

Cliente	Enel GEM
Oggetto	Centrale ENEL "Federico II" – Messa a punto del modello per la simulazione del carbonile in assetto futuro
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-L34212F del 23/06/2005 approvata da ing. Sarti (e-mail del 29/06/2005)
Note	-

PUBBLICATO A6034535 (PAD - 869444)

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

N. pagine	28	N. pagine fuori testo	-
Data	08/11/2006		
Elaborato	Carboni Gabriele (CESI-AMB)		
Verificato	Fiore Antonio (CESI-AMB)		
Approvato	Fiore Antonio (CESI-AMB) <small>A6034535 3745 APP</small>		

Mod. RAPP v. 01

Indice

1	PREMESSA	3
2	INTERVENTI IMPIANTISTICI E GESTIONALI PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI POLVERE DERIVANTI DALLA MOVIMENTAZIONE DEL CARBONE.....	3
3	MESSA A PUNTO DEL MODELLO RELATIVO AL CARBONILE IN ASSETTO FUTURO	4
	3.1 Identificazione delle sorgenti e dei nuovi fattori di emissione relativi all'assetto futuro del carbonile	5
	3.2 I benefici apportati dal nuovo sistema di scarico a parco, dalla manutenzione del manto stradale e dai sistemi di abbattimento ad umido.....	6
	3.3 Simulazione dell'effetto della collinetta piantumata.....	9
	3.3.1 Caso studio per l'incidenza del terrapieno piantumato	11
4	MISURE SPERIMENTALI PER LA VERIFICA DELLE RICADUTE DAL CARBONILE	14
	4.1 Campagna di misura annuale per il monitoraggio delle deposizioni al suolo di polveri sedimentabili	14
	4.1.1 Metodologia utilizzata.....	16
	4.1.2 Risultati delle misure di deposizione.....	17
	4.2 Concentrazione media giornaliera di PM10.....	25
	4.2.1 Risultati delle misure di PM10.....	25
5	CONCLUSIONI	27

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	08/11/2006	A6034535	Prima emissione

1 PREMESSA

Nel presente studio sono valutati i benefici sulla polverosità ambientale, derivanti dagli interventi realizzati sul carbonile della centrale Federico II, situata a Brindisi in località Cerano.

Il modello matematico per la dispersione del particolato dal carbonile, elaborato e validato sulla realtà attuale (vedi relazione A6009450), è stato messo a punto sulla situazione prevista a regime nell'immediato futuro, tenendo conto delle modifiche gestionali ed ingegneristiche che sono in corso di realizzazione per mitigare il rilascio e la dispersione del particolato dalle attività di movimentazione e trasporto del carbone.

2 INTERVENTI IMPIANTISTICI E GESTIONALI PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI POLVERE DERIVANTI DALLA MOVIMENTAZIONE DEL CARBONE

Gli interventi impiantistici e gestionali previsti da Enel ed attualmente in corso di realizzazione, al fine di consentire l'ulteriore riduzione delle emissioni di polveri dal carbonile, sono:

- **Modifica del sistema di scarico e carico del carbone a parco** – E' previsto l'utilizzo di un mezzo mobile che consentirà lo scarico ed il carico del carbone dagli automezzi a parco, senza che questi vi accedano direttamente;
- **Rifacimento delle strade adiacenti al parco carbone** – Verrà rifatto il fondo stradale e ne sarà rinnovato il manto d'asfalto;
- **Realizzazione del sistema di abbattimento ad umido delle polveri sulle tramogge N22 e N23** – Verrà inserito l'abbattimento ad umido delle polveri anche sulle tramogge utilizzate per lo scarico del carbone sul nastro afferente direttamente alle caldaie;
- **Realizzazione fogging macchine combinate a parco** - Verrà inserito l'abbattimento ad umido del polverino, durante la fase di scarico del carbone dalle macchine combinate;
- **Realizzazione cannoncini antipolverino con filmante** – Verranno installati sul parco carbone cannoncini per la distribuzione omogenea di prodotti filmanti antidispersivi;

- **Piantumazione della collinetta**; la collinetta collocata lungo i lati W e SW del carbonile verrà piantumata con filari di alberi che raggiungeranno un'altezza di circa 10-15m, tali da creare una barriera di contenimento delle emissioni;
- **Realizzazione di un nuovo impianto di lavaggio ed asciugatura automezzi** – Verrà realizzato un nuovo impianto da utilizzare appositamente per il lavaggio degli automezzi operanti nel carbonile, collocato nelle immediate vicinanze dello stesso; tale impianto, integrandosi a quello già esistente, aumenterà l'efficacia dell'operazione di lavaggio
- **Manutenzione straordinaria delle torri e degli edifici quadri** – Si prevede il rifacimento degli infissi delle torri ed il potenziamento dell'impianto antipolvere. Tale intervento, pur garantendo l'ulteriore contenimento della diffusione di polveri, riguarda l'intero asse attrezzato e non è quindi stato considerato nell'ambito di questo studio.

3 MESSA A PUNTO DEL MODELLO RELATIVO AL CARBONILE IN ASSETTO FUTURO

L'area adiacente al carbonile della centrale Federico II è stata oggetto di una approfondita osservazione sperimentale, finalizzata a caratterizzarne il livello di polverosità e a distinguere, rispetto al fondo ambientale, il contributo apportato dalle attività di movimentazione e trasporto del carbone.

La caratterizzazione sperimentale ha inoltre consentito di verificare e perfezionare un modello matematico, in grado di simulare la dispersione e la ricaduta al suolo delle polveri rilasciate durante le operazioni di gestione del carbonile.

I risultati dell'applicazione del modello validato sono riportati nel rapporto Cesi A6009450 "Centrale ENEL "Federico II" – Messa a punto del modello per la simulazione del carbonile in assetto attuale".

Nel seguito si descrivono i risultati dell'applicazione del modello validato considerando in input le condizioni impiantistiche e gestionali che saranno applicate dopo il completamento degli interventi di miglioramento attualmente in esecuzione al fine di valutarne i benefici in termini di riduzione della polverosità nell'intorno del carbonile.

Gli interventi valutati nella simulazione modellistica sono il *nuovo sistema di scarico del carbone a parco, il rifacimento del manto stradale, i sistemi di abbattimento ad umido delle polveri, dispersione di filmante sul carbonile e la piantumazione della collinetta.*

Data la complessità dell'argomento e le caratteristiche del modello adottato, l'effetto della collinetta piantumata sulla dispersione del particolato è stato simulato separatamente, ipotizzando un caso studio verosimile per condizioni meteorologiche ed emissive.

Il nuovo impianto di lavaggio degli automezzi migliorerà l'efficacia del servizio e, quindi, garantirà maggiore continuità delle operazioni di scarico. In tutti i casi, poiché già nelle condizioni attuali è previsto il lavaggio degli automezzi, si ritiene che le modifiche dell'impianto di lavaggio non incideranno sull'emissione specifica dagli automezzi.

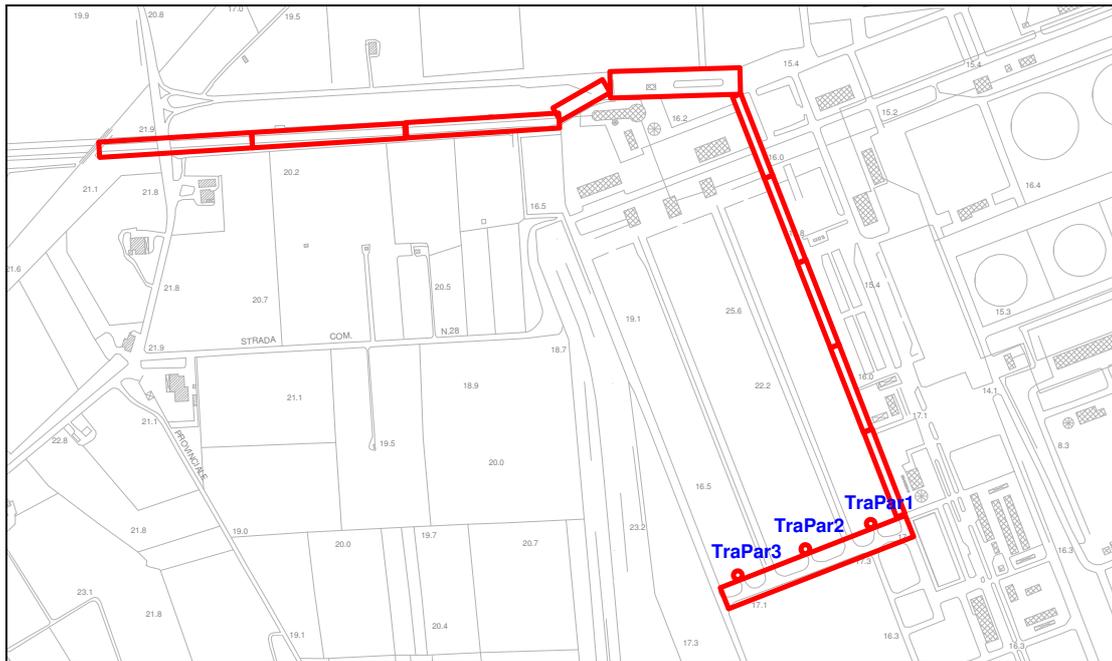
3.1 Identificazione delle sorgenti e dei nuovi fattori di emissione relativi all'assetto futuro del carbonile

