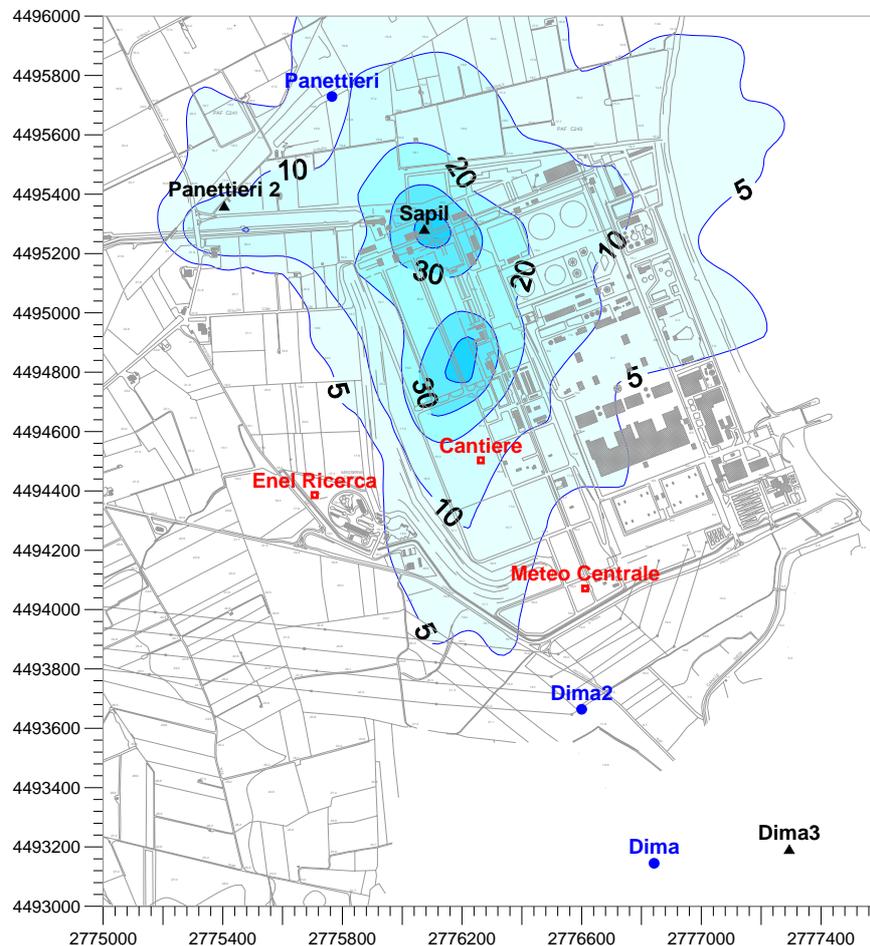


*Concentrazione media sul periodo 02-31/12 e confronto con i dati sperimentali - valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(Valore limite indicato dal DM n°60/02 = $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)*

La dispersione del particolato rispecchia correttamente la distribuzione dei venti in questo periodo, provenienti in prevalenza dai quadranti occidentali. Si osserva che non viene mai superato il valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fissato dalla normativa. La zona di maggior ricaduta del particolato è in ogni caso circoscritta all'area della centrale, in particolare dove avviene lo scarico dei camion, a parco e in tramoggia.

Si osserva infine un ottimo accordo tra la simulazione della ricaduta di polveri aerodisperse, riconducibili al carbonile, e le corrispondenti misure sperimentali di PM10, opportunamente depurate del livello di fondo. Fa eccezione la postazione Panettieri2, dove la previsione è inferiore al valore misurato a causa dell'effetto della viabilità ordinaria lungo la strada posta a Sud.

Allo scopo di individuare le situazioni di maggiore criticità associate alle condizioni meteorologiche più sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti, è stata elaborata anche la mappa del 90.41^{esimo} percentile delle concentrazioni medie giornaliere.



*Concentrazione media giornaliera superata 2.9 volte nel periodo 02-31/12 - valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(Valore limite indicato dal DM n°60/02 per il 90.411° percentile = $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)*

Nell'area di ricaduta, pur estesa oltre il confine della centrale, non si evidenziano superamenti dei limiti applicati dalla normativa.

6.2 Applicazione del modello alle deposizioni di polveri sedimentabili

La caratterizzazione delle sorgenti di polverosità sul carbonile, definita attraverso lo studio delle polveri aerodisperse, è stata utilizzata come input per simulare anche la deposizione al suolo di particolato sedimentabile.

La simulazione modellistica relativa alle deposizioni è stata elaborata sulla stagione invernale 2005-2006, come avvenuto per le concentrazioni aerodisperse. La deposizione attribuibile al carbonile stimata dal modello, è stata quindi confrontata con le misure sperimentali di deposizione condotte in diverse

postazioni dislocate nelle aree limitrofe alla centrale, allo scopo di valutare la congruenza della simulazione modellistica alle misure sperimentali.

6.2.1 Campagna di misura invernale per il monitoraggio delle deposizioni al suolo di polveri sedimentabili

Parallelamente alla campagna invernale di monitoraggio delle concentrazioni aerodisperse è stata condotta anche una campagna di misura delle deposizioni al suolo di polveri sedimentabili.

L'indagine è stata sviluppata su un intervallo rappresentativo della stagione invernale, che va dal 02 dicembre 2005 al 11 gennaio 2006. In questo periodo è stata misurata la deposizione al suolo di particolato sedimentabile in otto postazioni, dislocate nell'area interna ed esterna alla centrale. Cinque di queste corrispondono ai siti in cui sono state rilevate anche le concentrazioni aerodisperse, mentre le altre tre sono state aggiunte per fornire un quadro più dettagliato dell'area ed evidenziare eventuali contributi estranei al carbonile. Le tre postazioni aggiuntive sono state disposte lungo l'asse NNW-SSE che attraversa il carbonile: Panettieri a nord, Dima1 e Dima2 a sud dello stesso.

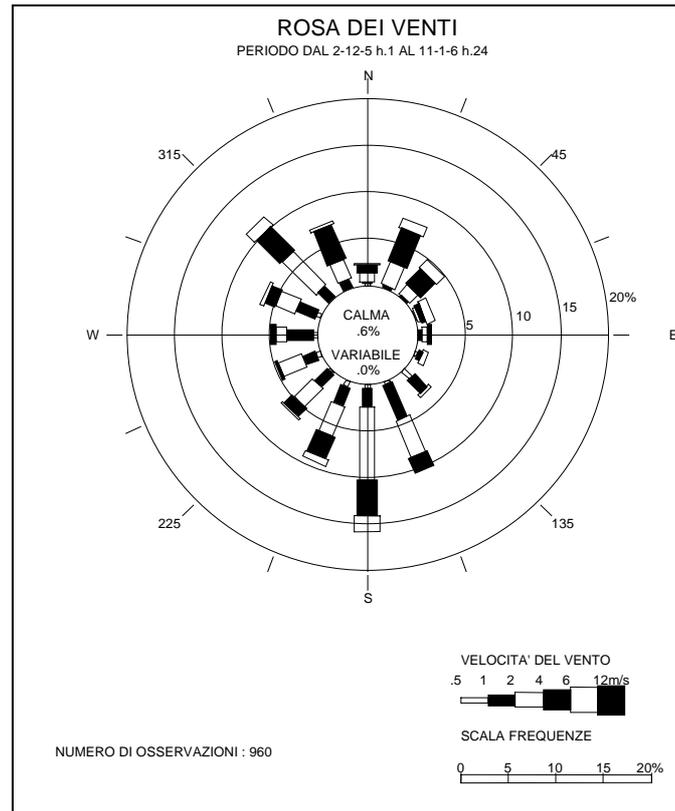


Deposimetro collocato nella postazione Panettieri



Deposimetro collocato nella postazione Dima1

I venti in questo periodo provengono in prevalenza dai settori SSE-SSW e da NW; scarse sono invece le correnti da est.



