

# Influenza del traffico portuale sulla qualità dell'aria per la città di Venezia

Prodi F<sup>1.</sup>, P. Cescon<sup>2.</sup>, A. Gambaro<sup>2.</sup>, F. Belosi<sup>1.</sup>, D.Contini<sup>3.</sup>, A. Donateo<sup>3.</sup>, G. Giovanelli<sup>1.</sup>, I. Kostadinov<sup>1.</sup>, S.Masieri<sup>1.</sup>

1 Istituto Scienze dell'Atmosfera e del Clima – CNR, Bologna

2 Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali – CNR, Venezia

3 Istituto Scienze dell'Atmosfera e del Clima – CNR, Lecce

Studio finanziato dalla Autorità Portuale di Venezia



Porto di Venezia

# Convenzione MARPOL 73/78 (Annex VI)

- 4.5% tenore di zolfo. Dal 2012 ridotto 3.5% e progressivamente a 0.5% (2020).
- Aree ad emissione di zolfo controllate (Mare Baltico, Mare del Nord e Canale della Manica) 1.5% di zolfo. Dal 2012 ridotto a 1.0% di zolfo e progressivamente a 0.1% nel 2015.

# Decreto Legislativo 9/11/2007

- Attuazione della direttiva europea 2005/33/CE;
- Obbligo per le navi passeggeri in servizio di linea (traghetti) di utilizzare nelle acque territoriali italiane e nei porti olio combustibile con 1.5% tenore di zolfo (dal 2010);
- Obbligo per le navi che utilizzano gasolio un tenore di zolfo inferiore a 0.1%(dal 2010).

# Accordo volontario Venezia

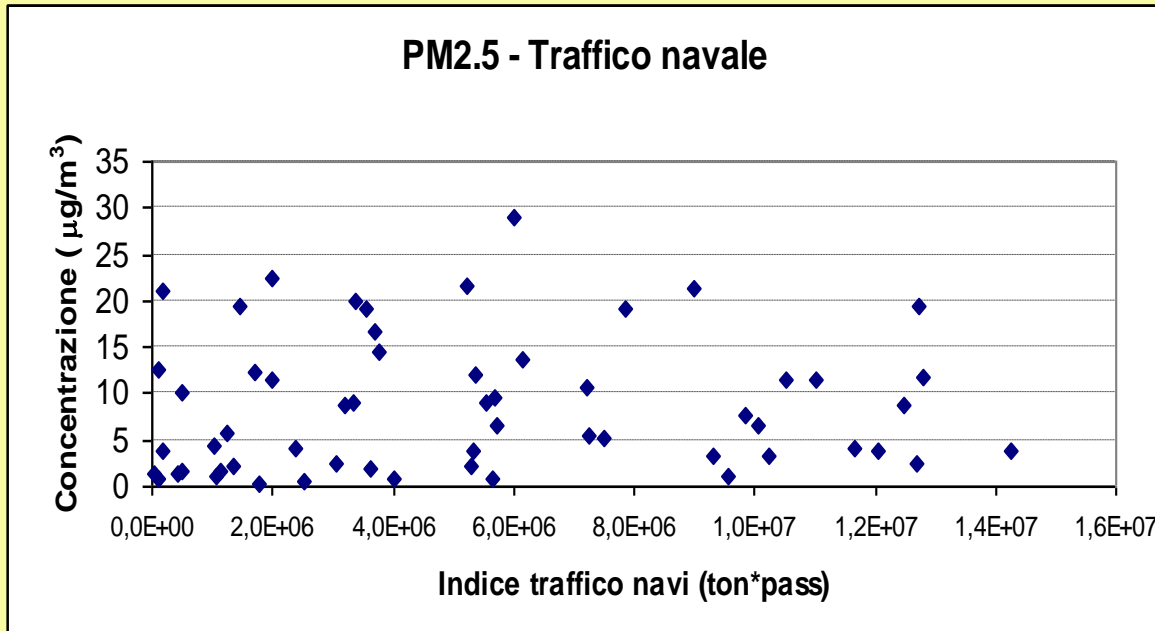
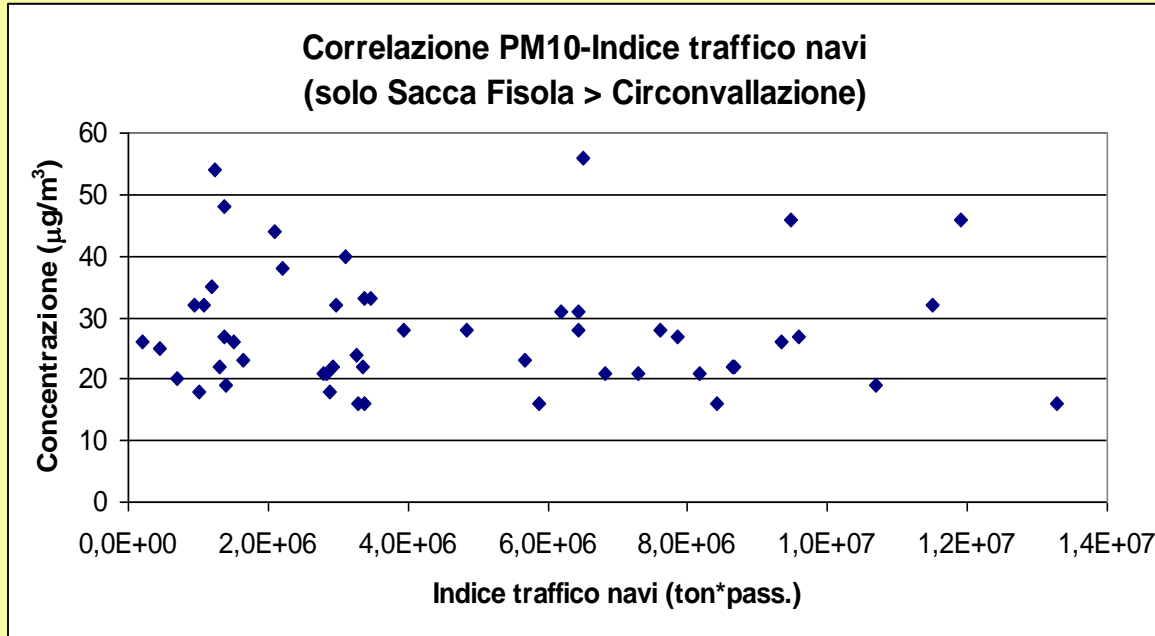
- Accordo volontario Amministrazione Comunale di Venezia, Capitaneria di Porto, Autorità Portuale e 31 compagnie di navigazione (27/03/2007) olio combustibile o gasolio con 2.5% di zolfo;
- Nuovo accordo volontario a decorrere dal 2010 tutte le navi all'ormeggio devono utilizzare combustibile marino con 0.1% di zolfo (23/05/2008);
- Per le navi non di linea (crociere) che usano olio combustibile tenore inferiore al 2.0% di zolfo (durante la sosta 1.5%).