Le nuove ipotesi relativamente alle sorgenti di polverosità, adottate nel modello in *assetto futuro* per tradurre gli interventi eseguiti sul carbonile sono così riassumibili:

- Il nuovo sistema di scarico dei camion a parco consentirà di evitare il transito dei mezzi in un'area dal fondo - per sua natura - polveroso. Nel nuovo modello sono state quindi eliminate le sorgenti rappresentative del transito dei mezzi sul carbonile e dello scarico del materiale dentro allo stesso; in sostituzione, sono state inserite tre tramogge di scarico del carbone disposte esternamente al deposito, lungo il lato sud.
- Il rifacimento del manto stradale riduce il sollevamento di particolato dovuto ai mezzi che vi transitano; si è pertanto stimato un carico di limo, presente sulla strada, inferiore del 50% rispetto al precedente. Tale modifica si traduce in una riduzione del fattore di emissione pari circa al 36%.
- I sistemi di abbattimento ad umido delle polveri, previsti sulle operazioni di movimentazione del carbone, ne determinano un aumento dell'umidità e pertanto ne limitano la naturale propensione alla dispersione in atmosfera. La riduzione del rateo di emissione è stata ottenuta raddoppiando l'umidità del materiale dal 4.5% al 9%; tale modifica riguarda tutte le attività di movimentazione del carbone (a parco e su nastro afferente direttamente ai bunker) e corrisponde ad una riduzione del 62% circa del fattore di emissione.
- Il prodotto filmante, distribuito omogeneamente sul parco carbone dai cannoncini antipolvere disposti lungo il perimetro del deposito, aumenterà la coesione del materiale e limiterà quindi l'erosione della superficie ad opera del vento. Ipotizzando che l'effetto di tale intervento sia assimilabile ad un aumento della piovosità del 30%, ciò si traduce in una riduzione del rateo di emissione tra il 6% e il 18%, variabile a seconda della stagione.

Si assume inoltre che sia gli escavatori sia le pale gommate continuino ad operare sul parco carbone per le attività di stabilizzazione e compattazione dei cumuli, lavori necessari per limitare la polverosità ed evitare fenomeni di autocombustione.

Il percorso dei camion e la localizzazione delle nuove tramogge per lo scarico del carbone a parco sono riportati nella figura seguente; si considera anche l'ultimo tratto della strada che affianca l'asse attrezzato in prossimità del carbonile:

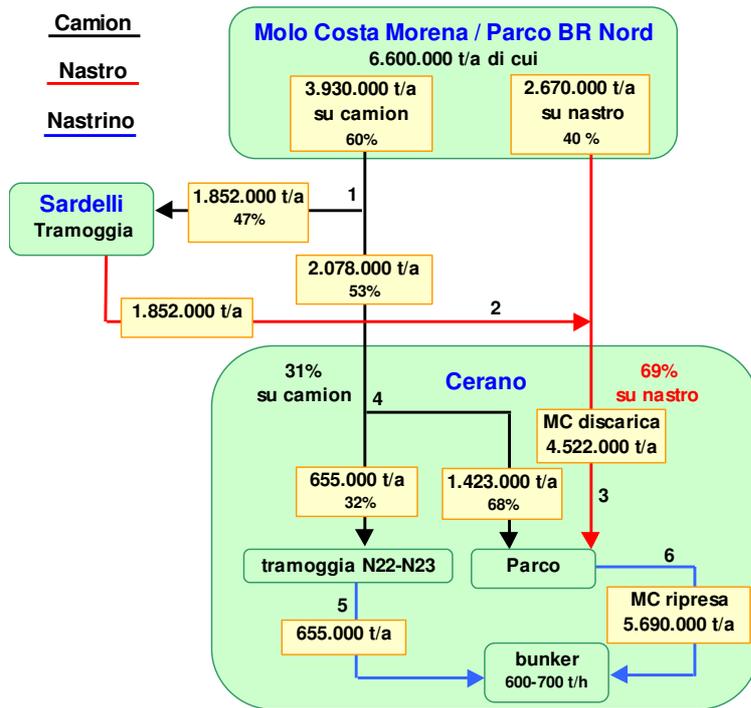


3.2 I benefici apportati dal nuovo sistema di scarico a parco, dalla manutenzione del manto stradale e dai sistemi di abbattimento ad umido.

In questa fase si valutano i benefici sulla polverosità ambientale derivanti *dal nuovo sistema di scarico del carbone a parco, dalla manutenzione del manto stradale, dai sistemi di abbattimento ad umido del particolato e dalla dispersione di filmante sul carbonile.*

Il modello matematico, caratterizzato e validato sull'attuale situazione operativa del carbonile, è stato adattato allo scenario previsto per il futuro, modificando le caratteristiche delle sorgenti ed apportando ai fattori di emissione le variazioni di cui al precedente paragrafo.

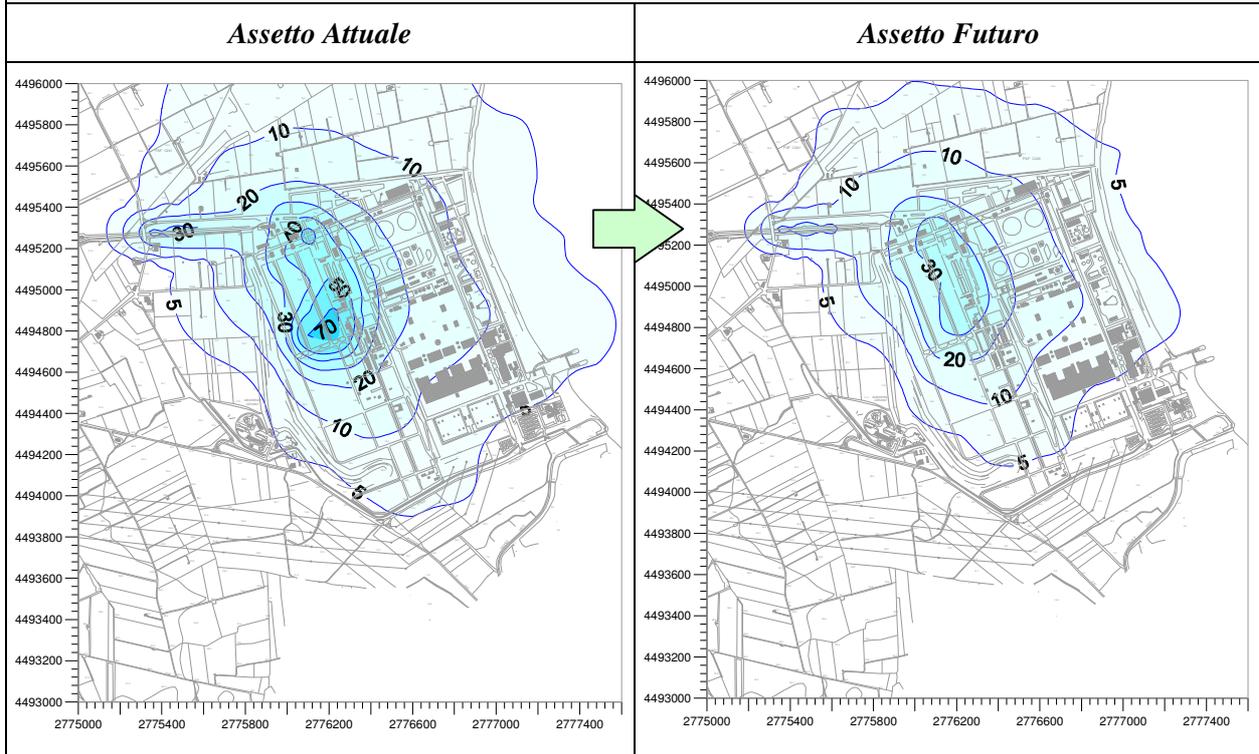
Per simulare i flussi di carbone all'interno del carbonile sono stati utilizzati i dati consuntivi relativi al 2004, in modo da poter operare un confronto con le precedenti simulazioni. Tali dati sono riportati nello schema seguente:



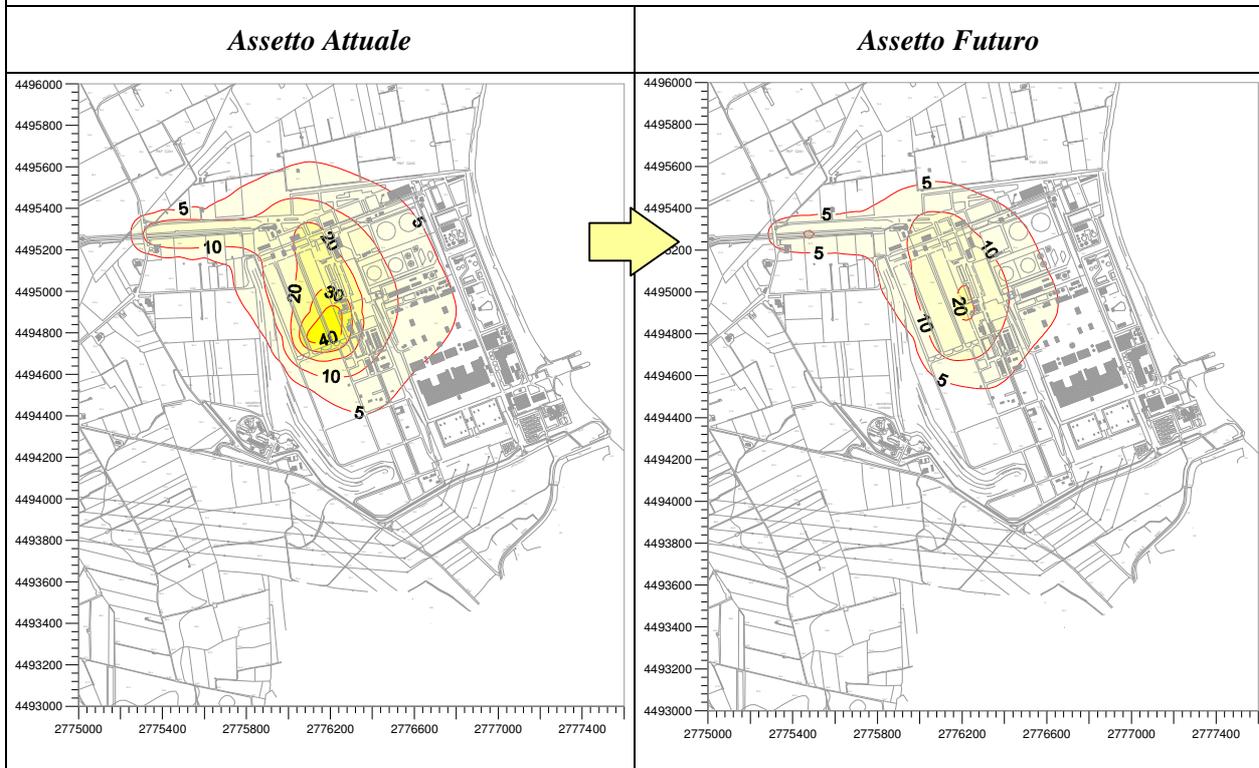
1. I camion, una volta caricato il carbone a Costa Morena, si dirigono all'area Sardelli (dove scaricano in tramoggia N13) o proseguono per Cerano lungo la strada che affianca l'asse attrezzato.
2. Il carbone scaricato in area Sardelli dai camion prosegue via nastro verso Cerano.
3. Il carbone inviato 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 tramite tramoggia o direttamente su nastro afferente ai bunker (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

La simulazione modellistica della polverosità indotta dalle attività svolte sul carbonile in assetto futuro è riportata nelle figure seguenti:

*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 = $50\mu\text{g}/\text{m}^3$)*



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



A seguito delle modifiche previste, in assetto futuro si osserva una diffusa riduzione della concentrazione aerodispersa di particolato su tutta l'area adiacente al carbonile. I benefici sono più

evidenti in corrispondenza dell'ingresso sud del carbonile, dove attualmente è previsto l'accesso dei camion e lo scarico del materiale all'interno del parco carbone, operazione che in futuro sarà sostituita dall'impiego di tramogge e nastri trasportatori.

Infine l'elaborazione modellistica conferma che l'incidenza del carbonile è comunque confinata all'interno dell'area di centrale, in altre parole che la polverosità all'esterno non è mediamente condizionata dalle attività di movimentazione e stoccaggio del carbone.

Naturalmente i risultati modellistici sopra esposti si riferiscono ad un intero anno di dati e quindi rappresentano una valutazione media delle ricadute nell'intorno del carbonile. La modellazione non prende pertanto in considerazione eventuali casi specifici legati ad episodi acuti di breve durata (rilasci accidentali, condizioni anemologiche eccezionali quali venti tesi e stazionari per lunghi periodi).

3.3 Simulazione dell'effetto della collinetta piantumata

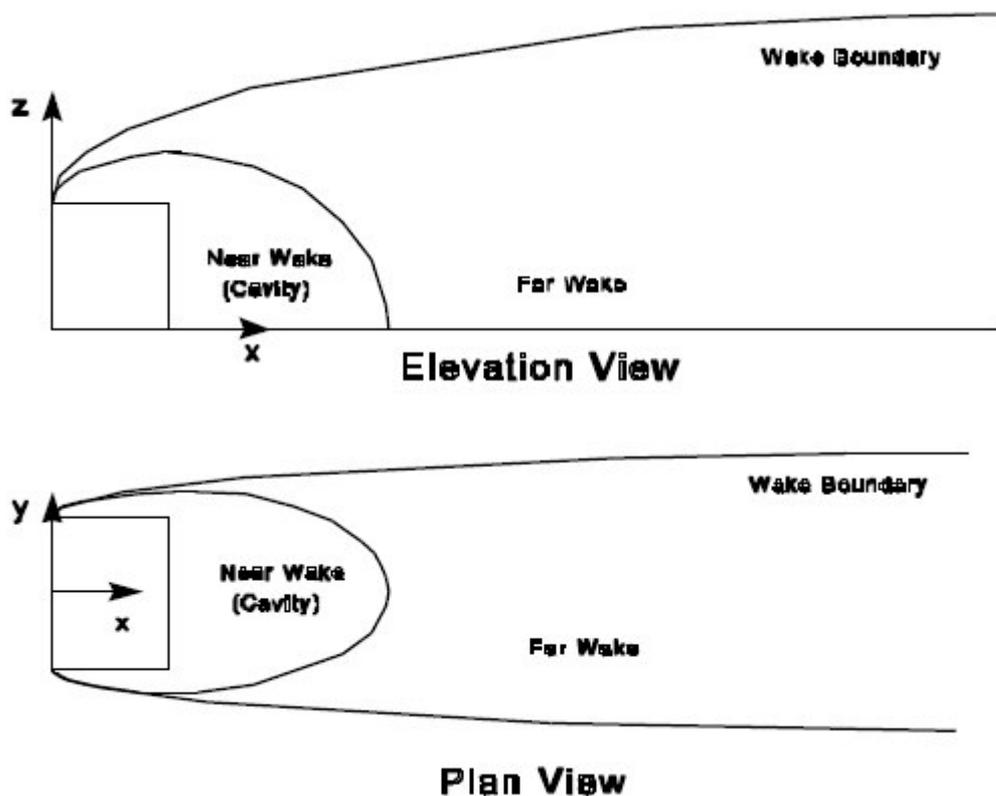
Tra le modifiche da adottare per ridurre la polverosità ambientale, è prevista anche la piantumazione del terrapieno che affianca il carbonile sui lati W e S.

L'influenza della collinetta piantumata sulla dispersione delle polveri generate dalle attività svolte sul carbonile, è stata analizzata singolarmente, applicando l'algoritmo del "*building downwash*" contemplato dal modello.

Un ostacolo sufficientemente vicino al punto di emissione esercita sulla dispersione del pennacchio un effetto di scia, denominato appunto "*building downwash*", che ne determina l'abbassamento e ne modifica i fattori di diluizione.

Per modellare il "*building downwash*" l'EPA raccomanda di utilizzare il modello ISC3-PRIME, ossia una versione del modello ISC3 che contiene un nuovo algoritmo per la stima dell'effetto di scia da edifici, in grado di valutare correttamente le concentrazioni sia nella cavità immediatamente sottovento all'ostacolo (regione "*near wake cavity*") sia nella regione posta ad una distanza superiore a 3-4 volte l'altezza dello stesso (regione "*far wake*")¹.

¹ ADDENDUM TO ISC3 USER'S GUIDE - THE PRIME PLUME RISE AND BUILDING DOWNWASH MODEL
Electric Power Research Institute - November, 1997

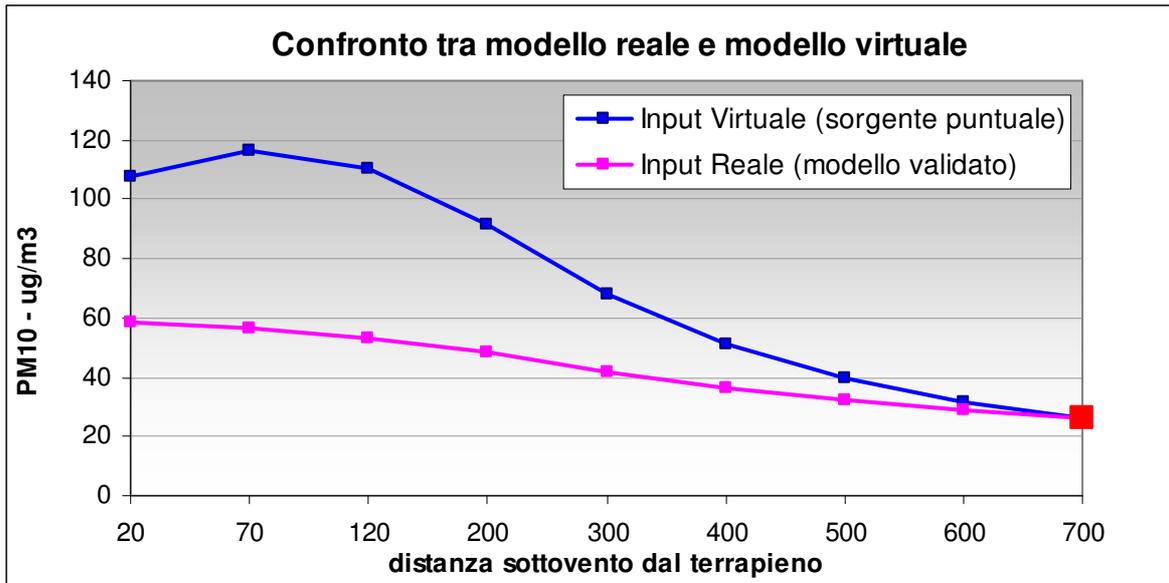


L'algoritmo del "building downwash" è però applicabile solo alle sorgenti di tipo puntuale: pertanto si è reso necessario ricercare la sorgente puntuale virtuale equivalente al complesso delle sorgenti volume ed areali con cui è stato modellato il carbonile.