Si riportano in tabella i valori di deposizione secca, umida e totale misurati sul periodo in esame:

<i>02 dicembre – 11 gennaio</i> Postazione	Deposizione SECCA	Deposizione UMIDA insolubile	Deposizione TOTALE
	mg/m ² /gg	mg/m ² /gg	mg/m ² /gg
Panettieri	10.4	9.7	20.1
DIMA 1	-	-	19.1
DIMA 2	23.5	2.2	25.7
Cantiere	54.2	6.8	61.0
Meteo Centrale	19.4	5.7	25.1
Enel Ricerca	12.9	5.4	18.3
Panettieri2	48.1	4.9	53.0
DIMA3	53.8	3.9	57.7

Dal confronto con la classificazione proposta dal gruppo di lavoro della Commissione Centrale del Ministero dell'Ambiente contro l'inquinamento atmosferico, emerge che ovunque, sia fuori sia dentro all'area della centrale, la polverosità è praticamente assente poiché la deposizione totale è minore di 100 mg/m²/gg.

classe di polverosità	polvere totale sedimentabile mg/m ² /gg	indice di polverosità
I	<100	praticamente assente
II	100 - 250	bassa
III	251 - 500	media
IV	501 - 600	medio - alta
V	>600	elevata

Le deposizioni misurate in questa stagione sono molto basse poiché le condizioni ambientali riducono il potenziale di rilascio di polveri. La minore insolazione e le precipitazioni più frequenti determinano infatti un aumento del contenuto superficiale d'acqua del materiale, che ne garantisce una maggiore coesione e ne limita la naturale propensione alla dispersione in atmosfera. Analogamente si riduce il sollevamento di particolato dalle strade, dovuto ai mezzi che vi transitano.

Le postazioni in cui si è registrato il più alto valore di deposizione sono Cantiere, Panettieri2 e Dima3. Nelle altre postazioni, collocate esternamente alla centrale, la situazione è omogenea in tutte le direzioni, poiché a nord (Panettieri), a sud (Dima1, Dima2) e ad ovest (Enel Ricerca) il livello di deposizione totale è compreso tra 18 e 26 mg/m²/gg.

6.2.2 Parametri di esercizio effettivi durante il periodo di indagine

Come per il modello di concentrazione, così per quello di deposizione sono stati acquisiti i parametri di esercizio del carbonile relativi all'intero intervallo di simulazione. Alle quantità di materiale movimentate nel periodo 02-31/12/05, sono da aggiungere quelli relativi ai primi undici giorni di gennaio, pari circa a:

- 4.500 t di carbone in tramoggia N22-N23 a Cerano
- 9.000 t di carbone a Parco Sud dai camion
- 70.500 t in tramoggia N13 in area Sardelli

Sono mantenute valide le ipotesi relativamente alla movimentazione del carbone, adottate in precedenza per il modello di concentrazione.

6.2.3 Stima del fondo per le deposizioni al suolo

La sola analisi delle misure di deposizione non è sufficiente per stimare il livello di fondo ambientale delle polveri sedimentabili. A differenza delle polveri aerodisperse, non è possibile infatti associare ad una misura di deposizione un'unica provenienza del vento, data l'estesa base temporale su cui è indicativo valutare questo tipo di misura (almeno 1 mese).

Tuttavia l'analisi della rosa dei venti conferma che la frequenza con cui Enel Ricerca si trova sottovento al carbonile è decisamente modesta; a questo si aggiunge la considerazione che presso l'area di Enel

Ricerca non sono effettuate operazioni agricole o attività di movimento terra che potrebbero generare la risospensione di polvere nella postazione. Sulla base di queste valutazioni si conferma il carattere di “*polverosità di fondo*” associabile alla postazione Enel Ricerca.

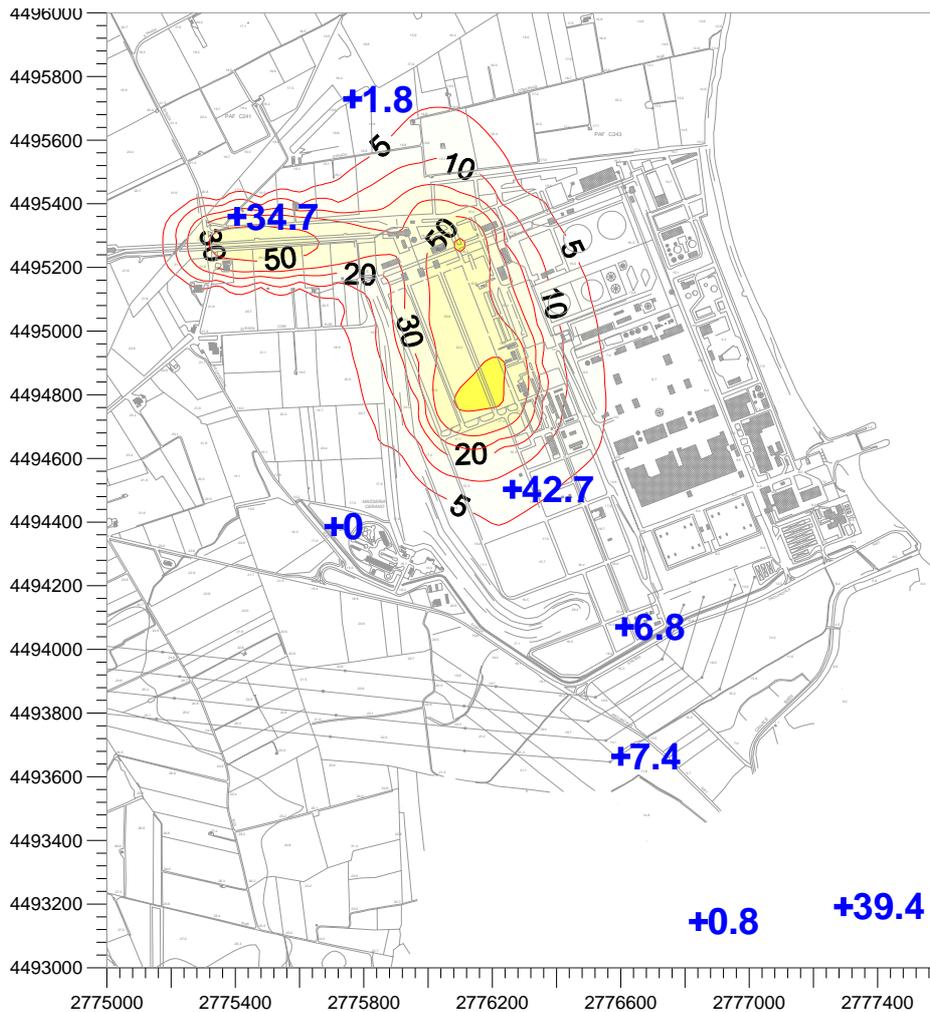
La misura sperimentale di polverosità sedimentabile presso Enel Ricerca, pari a 18 mg/m²/gg, risulta inoltre confrontabile con quella rilevata presso le postazioni più lontane (Meteo Centrale, Dima1, Dima2), a dimostrazione che le ricadute sono trascurabili già ad una distanza di circa 800 m a Sud del carbonile.