# Obiettivi dello studio

- Valutazione dei valori di emissioni gassose prodotte da navi che attraversano il canale della Giudecca ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ );
- Stima del contributo primario di  $\text{PM}_{2.5}$  dovuto alle Grandi navi



# CORRELAZIONE TONNELLAGGIO (PASSAGGI)- CONCENTRAZIONE



**Non si osserva una particolare correlazione fra il tonnellaggio giornaliero moltiplicato per il numero di passaggi e la concentrazione media giornaliera osservata di PM10 e PM2.5.**

# I SITI DI MISURA E LE CAMPAGNE DI RILEVAMENTO DATI



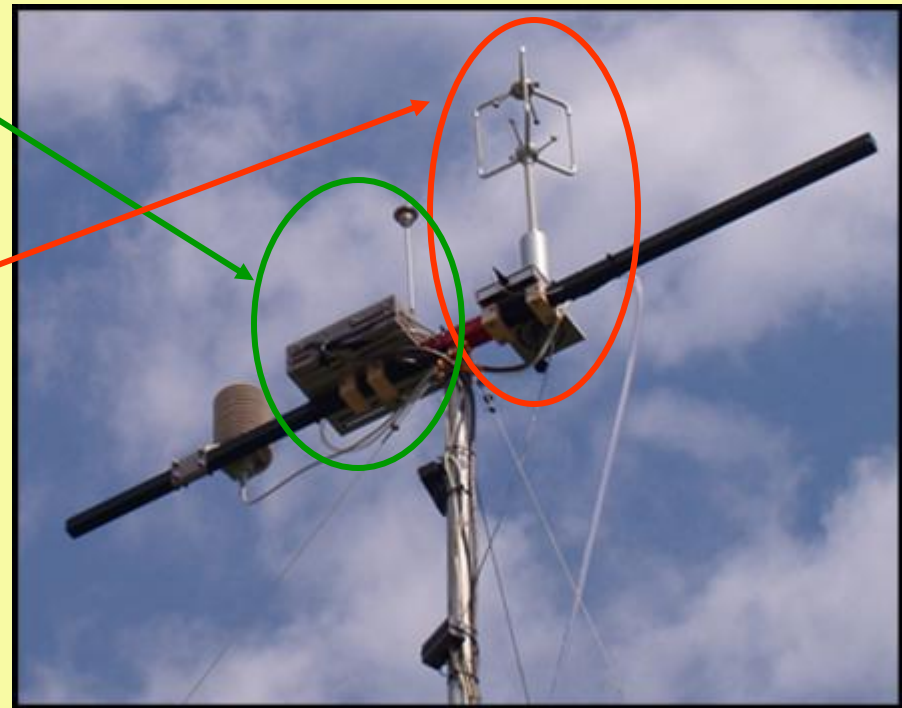
- ❖ San Biagio 2 campagne di misura di un mese nel periodo estivo (Luglio e Settembre 2007)
- ❖ DOAS 2 campagne di misura di un mese nel periodo estivo (Luglio e Settembre 2007)
- ❖ Tronchetto rilevamenti da marzo 2007 fino a ottobre 2007
- ❖ Capitaneria rilevamenti da marzo 2007 fino a ottobre 2007