La localizzazione, le caratteristiche ed il rateo di emissione della sorgente puntuale virtuale sono stati determinati in modo tale che, in assenza della collinetta, la concentrazione determinata ad una distanza di 700 m dalla stessa² sia uguale al valore previsto dal reale modello validato.

Al fine di valutare l'effetto della collinetta è stato preso in esame un caso studio considerato cautelativo, e descritto nel paragrafo successivo, nel quale, ipotizzate condizioni di vento stazionarie da ENE, sono stati confrontati i valori previsti in assenza ed in presenza di un ostacolo rappresentato dalla collinetta piantumata, come illustrato nella figura seguente.

² date le particolarità del carbonile, tale distanza è sufficiente per ritenere che le caratteristiche dei pennacchi siano simili



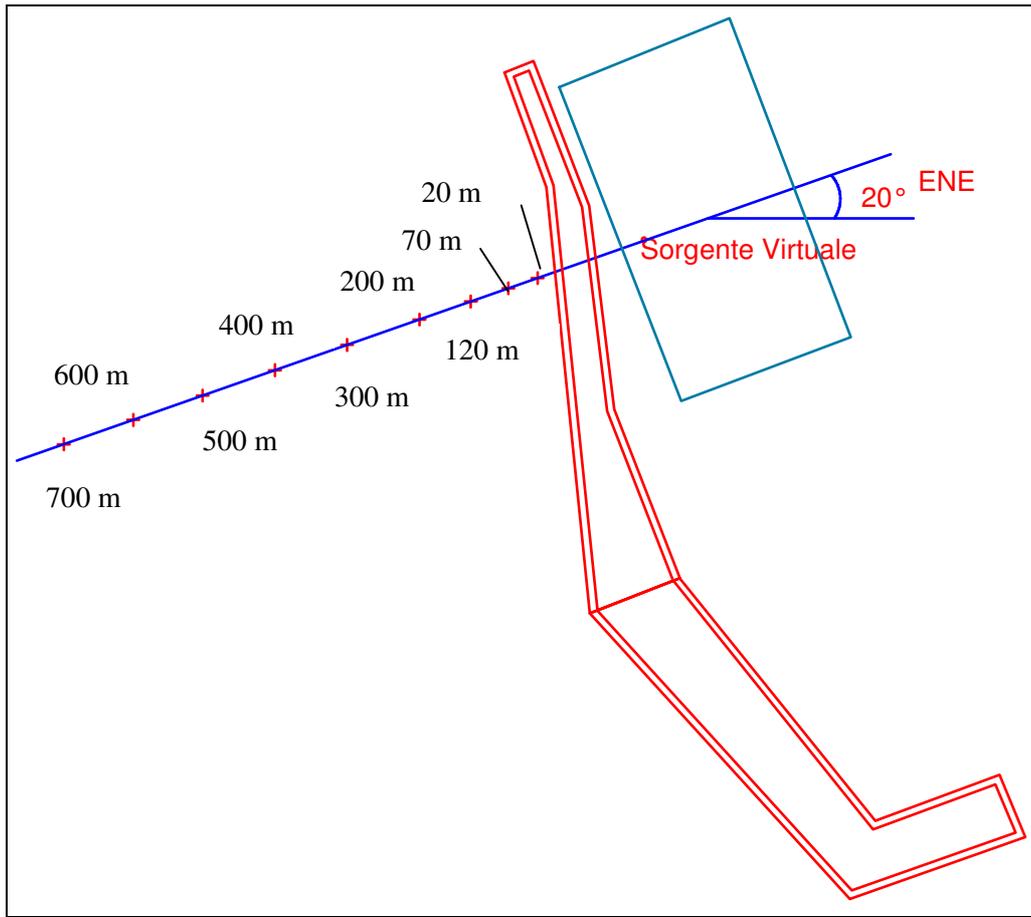
3.3.1 Caso studio per l'incidenza del terrapieno piantumato

Il caso studio corrisponde ad uno scenario semplificato e controllato, in cui la ridotta variabilità dei parametri consente di evidenziare e studiare il fenomeno dell'effetto di scia esercitato dalla collinetta piantumata sulla dispersione del pennacchio delle emissioni diffuse generate dal carbonile.

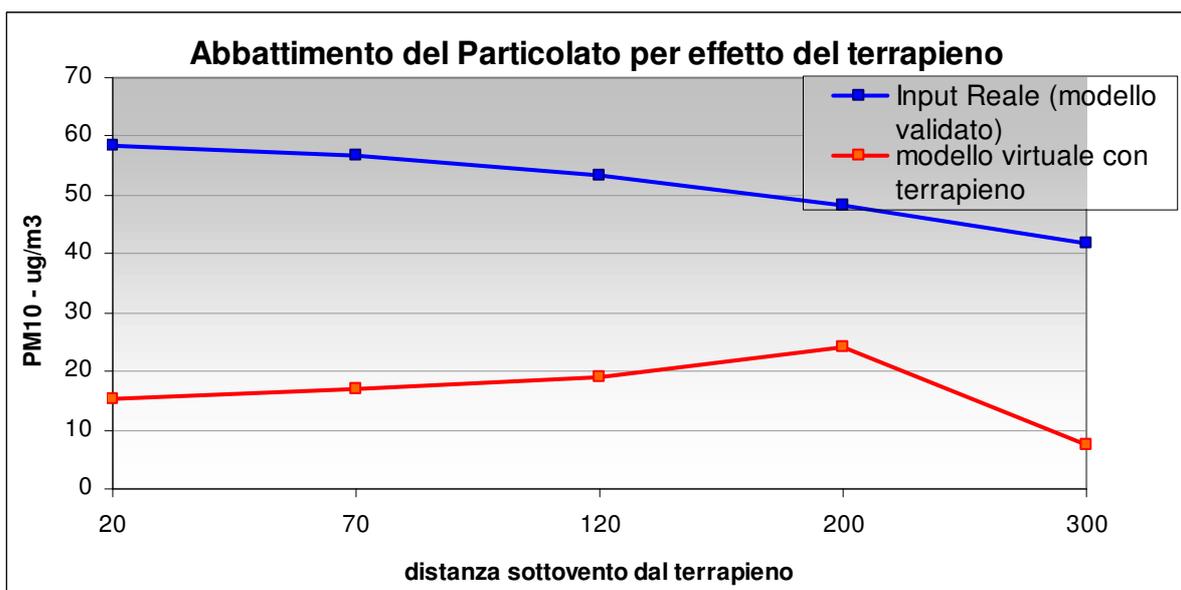
La simulazione riguarda una giornata di vento teso sempre proveniente da ENE (70°), in modo che la collinetta posta a WSW si trovi sottovento rispetto alle attività svolte nell'area del carbonile. I parametri meteorologici necessari al modello, quali temperatura, turbolenza e stabilità atmosferica, velocità del vento sono quelli definiti su un "giorno tipico" estivo.

Lungo l'asse ENE-WSW sono stati quindi posti dei recettori a valle del terrapieno e a distanza crescente dallo stesso.

Nella figura seguente sono riportati schematicamente la sagoma del terrapieno, la sua posizione rispetto al carbonile, la direzione del vento e la posizione della sorgente puntuale virtuale. L'altezza del terrapieno, comprensiva della piantumazione, è assunta pari a 30m.



Il modello che prevede una sorgente puntuale equivalente al complesso delle sorgenti reali (denominato “virtuale”), è stato quindi fatto girare in assenza ed in presenza del terrapieno. Gli andamenti delle concentrazioni di PM10, stimate dal modello nei due casi, sono riportate nella figura seguente:



Il confronto tra i risultati del modello nei due casi conferma l'azione di abbattimento del pennacchio esercitata dalla collinetta piantumata: la riduzione sulla concentrazione aerodispersa a valle del terrapieno è stimabile, **in queste condizioni specifiche** (vento teso e stazionario, assenza di emissioni accidentali), intorno al 50%.

4 MISURE SPERIMENTALI PER LA VERIFICA DELLE RICADUTE DAL CARBONILE

Sulla base dei risultati ottenuti dalle elaborazioni modellistiche sono state effettuate misure sperimentali di polverosità sedimentabile e aerodispersa con il duplice obiettivo di:

- confermare che la polverosità all'esterno dell'area di centrale non è mediamente condizionata dalla presenza del carbonile
- individuare l'eventuale insorgenza di episodi estemporanei – non simulabili dal modello - durante i quali il carbonile abbia inciso sulla polverosità all'esterno dell'area di Centrale.