Tale osservazione conferma inoltre le indicazioni emerse dall'applicazione modellistica relativa alla dispersione di PM10.

Dall'analisi dei dati appare infine evidente la significativa influenza di una sorgente locale sulla polverosità sedimentabile di Dima3, in cui il valore misurato (57.7 mg/m²/gg) risulta notevolmente superiore a quelli riscontrati nelle postazioni limitrofe (Dima1 e Dima2), pur mantenendosi nella classe I di polverosità.

6.2.4 Confronto tra la deposizione attribuibile al carbonile e le misure sperimentali

Il grafico seguente riporta l'elaborazione modellistica della deposizione totale (secco+umido) giornaliera di polveri sedimentabili, ottenuta sui dati meteorologici e di esercizio effettivi del periodo 02/12/2005-11/01/2006. Nel medesimo grafico sono inoltre riportate le misure sperimentali di deposizione totale giornaliera (valori in carattere azzurro), opportunamente depurate del valore di fondo.



Deposizione totale giornaliera sul periodo 02/12/2005–11/01/2006 e confronto con i dati sperimentali valori in mg/m²/g

E' buona la congruenza tra risultato modellistico e misure sperimentali rilevate sul periodo simulato.

Nella postazione Cantiere la stima del modello è inferiore al valore sperimentale poiché probabilmente la misura risente della polverosità del terreno su cui è collocato lo strumento (come indicato in precedenza, vedi paragrafo 6.1.3).

Le misure di particolato, acquisite durante la campagna invernale di monitoraggio dell'aria, hanno consentito di apprezzare l'incidenza di fattori esterni al carbonile sulla polverosità dell'area circostante la Centrale; in particolare è stato evidenziato che la polverosità indotta dalle attività di movimentazione del carbone è contenuta in ambito molto ristretto e limitato alle zone interne all'area della Centrale.

Inoltre i dati sperimentali, raccolti direttamente sul sito di interesse, hanno consentito la stima della polverosità di fondo e hanno rappresentato un valido strumento di confronto per affinare il modello matematico di dispersione delle polveri in atmosfera e di deposizione al suolo.

7 CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE COMPLETA DELLE POLVERI SEDIMENTABILI

La valutazione della polverosità nell'intorno della centrale prevede che la caratterizzazione sperimentale delle polveri sedimentabili si estenda per un intero anno, al fine di appurare gli effetti derivanti sia dalla variabilità stagionale e sia dal verificarsi di eventi straordinari e non controllabili.

La campagna di monitoraggio delle polveri sedimentabili ha avuto quindi inizio nell'estate 2005 e prosegue tuttora, con un'esposizione dei deposimetri di durata variabile tra 40 e 90 giorni.

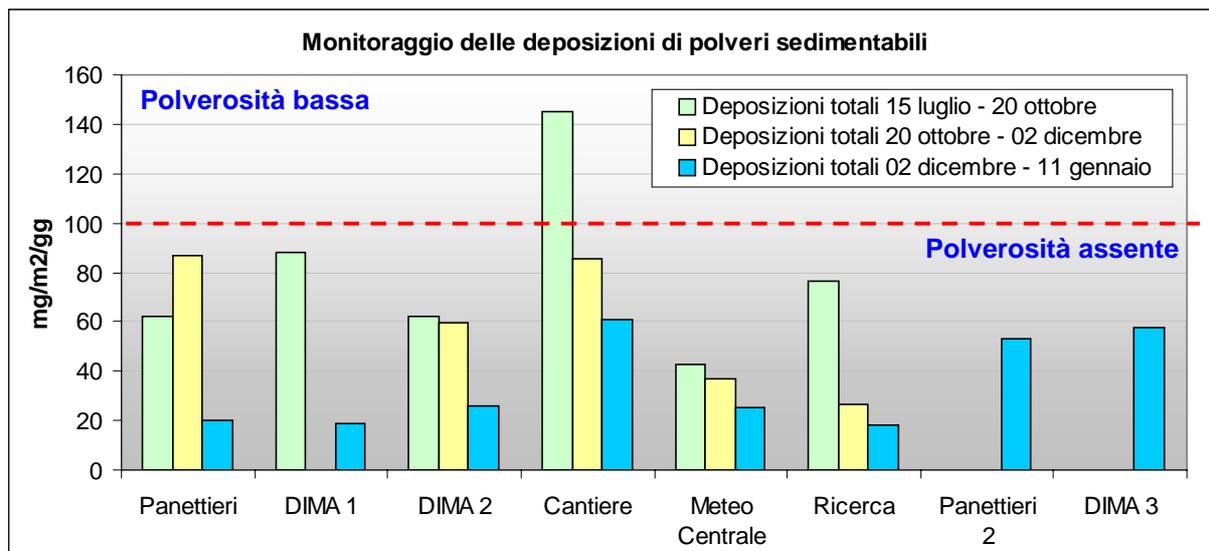
Ad oggi sono disponibili i risultati di tre campagne di rilevamento: il primo periodo è rappresentativo della stagione estiva (15 luglio-20 ottobre), il secondo di quella autunnale (20 ottobre-2 dicembre) ed il terzo di quella invernale (2 dicembre-11 gennaio).

Si riportano nelle seguenti tabelle i risultati delle prime due campagne di misura:

<i>15 luglio – 20 ottobre</i> Postazione	Deposizione SECCA	Deposizione UMIDA insolubile	Deposizione TOTALE
	mg/m ² /gg	mg/m ² /gg	mg/m ² /gg
Panettieri	52.7	9.3	62.0
DIMA 1	82.2	5.8	88.0
DIMA 2	59.7	2.8	62.5
Cantiere	141.7	3.3	145.0
Meteo Centrale	40.7	1.9	42.6
Enel Ricerca	73.1	3.4	76.5

<i>20 ottobre – 2 dicembre</i> Postazione	Deposizione SECCA	Deposizione UMIDA insolubile	Deposizione TOTALE
	mg/m ² /gg	mg/m ² /gg	mg/m ² /gg
Panettieri	62.9	24.1	87.0
DIMA 2	58.5	1.2	59.7
Cantiere	79.7	5.7	85.4
Meteo Centrale	30.8	6.0	36.8
Enel Ricerca	23.8	2.6	26.4

I valori di deposizione media giornaliera, rilevati nei tre periodi, sono messi a confronto nel grafico seguente: si osserva che ovunque e in tutte le stagioni, la polverosità è molto bassa, valutabile in classe I (<100 mg/m²/gg – polverosità assente) e, in un solo caso, in classe II (100-250 mg/m²/gg – polverosità bassa.). In tutte le postazioni è visibile inoltre una significativa riduzione della polverosità nel passare dall'estate all'inverno, variabile tra il 40% e l'80%.



8 ESTENSIONE AD UN ARCO TEMPORALE ANNUO DELLA PREVISIONE MODELLISTICA PER IL PARTICOLATO AERODISPERSO E PER LE DEPOSIZIONI

Il raffronto tra la simulazione modellistica e le misure sperimentali ha consentito di caratterizzare le sorgenti di polverosità sul carbonile. Il modello generato è stato quindi utilizzato per estendere l'elaborazione ad un arco temporale annuo, avvalendosi di un'ampia sequenza di dati meteorologici rappresentativi delle condizioni tipiche dell'area brindisina.