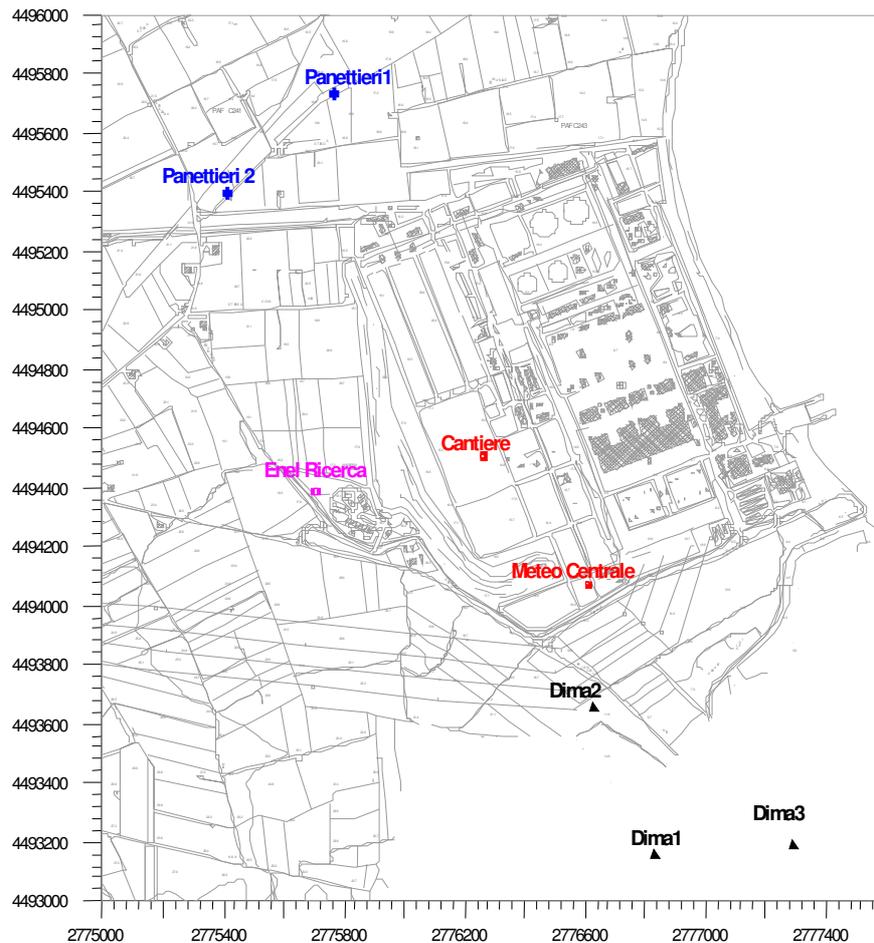
Il piano di indagine ha previsto la misura delle **deposizioni** per la durata di un anno e la misura del **PM10** nei periodi invernale 2005 ed estivo 2006.

I dati di PM10 dell'inverno 2005 sono stati utilizzati per la messa a punto del modello in quanto in questo periodo nessuna opera di miglioramento era stata realizzata.

I dati di PM10 dell'estate 2006 sono stati utilizzati con lo scopo di verificare l'effettiva ricaduta di polveri dal carbonile nell'assetto denominato "futuro" in quanto gran parte delle opere ingegneristiche e degli interventi gestionali erano ormai stati realizzati.

4.1 Campagna di misura annuale per il monitoraggio delle deposizioni al suolo di polveri sedimentabili

La campagna di misura delle deposizioni al suolo di polveri sedimentabili è stata condotta per più di un anno, dal 15 luglio 2005 al 06 settembre 2006.



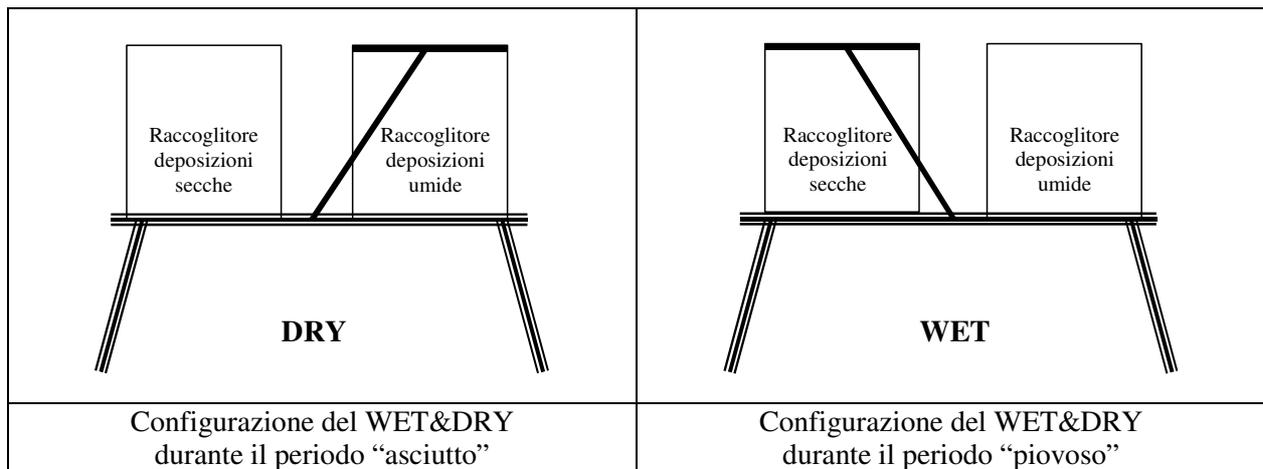
Sono stati installati i campionatori nelle seguenti quattro aree collocate intorno alla centrale:

- area Panettieri: all'esterno del recinto di centrale, a Nord del carbonile; i punti di misura sono stati due, denominati Panettieri1 e Panettieri2, collocati a poca distanza l'uno dall'altro;
- area Enel Ricerca: in questa area, collocata all'esterno del recinto di centrale e a SW del carbonile, è stato utilizzato un unico punto di misura;
- area DIMA: all'esterno del recinto di centrale, a Sud del carbonile; i punti di misura sono stati tre, denominati Dima1, Dima2 e Dima3, collocati a diversa distanza dal carbonile, lungo la direzione prevalente del vento (NNW);
- area di centrale: sono state utilizzate due postazioni; "Cantiere", immediatamente a SSE del carbonile, e "Meteo Centrale" più distante nella stessa direzione, collocata in corrispondenza della postazione meteorologica della RRQA di Enel.

4.1.1 Metodologia utilizzata

Ai fini della misura di deposizione totale si è utilizzato un campionatore automatico, denominato WET & DRY, che ha la funzione di raccogliere separatamente sia le deposizioni atmosferiche secche e sia quelle umide.

Lo strumento è costituito da due raccoglitori cilindrici e da una copertura semovente azionata da un sensore di pioggia che copre il raccoglitore delle deposizioni secche durante le precipitazioni e quello delle deposizioni umide durante i periodi asciutti. Nella seguente figura si riporta lo schema funzionale dello strumento.



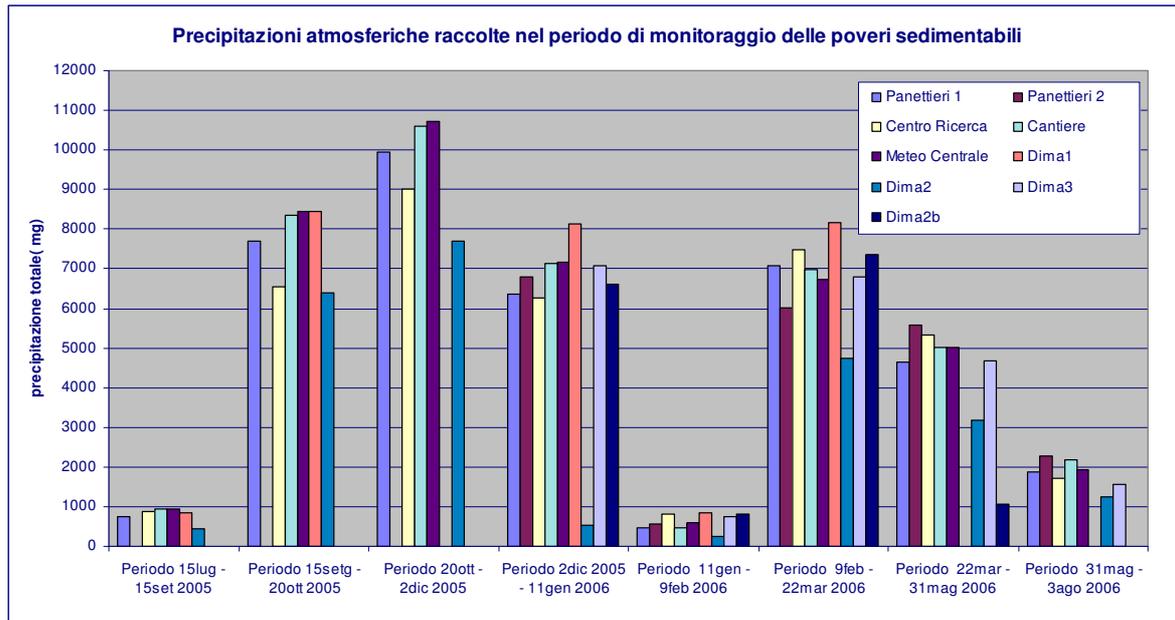
Nelle deposizioni umide è stato determinato il particolato atmosferico non disciolto raccolto dalla precipitazione nei campioni di acqua piovana mediante l’analisi gravimetrica dei solidi sospesi filtrati.

Per le deposizioni secche sono state valutate quelle effettivamente depositate su un filtro, posizionato sul fondo del raccoglitore, integrate con la parte insolubile ottenuta lisciviando tutta la parete interna del contenitore stesso.

La deposizione totale è data dalla somma delle deposizioni secca e umida.

La deposizione giornaliera è valutata sulla base dei giorni di esposizione totali di ciascun periodo di campionamento.

L’andamento delle precipitazioni nel corso dell’anno di misure è illustrato nella figura seguente dove sono riportati, per ogni singolo periodo di campionamento, le quantità di acqua raccolta in ciascuna postazione. Si riscontra la variabilità tipica di questo parametro meteorologico unitamente all’omogeneità e significatività dei campioni analizzati nei vari periodi.



4.1.2 Risultati delle misure di deposizione

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori di deposizione media giornaliera ottenuta dalla somma delle deposizioni secca e umida misurate nei periodi di campionamento ed espressi in $\text{mg}/\text{m}^2/\text{giorno}$.

A lato di ogni tabella è riportata la precipitazione media giornaliera e la rosa dei venti del periodo.

In generale le condizioni di circolazione atmosferica vedono una più elevata frequenza delle componenti da NW-NNW con un incremento delle componenti dai quadranti meridionali nei periodi autunnali e primaverili.

<i>15 luglio – 20 ottobre</i> Postazione	Deposizion e SECCA	Deposizion e UMIDA insolubile	Deposizion e TOTALE	Precipitazione (mm di H ₂ O)/ gg	Rosa dei venti del periodo
	mg/m ² /gg				
Panettieri 1	52.7	26.2	78.9	2.3	<div style="text-align: center;"> <p>COSTA MORENA ROSA DEI VENTI PERIODO DAL 15-7-5 h.1 AL 20-10-5 h.24</p> <p>NUMERO DI OSSERVAZIONI : 2199 primo periodo</p> </div>
Panettieri 2	-	-	-		
Enel Ricerca	73.1	6.2	79.3		
Cantiere	143.2	6.6	149.8		
Meteo Centrale	41.1	6.1	47.2		
Dima 1	83.1	11.0	94.1		
Dima 2	60.4	7.3	67.7		
Dima 3	-	-	-		
Dima 2 bulk	-	-	-		

<i>20 ottobre – 2 dicembre</i> Postazione	Deposizion e SECCA	Deposizion e UMIDA insolubile	Deposizion e TOTALE	Precipitazione (mm di H ₂ O)/ gg	Rosa dei venti del periodo
	mg/m ² /gg				
Panettieri 1	62.9	120.1	183.0	4.6	<div style="text-align: center;"> <p>COSTA MORENA ROSA DEI VENTI PERIODO DAL 20-10-5 h.1 AL 2-12-5 h.24</p> <p>NUMERO DI OSSERVAZIONI : 1056 Secondo periodo</p> </div>
Panettieri 2	-	-	-		
Enel Ricerca	23.8	11.7	35.5		
Cantiere	79.7	29.6	109.3		
Meteo Centrale	30.7	31.4	62.2		
Dima 1					
Dima 2	58.5	4.4	62.9		
Dima 3	-	-	-		
Dima 2 bulk	-	-	-		

<i>02 dicembre – 11 gennaio</i> Postazione	Deposizion e SECCA	Deposizion e UMIDA insolubile	Deposizion e TOTALE	Precipitazione (mm di H ₂ O)/ gg	Rosa dei venti del periodo
	mg/m ² /gg				
Panettieri 1	10.4	9.7	20.1	2.2	<div style="text-align: center;"> <p>COSTA MORENA ROSA DEI VENTI PERIODO DAL 2-12-5 h.1 AL 11-1-6 h.24</p> <p style="font-size: small;">VELOCITA' DEL VENTO 0 5 10 15 20 25 m/s</p> <p style="font-size: x-small;">SCALA FREQUENZE 0 5 10 15 20 25%</p> <p style="font-size: x-small;">NUMERO DI OSSERVAZIONI : 984 terzo periodo</p> </div>
Panettieri 2	48.0	4.9	52.9		
Enel Ricerca	12.9	5.4	18.3		
Cantiere	54.2	6.8	61.0		
Meteo Centrale	19.3	5.7	25.0		
Dima 1 ⁴	-	-	20.0		
Dima 2	23.5	2.2	25.7		
Dima 3	53.8	3.9	57.6		
Dima 2 bulk	-	-	11.5		

<i>11 gennaio – 09 febbraio</i> Postazione	Deposizion e SECCA	Deposizion e UMIDA insolubile	Deposizion e TOTALE	Precipitazione (mm di H ₂ O)/ gg	Rosa dei venti del periodo
	mg/m ² /gg				
Panettieri 1	10.5	2.4	12.9	0.6	<div style="text-align: center;"> <p>COSTA MORENA ROSA DEI VENTI PERIODO DAL 11-1-6 h.1 AL 9-2-6 h.24</p> <p style="font-size: small;">VELOCITA' DEL VENTO 0 5 10 15 20 25 m/s</p> <p style="font-size: x-small;">SCALA FREQUENZE 0 5 10 15 20 25%</p> <p style="font-size: x-small;">NUMERO DI OSSERVAZIONI : 720 Quarto periodo</p> </div>
Panettieri 2	86.1	1.3	87.4		
Enel Ricerca	22.6	1.2	23.8		
Cantiere	144.4	3.5	147.9		
Meteo Centrale	84.8	4.6	89.4		
Dima 1	-	-	48.3		
Dima 2	29.1	1.3	30.5		
Dima 3	14.1	1.3	15.4		
Dima 2 bulk	-	-	19.1		

⁴ Da questo periodo in poi manca la differenza tra secco e umido in quanto è presente un campionatore tipo bulk e quindi è valutabile solo la deposizione totale.

<i>09 febbraio – 22 marzo</i> Postazione	Deposizion e SECCA	Deposizion e UMIDA insolubile	Deposizion e TOTALE	Precipitazione (mm di H ₂ O)/ gg	Rosa dei venti del periodo
	mg/m ² /gg				
Panettieri 1	63.7	75.9	139.6	2.4	<p style="text-align: center;">COSTA MORENA ROSA DEI VENTI PERIODO DAL 9-2-6 h.1 AL 22-3-6 h.24</p> <p style="text-align: right;">VELOCITA' DEL VENTO 0 5 10 15 20 25% SCALA FREQUENZE</p> <p style="text-align: left;">NUMERO DI OSSERVAZIONI : 1008 Quinto periodo</p>
Panettieri 2	12.7	60.9	73.7		
Enel Ricerca	43.1	78.1	121.1		
Cantiere	96.6	67.1	163.7		
Meteo Centrale	101.6	63.2	164.8		
Dima 1	-	-	167.4		
Dima 2	42.3	32.0	74.4		
Dima 3	51.0	77.3	128.3		
Dima 2 bulk	-	-	32.4		

<i>22 marzo – 31 maggio</i> Postazione	Deposizion e SECCA	Deposizion e UMIDA insolubile	Deposizion e TOTALE	Precipitazione (mm di H ₂ O)/ gg	Rosa dei venti del periodo
	mg/m ² /gg				
Panettieri 1	-	108.2	108.2	1.5	<p style="text-align: center;">COSTA MORENA ROSA DEI VENTI PERIODO DAL 22-3-6 h.1 AL 31-5-6 h.24</p> <p style="text-align: right;">VELOCITA' DEL VENTO 0 5 10 15 20 25% SCALA FREQUENZE</p> <p style="text-align: left;">NUMERO DI OSSERVAZIONI : 1704 Sesto periodo</p>
Panettieri 2	26.5	92.1	118.6		
Enel Ricerca	31.0	82.6	113.6		
Cantiere	115.0	17.5	132.5		
Meteo Centrale	75.0	23.0	98.0		
Dima 1	-	-	-		
Dima 2	152.2	51.5	203.6		
Dima 3	56.0	27.3	83.3		
Dima 2 bulk	-	-	64.7		

<i>31 maggio – 03 agosto</i> Postazione	Deposizion e SECCA	Deposizion e UMIDA insolubile	Deposizion e TOTALE	Precipitazione (mm di H ₂ O)/ gg	Rosa dei venti del periodo
	mg/m ² /gg				
Panettieri 1	45.1	31.1	76.2	0.6	<div style="text-align: center;"> <p>COSTA MORENA ROSA DEI VENTI PERIODO DAL 31-5-6 h.1 AL 3-8-6 h.24</p> <p style="font-size: small;">VELOCITA' DEL VENTO 5 1 2 4 6 12 m/s SCALA FREQUENZE 0 5 10 15 20 25%</p> <p style="font-size: x-small;">NUMERO DI OSSERVAZIONI : 1560 Settimo periodo</p> </div>
Panettieri 2	79.5	11.4	90.9		
Enel Ricerca	58.5	55.2	113.7		
Cantiere	191.8	6.1	197.9		
Meteo Centrale	52.4	6.5	58.9		
Dima 1	-	-	-		
Dima 2	8.6	35.7	44.3		
Dima 3	78.1	10.3	88.4		
Dima 2 bulk	-	-	-		