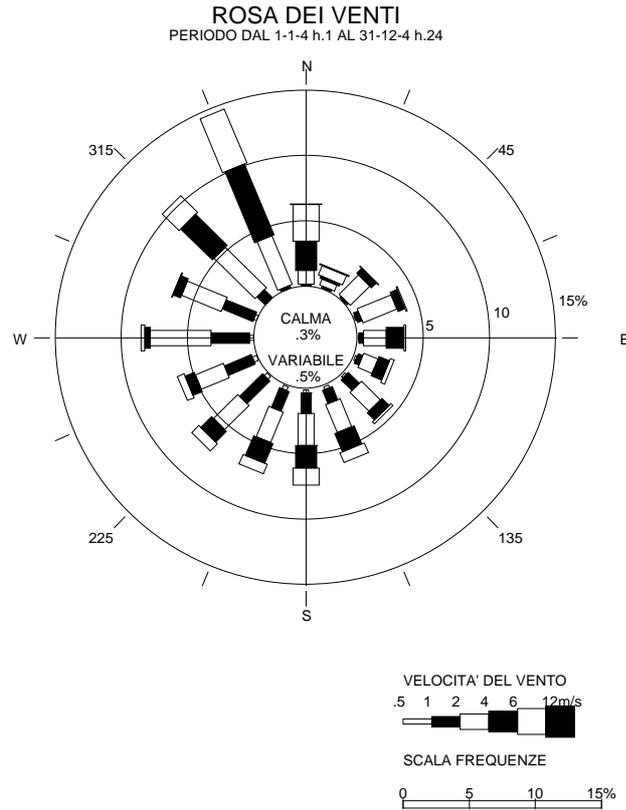
8.1 Input meteorologico

L'estensione su base temporale annuale dell'elaborazione modellistica, si avvale dei dati meteorologici rilevati dalla postazione meteo della Centrale ENEL nel corso dell'anno 2004.

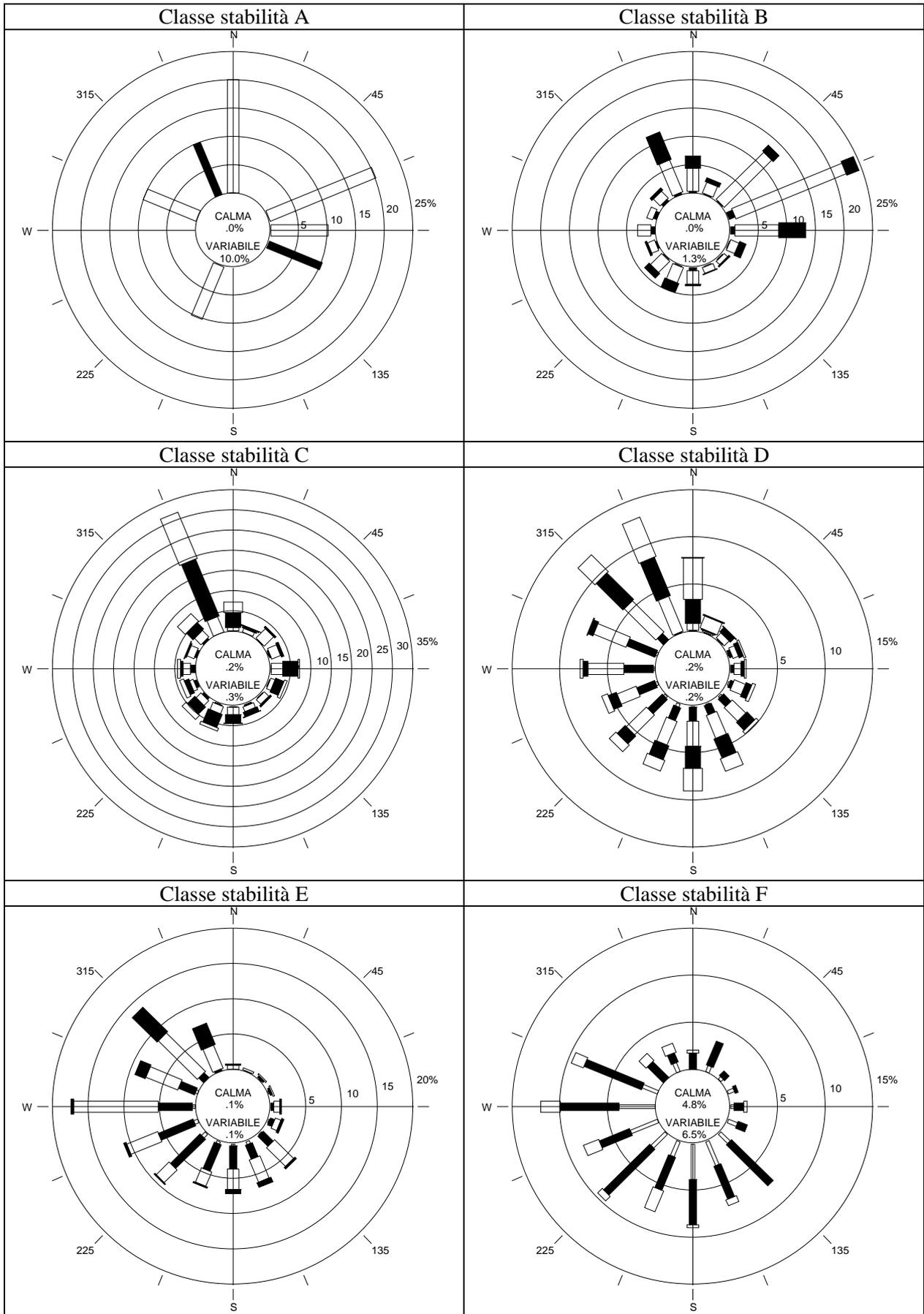
Dai rilevamenti eseguiti in quest'intervallo temporale sono stati estratti 8.352 record orari corrispondenti a 348 giorni completi, equamente ripartiti tra i vari mesi dell'anno.

Un data set meteorologico molto esteso consente di contemplare tutte le condizioni di turbolenza atmosferica, vento e precipitazioni, che incidono principalmente sulla dispersione del particolato atmosferico.

Le figure seguenti mostrano la rosa dei venti complessiva relativa all'intero periodo considerato e le rose dei venti per ciascuna classe di stabilità.



Le situazioni di notevole turbolenza atmosferica sono associate a venti provenienti in prevalenza dai settori nord-orientali (Classi A, B) In condizioni di atmosfera neutra aumenta la frequenza dei venti dai settori nord-occidentale e meridionale(Classi C, D). Le correnti dal quadrante meridionale e da ovest sono invece predominanti in corrispondenza di condizioni di stabilità atmosferica che si verificano generalmente a partire dal tardo pomeriggio e permangono fino al mattino (Classi E, F).