<i>03 agosto – 06 settembre</i> Postazione	Deposizion e SECCA	Deposizion e UMIDA insolubile	Deposizion e TOTALE	Precipitazione (mm di H ₂ O)/ gg	Rosa dei venti del periodo
	mg/m ² /gg				
Panettieri 1	-	31.8	31.8	1.3	<div style="text-align: center;"> <p>COSTA MORENA ROSA DEI VENTI PERIODO DAL 3-8-6 h.1 AL 6-9-6 h.24</p> <p style="font-size: small;">VELOCITA' DEL VENTO 5 1 2 4 6 12 m/s SCALA FREQUENZE 0 5 10 15 20 25%</p> <p style="font-size: x-small;">NUMERO DI OSSERVAZIONI : 840 Ottavo periodo</p> </div>
Panettieri 2	74.8	10.1	84.9		
Enel Ricerca	28.7	12.4	41.1		
Cantiere	199.4	10.3	209.7		
Meteo Centrale	92.1	12.4	104.5		
Dima 1	-	-	-		
Dima 2	54.7	8.3	63.0		
Dima 3	55.6	12.6	68.1		
Dima 2 bulk	-	-	-		

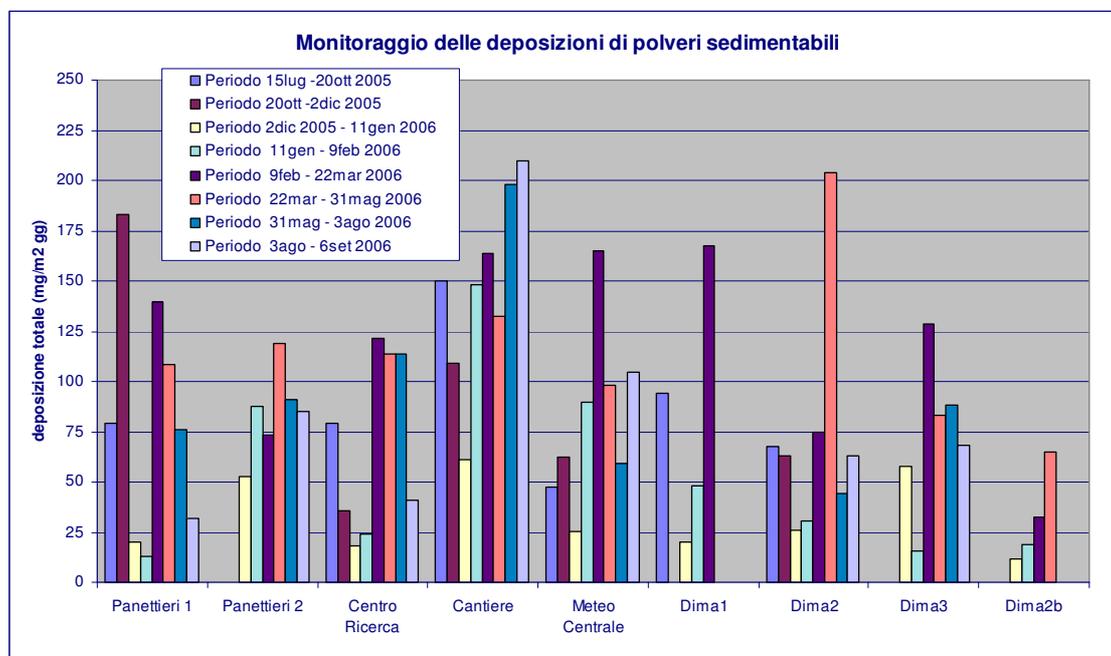
Dall'analisi dei risultati sperimentali si osserva che:

- sia fuori sia dentro all'area della centrale la polverosità è sempre bassa o assente, sulla base dei criteri identificati dal gruppo di lavoro della Commissione Centrale del Ministero dell'Ambiente contro l'inquinamento atmosferico.

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

- Nell'intero periodo considerato i venti provengono con maggiore frequenza dal settore nord-occidentale, facendo così risultare l'area di centrale e l'area DIMA più frequentemente sottovento. Si osserva inoltre che l'area "Enel Ricerca" risulta quasi sempre (in circa il 90% dei casi) sopravento al carbonile.

In tutti i casi la polverosità sedimentabile nelle postazioni sottovento non appare maggiore rispetto a quella sopravento, ad eccezione della postazione Cantiere come si evidenzia dalla figura seguente.



Per confermare la significatività delle differenze tra i valori di deposizione riscontrati nelle diverse postazioni, si è effettuato il confronto statistico tra i valori rilevati nelle medie delle singole postazioni. In altre parole si deve stabilire se fattori casuali possono influenzare i risultati.

A tal fine si ricorre al test “t” (detto anche di Student) che consente di escludere, con un certo grado di probabilità, che una eventuale associazione sia dovuta appunto al caso.

Nella tabella seguente sono riportati i valori delle differenze tra le deposizioni medie calcolate nelle diverse postazioni e la probabilità di errore associata al test t.

In particolare per ogni casella della tabella sono riportati due valori:

- ◆ quello inferiore rappresenta la differenza tra i valori medi di deposizione totale misurati nelle diverse postazioni; il calcolo è effettuato come differenza tra la postazione indicata in colonna e quella indicata nelle righe (per esempio “deposizioni di cantiere” – “deposizioni di Panettieri 1” = 65.1 mg/m² gg).
- ◆ quello superiore rappresenta la probabilità di commettere un errore sostenendo che la differenza sia effettiva, cioè affermare che le due medie appartengono a due popolazioni distinte. Il riferimento è usualmente preso a 0.05 che equivale a dire che la differenza è significativa al 95%. Nella tabella sono evidenziati con sfondo grigio, i casi con probabilità inferiore a 0.05.

<i>Probabilità test T</i>									
differenza tra i valori medi	Panettieri 1	Panettieri 2	Centro Ricerca	Cantiere	Meteo Centrale	Dima1	Dima2	Dima3	Dima2b
Panettieri 1	1.000 0.0	0.899 3.4	0.627 -13.1	0.031 65.1	0.842 -5.6	0.977 1.1	0.740 -9.9	0.785 -7.8	0.151 -49.4
Panettieri 2	0.899 -3.4	1.000 0.0	0.416 -16.4	0.012 61.8	0.691 -9.0	0.936 -2.3	0.598 -13.2	0.539 -11.2	0.006 -52.8
Centro Ricerca	0.627 13.1	0.416 16.4	1.000 0.0	0.004 78.2	0.757 7.4	0.659 14.1	0.901 3.2	0.818 5.2	0.156 -36.4
Cantiere	0.031 -65.1	0.012 -61.8	0.004 -78.2	1.000 0.0	0.012 -70.8	0.077 -64.0	0.012 -75.0	0.009 -72.9	0.001 -114.6
Meteo Centrale	0.842 5.6	0.691 9.0	0.757 -7.4	0.012 70.8	1.000 0.0	0.846 6.7	0.877 -4.2	0.930 -2.2	0.136 -43.8
Dima1	0.977 -1.1	0.936 2.3	0.659 -14.1	0.077 64.0	0.846 -6.7	1.000 0.0	0.767 -10.9	0.786 -8.9	0.190 -50.5
Dima2	0.740 9.9	0.598 13.2	0.901 -3.2	0.012 75.0	0.877 4.2	0.767 10.9	1.000 0.0	0.940 2.0	0.215 -39.6
Dima3	0.785 7.8	0.539 11.2	0.818 -5.2	0.009 72.9	0.930 2.2	0.786 8.9	0.940 -2.0	1.000 0.0	0.085 -41.6
Dima2b	0.151 49.4	0.006 52.8	0.156 36.4	0.001 114.6	0.136 43.8	0.190 50.5	0.215 39.6	0.085 41.6	1.000 0.0

tra -10 e +10 mg/m² gg

> 30 mg/m² gg

< -30 mg/m² gg

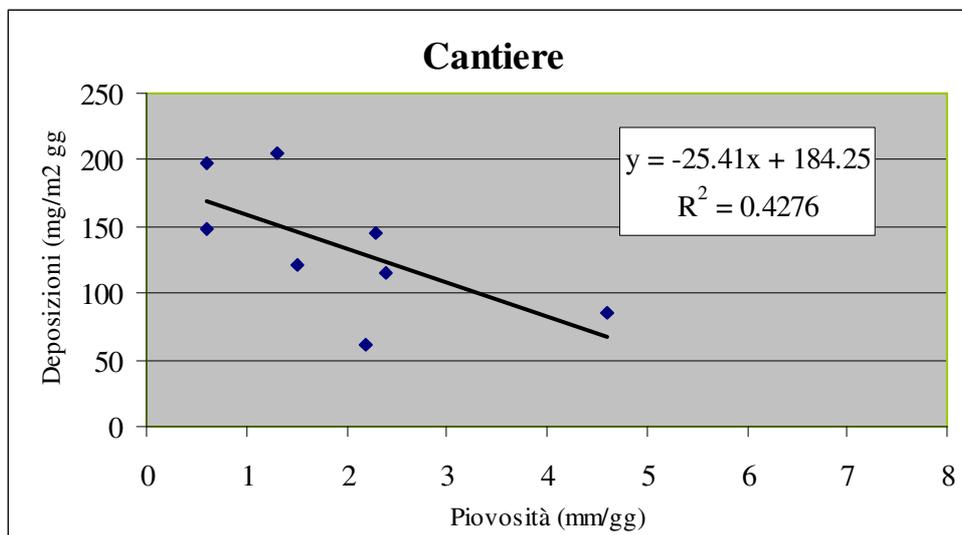
differenza significativa al 95%

Il risultato del test mostra che è presente una differenza statisticamente significativa solo nel caso del raffronto tra la postazione Cantiere con tutte le altre ad eccezione della postazione Dima 1, dove peraltro la significatività della differenza sarebbe solo del 93% contro il 95% di riferimento.

Cantiere è pertanto l'unica postazione che presenta un incremento significativo della polverosità potenzialmente riconducibile, vista la vicinanza con il carbonile, alla movimentazione del carbone.

L'omogeneità delle misure sperimentali delle deposizioni nelle postazioni più esterne e la loro confrontabilità con quella di Enel Ricerca, ritenuta la postazione di fondo per la frequente condizione di sopravento al carbonile, permette di affermare che la polverosità indotta dalle attività di movimentazione del carbone è contenuta in ambito molto ristretto e limitato alle zone interne all'area di centrale.

Infine, nella figura seguente, è mostrato l'effetto della pioggia nella riduzione delle misure di deposizione nella postazione Cantiere. Ciò conferma l'efficacia della bagnatura sulla riduzione dei fenomeni di erosione dei cumuli di carbone.



4.2 Concentrazione media giornaliera di PM10

Nel periodo 3 agosto ÷ 1 settembre 2006 sono state determinate le concentrazioni di polveri PM10 aerodisperse nelle medesime quattro aree utilizzate anche per i rilievi di polveri sedimentabili. Sono stati effettuati campionamenti giornalieri mediante campionatori automatici sequenziali e determinazione gravimetrica dei supporti filtranti.

4.2.1 Risultati delle misure di PM10

Nella tabella seguente ed in forma grafica nella figura successiva sono riportati i risultati delle misure di PM10 espressi in $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (volume normalizzato alla temperatura di 0°C); nei casi di campionamenti non validi per anomalia strumentale, è riportato il simbolo “-”.

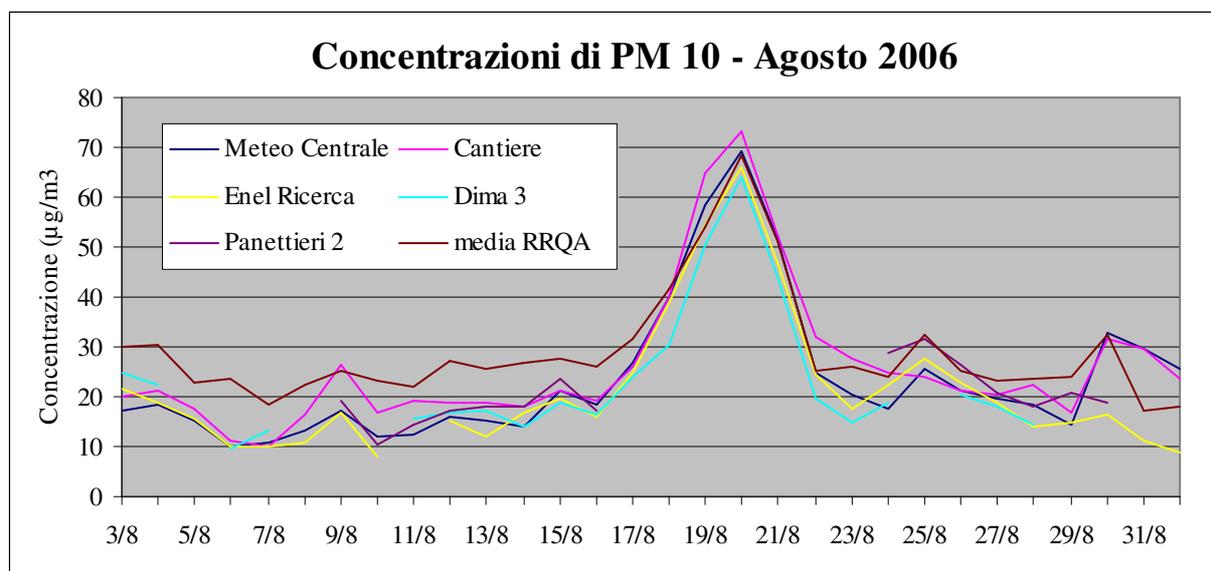
Come già fatto per le deposizioni secche e umide si sono valutate le condizioni di provenienza del vento nel periodo di campionamento. Si riportano inoltre anche i dati di precipitazione totale giornaliera.

La direzione prevalente del vento è stata attribuita al settore (di ampiezza pari a 45°) con maggiore frequenza di provenienza nell’arco delle 24 ore. Per venti provenienti da più di quattro settori adiacenti è inserito “variabile”.

Data	Concentrazioni PM10 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)					Direzione prevalente del vento	Precipitazione (mm di H ₂ O)
	Meteo Centrale	Cantiere	ENEL Ricerca	Dima3	Panettieri 2		
03/08/06	17	20	22	25	22	SE-SW	0
04/08/06	18	21	19	22	-	variabile	0
05/08/06	15	18	16	-	-	SW-N	2.4
06/08/06	10	11	10	10	-	variabile	7.4
07/08/06	11	10	10	13	-	variabile	0.2
08/08/06	13	16	11	-	-	variabile	0
09/08/06	17	26	17	-	19	variabile	21.8
10/08/06	12	17	8	-	10	variabile	10.2
11/08/06	12	19	-	16	14	variabile	0
12/08/06	16	19	15	17	17	SE-SW	0
13/08/06	15	19	12	17	18	SE-W	2.6
14/08/06	14	18	17	14	18	variabile	0.2
15/08/06	21	21	19	19	24	variabile	0
16/08/06	18	19	16	16	17	variabile	0
17/08/06	27	26	25	24	-	NE-S	0
18/08/06	40	40	39	30	-	variabile	0
19/08/06	58	65	55	50	-	variabile	0
20/08/06	69	73	66	64	-	variabile	0

Data	Concentrazioni PM10 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)					Direzione prevalente del vento	Precipitazione (mm di H ₂ O)
	Meteo Centrale	Cantiere	ENEL Ricerca	Dima3	Panettieri 2		
21/08/06	51	52	47	44	-	variabile	0
22/08/06	25	32	24	20	-	W-N	0
23/08/06	20	28	18	15	-	SW-N	0
24/08/06	18	25	22	19	29	variabile	0
25/08/06	26	24	28	-	32	variabile	0
26/08/06	21	21	23	20	26	variabile	0
27/08/06	19	20	19	18	21	variabile	0
28/08/06	19	22	14	14	18	variabile	0
29/08/06	14	17	15	-	21	S-SW	0
30/08/06	33	32	16	-	19	S-NW	0
31/08/06	30	30	11	-	-	N-NW	0
01/09/06	26	24	9	-	12	N-NW	0

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



Per poter così discriminare l'influenza del carbonile sulle concentrazioni di PM10 rilevate nelle diverse postazioni, ed individuare differenze significative tra le misure effettuate sottovento e sopravento, si

effettua, anche in questo caso, il confronto statistico tra le medie ottenute nelle diverse condizioni di esposizione utilizzando il test di Student.

Nella tabella seguente, in maniera analoga a quanto fatto per le deposizioni, sono riportati i valori delle differenze tra le concentrazioni medie calcolate nelle diverse condizioni e la probabilità di errore associata al test “t”.

		Sottovento	
Meteo Centrale	sopravento	6.8	0.087
	variabile	0.1	0.990
Cantiere	sopravento	7.0	0.037
	variabile	-0.5	0.948
Dima 3	sopravento	-3.5	0.377
	variabile	-7.4	0.526

		Sottovento	
Panettieri 2	sopravento	2.1	0.540
	variabile	-1.7	0.663

		Sottovento	
Enel Ricerca	sopravento	#DIV/0!	9.0
	variabile	#DIV/0!	0.4

	tra -2 e +2 µg/m3
	> 5 µg/m3
	< -5 µg/m3

	differenza significativa al 95%
--	---------------------------------

Il risultato del test mostra una differenza statisticamente significativa solo nel caso del confronto tra i dati in condizioni di sottovento e sopravvento della postazione Cantiere e di Meteo Centrale.

Questo significa che la differenza tra le medie nei due casi non è casuale, ma è dovuta all’influenza significativa di una sorgente rispetto ad altre. Con buona probabilità essa può essere identificata nel carbonile.

Per le altre postazioni il confronto tra le osservazioni ottenute in condizioni di sottovento e sopravvento mostra che non ci sono differenze significative. Per Enel Ricerca non è possibile valutare il confronto in quanto è presente solo un caso di sottovento.

Si può riconfermare quindi che non c’è incidenza fuori dall’area di centrale del carbonile e delle attività connesse ad esso.

5 CONCLUSIONI

Nel presente studio sono valutati i benefici sulla polverosità ambientale, derivanti dagli interventi realizzati sul carbonile della centrale Federico II, situata a Brindisi in località Cerano.

Dalla valutazione modellistica delle ricadute di polverosità dal carbonile, tenendo conto delle modifiche gestionali ed ingegneristiche che sono in corso di realizzazione, è emerso che la polverosità all’esterno

dell'area di centrale non è mediamente condizionata dalle attività di movimentazione e stoccaggio del carbone.

Lo studio ha quindi previsto l'esecuzione di misure sperimentali di polverosità sedimentabile e aerodispersa della durata di oltre un anno; l'analisi statistica dei risultati sperimentali ha permesso di confermare le indicazioni emerse dallo studio modellistico e cioè che la polverosità indotta dal carbonile e dalle attività connesse ad esso è contenuta in ambito molto ristretto e limitato alle zone interne all'area di centrale.