8.2 Simulazioni modellistiche su un arco temporale annuo

L'estensione dell'elaborazione modellistica all'arco temporale annuo è stata effettuata secondo tre differenti scenari, in relazione alle modalità di trasporto del carbone da Costa Morena a Cerano: il primo scenario è valutato sui dati consuntivi di movimentazione del carbone relativi all'anno 2004 (*31% del trasporto del carbone su camion da Costa Morena, 69% su nastro da Costa Morena e da Area Sardelli*), mentre gli altri due scenari sono rappresentativi di situazioni verosimili opposte, in cui in un caso aumenta il trasporto di carbone su camion (*scenario2: 48% su camion, 52% su nastro*) e nell'altro quello su nastro (*scenario 3: 16% su camion, 84% su nastro*).

Il rateo di emissione per la movimentazione del carbone è modulato sull'ora del giorno in funzione della velocità del vento; l'emissione dovuta al transito dei camion varia con la stagione in relazione al differente grado di bagnatura delle strade; l'erosione eolica del carbonile varia invece mensilmente, in funzione della piovosità e della frequenza con cui si presentano venti con velocità superiore ad una determinata soglia.

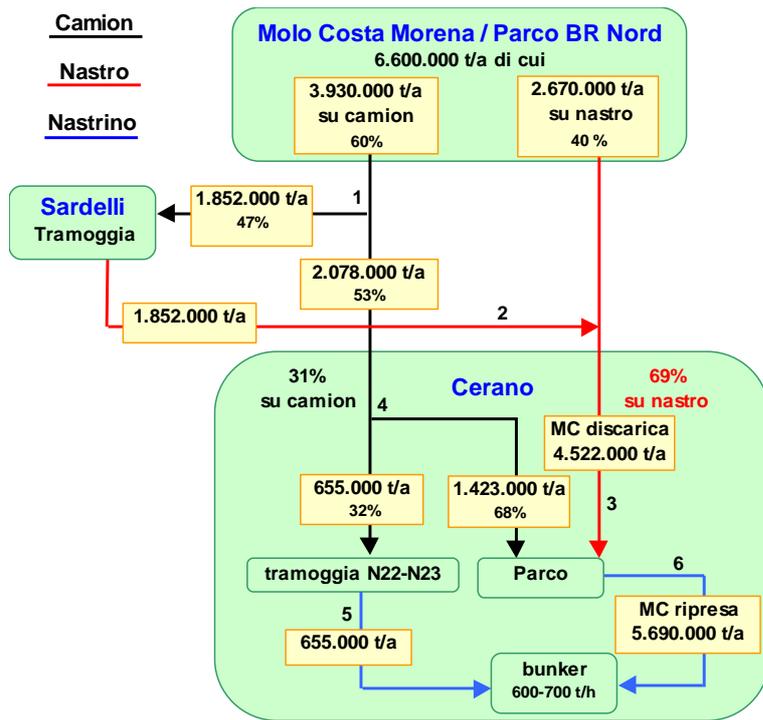
Si riportano per ogni scenario i flussi di carbone (reali per lo scenario1, ipotizzati negli altri due scenari) ed i risultati del modello per le concentrazioni medie annuali, per le concentrazioni medie giornaliere superate 35 volte in un anno e per le deposizioni medie giornaliere.

I risultati per le polveri aerodisperse sono confrontabili con i limiti imposti dal D.M. n° 60 del 2 aprile 2002; per le deposizioni non esistono ancora riferimenti normativi, per cui ci si attiene alla classificazione proposta dal Ministero dell'Ambiente contro l'Inquinamento Atmosferico.

8.2.1 Primo scenario: dati consuntivi del 2004

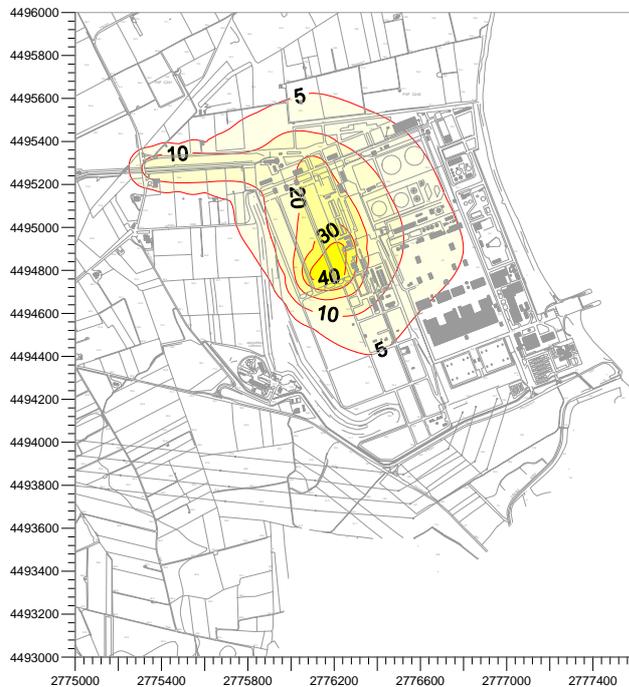
Il primo scenario è ottenuto sui dati consuntivi del 2004, anno durante il quale il nastro trasportatore del carbone da Costa Morena a Cerano è stato indisponibile all'uso per il 36% del tempo, a causa di guasti di diversa origine e per consentirne la manutenzione. Il materiale diretto al carbonile è arrivato quindi per il 31% su camion e per il restante 69% su nastro.

I ratei di emissione delle sorgenti sono stati calcolati secondo i quantitativi riportati nello schema seguente e sono state mantenute le ipotesi di movimentazione adottate nelle precedenti analisi (vedi 6.1.5).

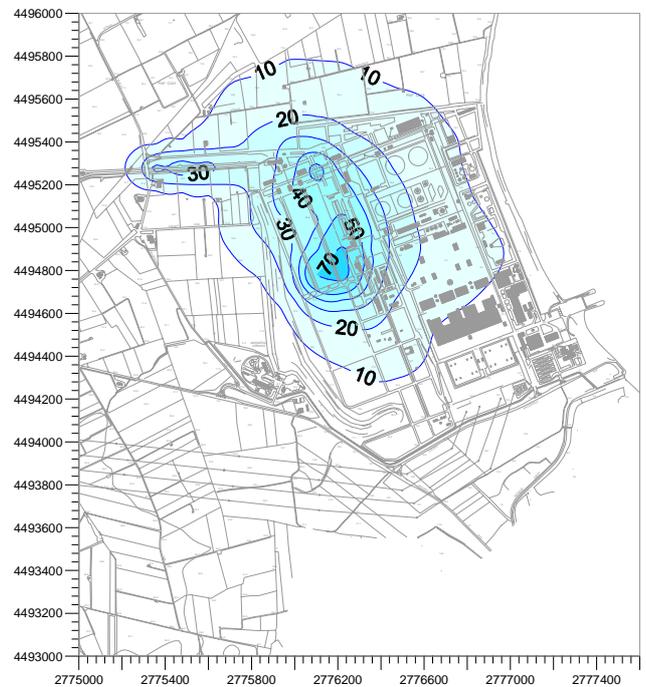


1. I camion, una volta caricato il carbone a Costa Morena, si dirigono all'area Sardelli (dove scaricano in tramoggia N13) o proseguono per Cerano lungo la strada che affianca l'asse attrezzato.
2. Il carbone scaricato in area Sardelli dai camion prosegue via nastro verso Cerano.
3. Il carbone inviato a Cerano via nastro (proveniente sia dall'area Sardelli, sia dal porto) è scaricato a parco dalle macchine combinate.
4. I camion in ingresso a Cerano scaricano il carbone a parco o nelle tramogge N22-N23.
5. Il carbone, scaricato dai camion nelle tramogge N22-N23, è inviato ai bunker via nastro.
6. Le macchine combinate prelevano carbone dal parco per alimentare l'impianto

Si riportano i corrispondenti risultati modellistici relativamente alle concentrazioni di polvere: la massima diffusione di particolato è prevista lungo il tragitto percorso dai camion, diretti a parco o in tramoggia, e nella zona di scarico del carbone nel deposito.



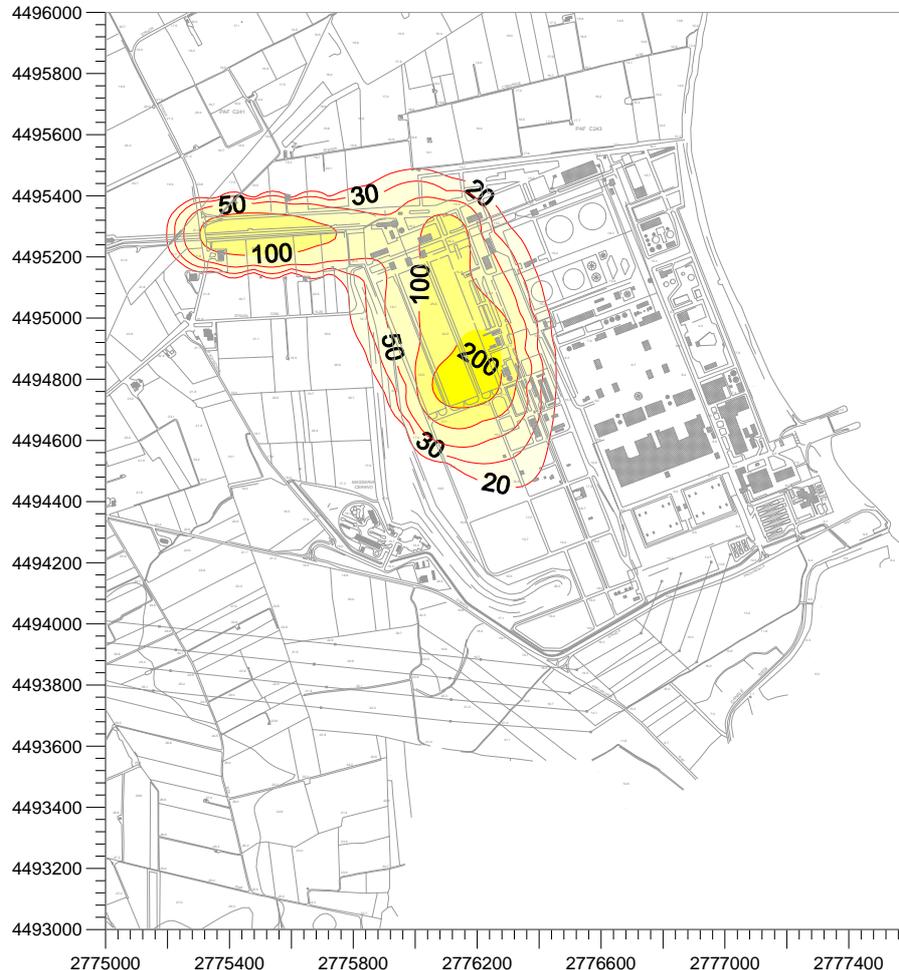
Concentrazioni medie annuali – valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(Valore limite indicato dal DM n°60/02 = $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



Concentrazione media di 24h superata per 35 giorni/anno
valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(Valore limite indicato dal DM n°60/02 = $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Come atteso i picchi di concentrazione sono contenuti entro l'area di centrale, mentre all'esterno i valori rientrano ampiamente entro i limiti individuati dal DM 60/2002.

La simulazione modellistica, relativa alle deposizioni di polveri sedimentabili, stima la ricaduta media giornaliera nell'area esterna alla centrale inferiore a $50 \text{ mg/m}^2/\text{g}$.



Deposizione giornaliera Scenario1 - valori in $\text{mg/m}^2/\text{g}$

8.2.2 Secondo scenario: alto impatto del trasporto su gomma

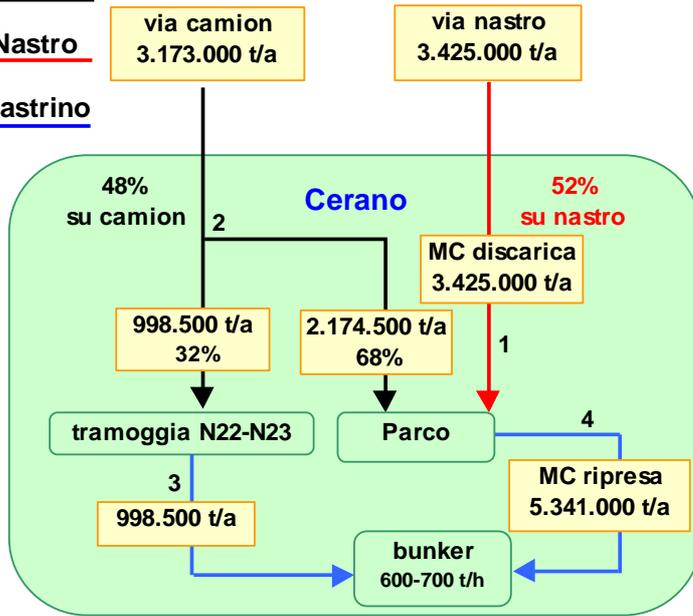
I dati di trasporto e di movimentazione relativi allo scenario “alto impatto della gomma” sono stati ottenuti ipotizzando un più elevato indice di indisponibilità del nastro rispetto al 2004, pari al 55% del tempo.

In queste condizioni, il materiale che arriva a Cerano su camion sale dal 31% al 48% e quello su nastro scende dal 69% al 52%.

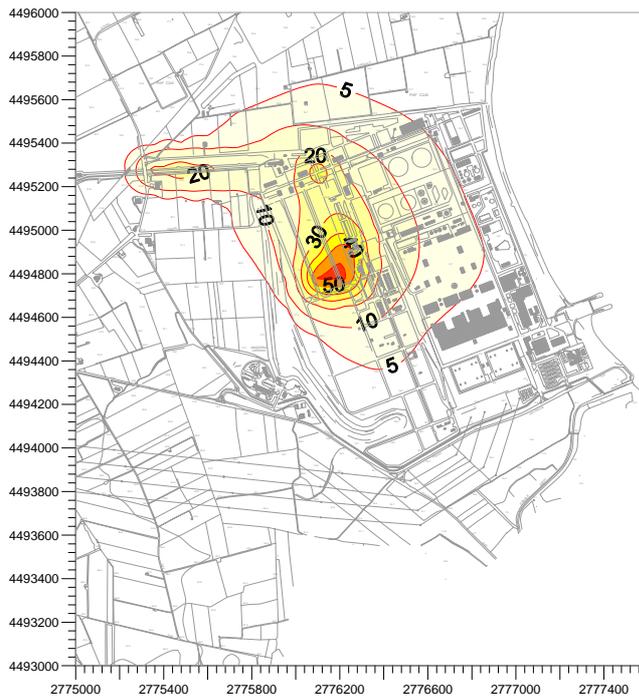
Camion

Nastro

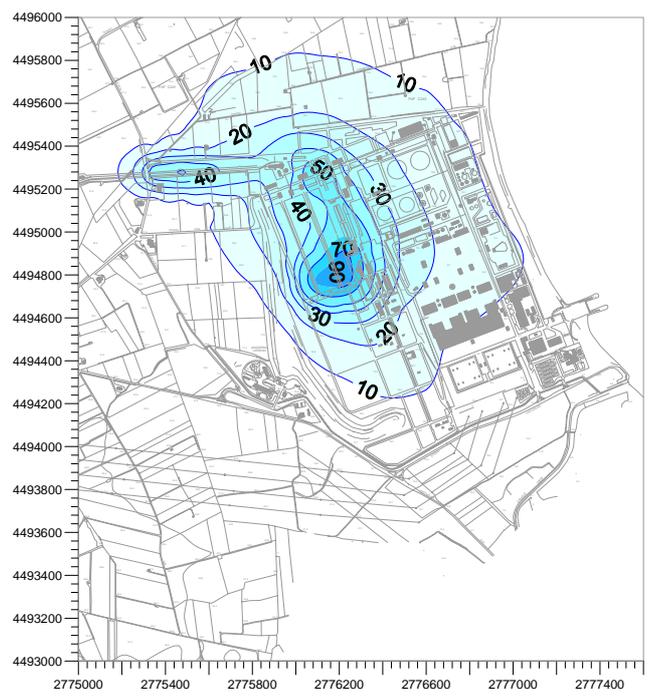
Nastrino



1. Il carbone inviato a Cerano via nastro (proveniente sia dall'area Sardelli, sia dal porto) è scaricato a parco dalle macchine combinate.
2. I camion in ingresso a Cerano scaricano il carbone a parco o nelle tramogge N22-N23.
3. Il carbone, scaricato dai camion nelle tramogge N22-N23, è inviato ai bunker via nastro.
4. Le macchine combinate prelevano carbone dal parco per alimentare l'impianto

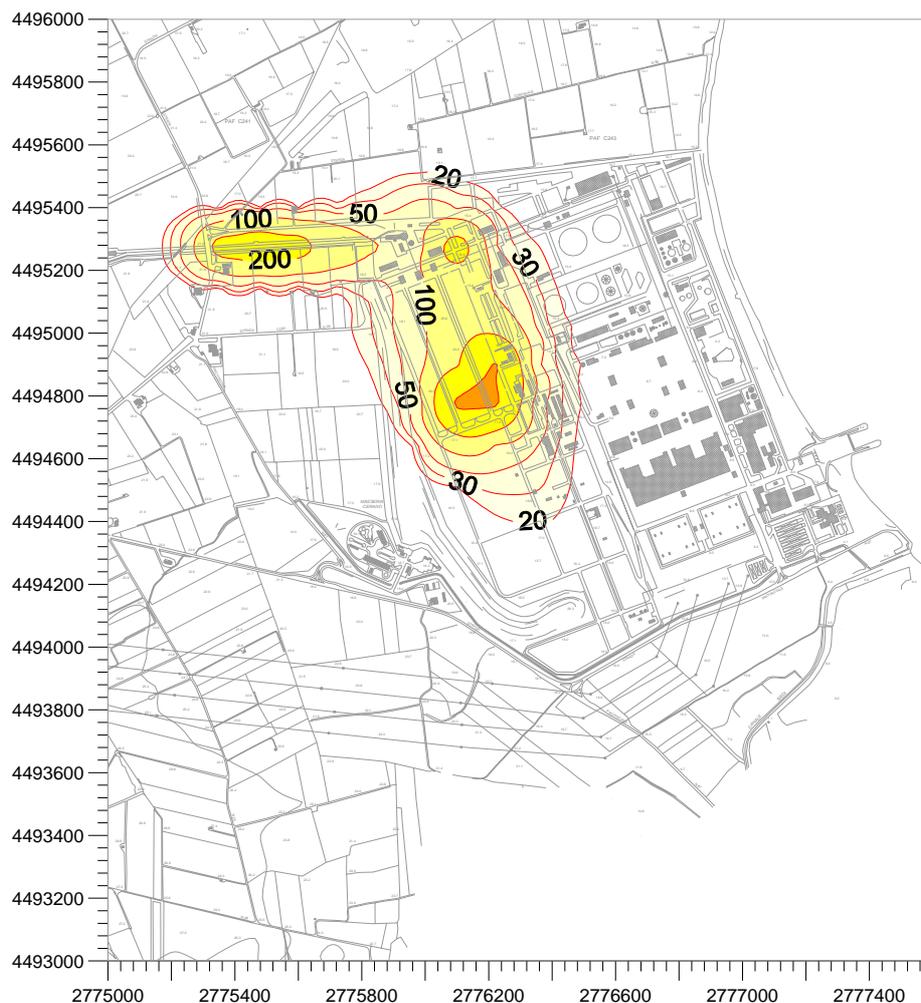


Concentrazioni medie annuali – valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(Valore limite indicato dal DM n°60/02 = $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



Concentrazione media di 24h superata per 35 giorni/anno
valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(Valore limite indicato dal DM n°60/02 = $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

In questo scenario i livelli di polverosità risultano maggiori rispetto al caso precedente. In particolare le concentrazioni medie nell'area di centrale risultano superiori a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e la deposizione di polvere sedimentabile è elevata per ampie superfici. All'esterno della centrale, invece, i parametri sono valutati entro limiti previsti.



Deposizione giornaliera Scenario2 - valori in mg/m²/g

8.2.3 Terzo scenario: basso impatto del trasporto su gomma

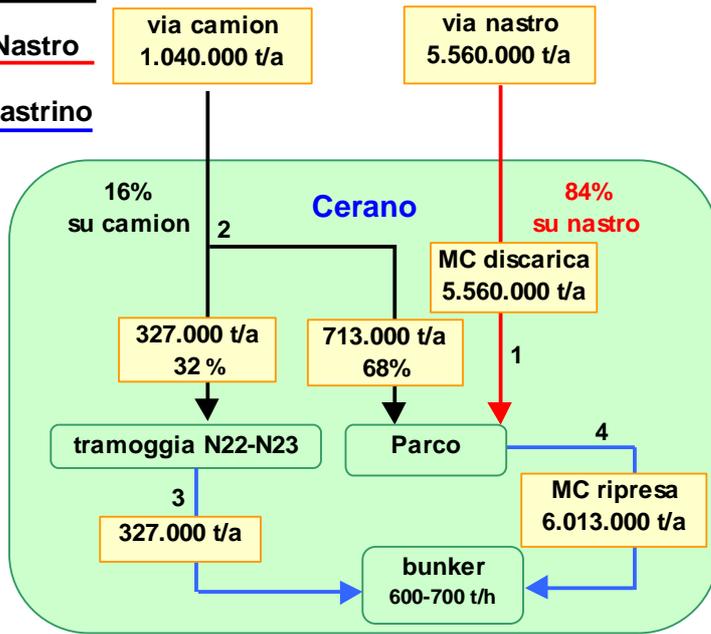
I dati di trasporto e di movimentazione relativi allo scenario “*basso impatto della gomma*” sono stati ottenuti ipotizzando un funzionamento più efficiente del nastro rispetto al 2004, ossia un indice di indisponibilità pari al 18% del tempo.

In queste condizioni il materiale che arriva a Cerano su camion scende dal 31% al 16% e quella su nastro sale dal 69% all'84%.

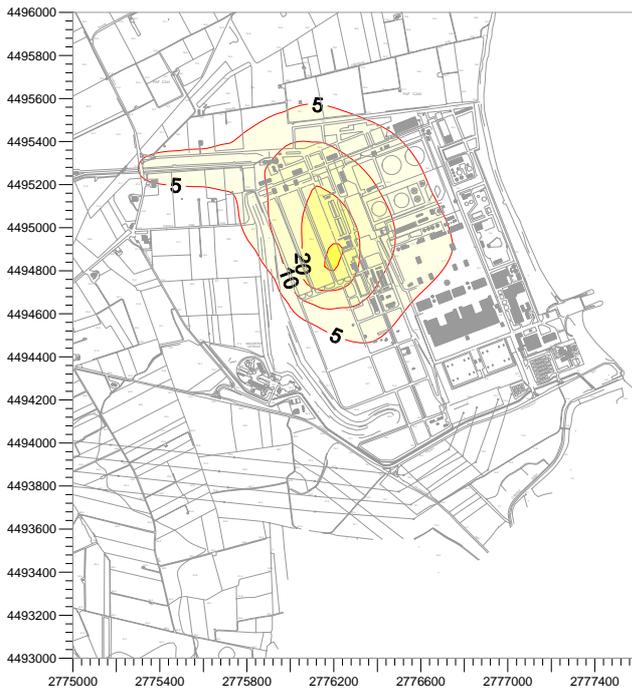
Camion

Nastro

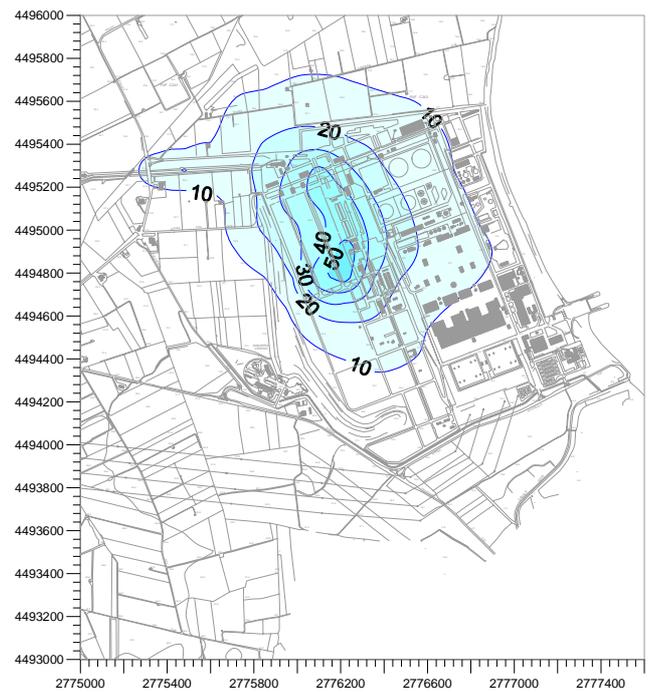
Nastrino



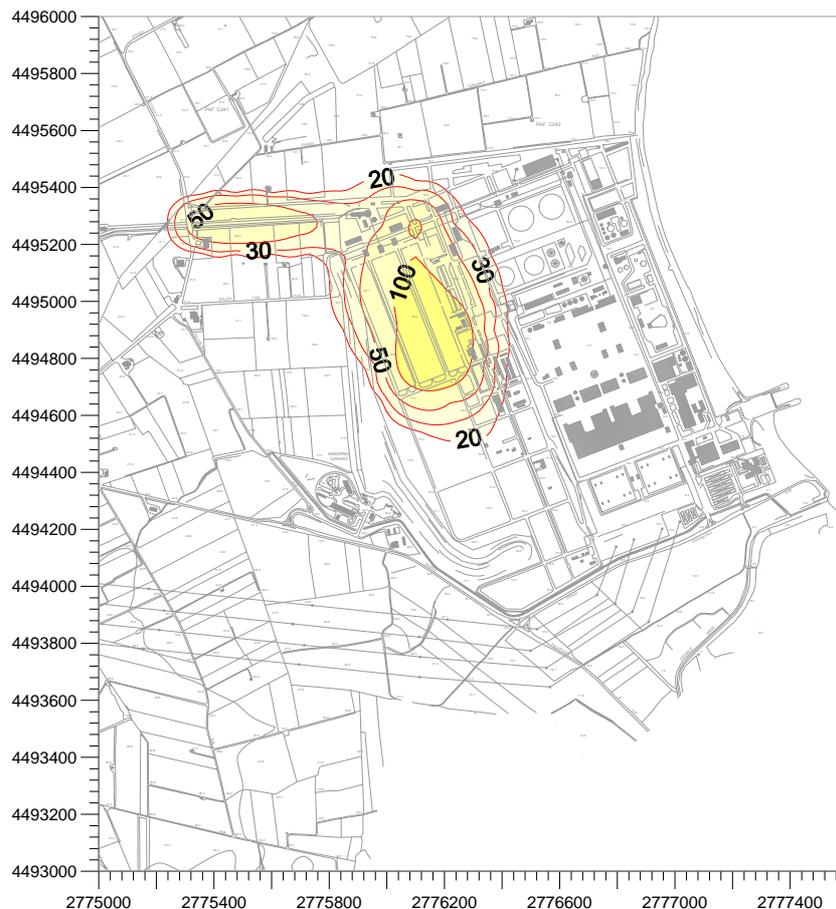
1. Il carbone inviato a Cerano via nastro (proveniente sia dall'area Sardelli, sia dal porto) è scaricato a parco dalle macchine combinate.
2. I camion in ingresso a Cerano scaricano il carbone a parco o nelle tramogge N22-N23.
3. Il carbone, scaricato dai camion nelle tramogge N22-N23, è inviato ai bunker via nastro.
4. Le macchine combinate prelevano carbone dal parco per alimentare l'impianto



Concentrazioni medie annuali – valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(Valore limite indicato dal DM n°60 = $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



Concentrazione media di 24h superata per 35 giorni/anno
valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(Valore limite indicato dal DM n°60 = $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



Deposizione giornaliera Scenario3 - valori in mg/m²/g

Questo scenario corrisponde ai minimi livelli di polverosità che risultano contenuti all'interno dell'area di centrale.

9 CONCLUSIONI

Le indagini sperimentali di polveri aerodisperse e di particolato sedimentabile, che sono state condotte nella zona circostante il carbonile della centrale "Federico II", hanno permesso di distinguere l'influenza del carbonile sulla polverosità ambientale dell'area.

Dai rilevamenti di PM10, eseguiti nella stagione invernale, è emerso che l'area di maggior ricaduta del particolato è contenuta entro i confini della centrale. Un'analoga conclusione deriva dall'analisi delle misure di deposizione al suolo, iniziata nell'estate 2005 e tuttora in atto. Al termine di un anno di rilevamenti di polveri sedimentabili sarà possibile delineare un quadro completo della polverosità ambientale dell'area; ad oggi, è possibile affermare che il livello di polverosità è basso, sia vicino che lontano dal carbonile (classi I e II).

I rilevamenti sono inoltre serviti a caratterizzare le attività di movimentazione del carbone responsabili del rilascio di polveri, al fine di validare un modello matematico di dispersione e di deposizione del

particolato. Il modello validato potrà ora essere utilizzato per stimare i benefici ambientali determinati dalla realizzazione di interventi ingegneristici e gestionali previsti sul carbonile.