## LA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA – San Biagio

Campionatore in tempo reale del particolato fine (PM2.5) e strumentazione di rilevamento dei parametri meteorologici e micrometeorologici con anemometro ultrasonico Gill R3.



Rilevatore ottico pDR-1200 (Personal Data RAM) per la misura in tempo reale della concentrazione in massa del PM2.5 alla frequenza di 1 Hz con aspirazione e selezione dimensionale utilizzando una pompa AQUARIA ed un ciclone (2.5  $\mu\text{m}$  cut-off a 4l/m).



Rilevatori gravimetrici per calibrazione dello strumento ottico e per la raccolta del particolato atmosferico per le successive analisi chimiche.



# LA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA – Capitaneria e Tronchetto

## Sito Tronchetto

2 Campionatori Dust Track ® per la misura simultanea del PM10 e del PM2.5 con periodo di campionamento di 20 secondi.

1 Campionatore Gravimetrico per la misura del PM10

1 Campionatore Gravimetrico per la misura del PM2.5

1 Stazione di misura temperatura ed umidità relativa.

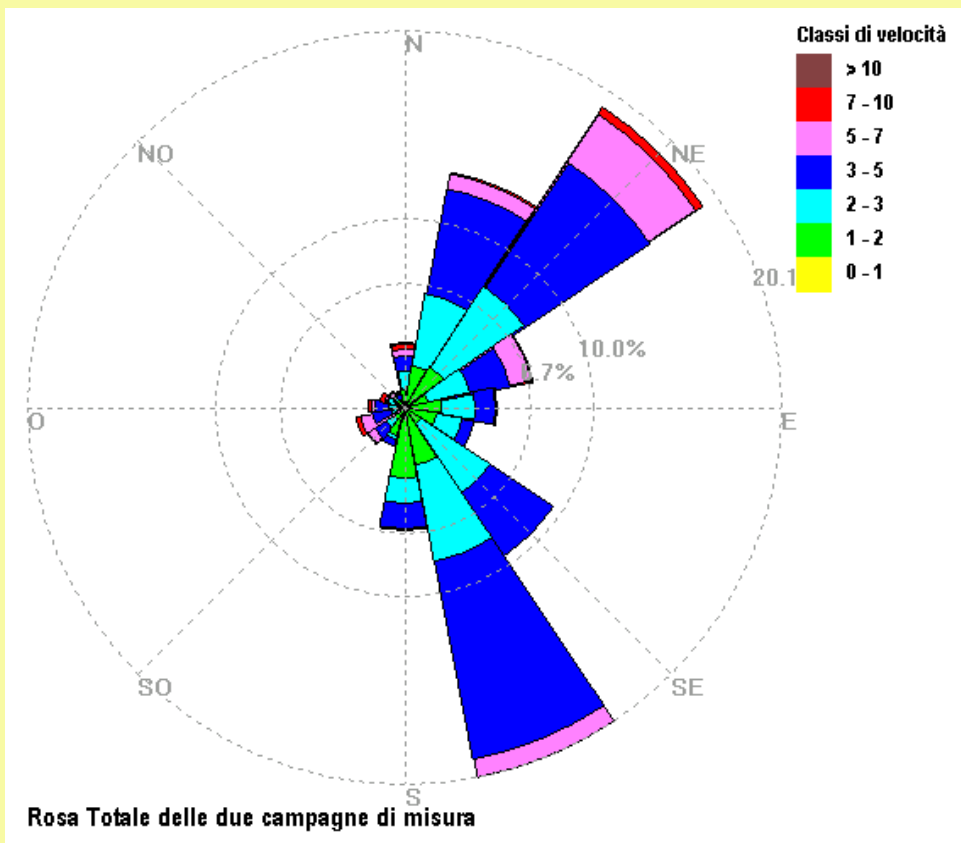
## Sito Capitaneria di Porto

2 Campionatori Dust Track ® per la misura del PM2.5 e del PM10.

1 Stazione di misura temperatura ed umidità relativa.



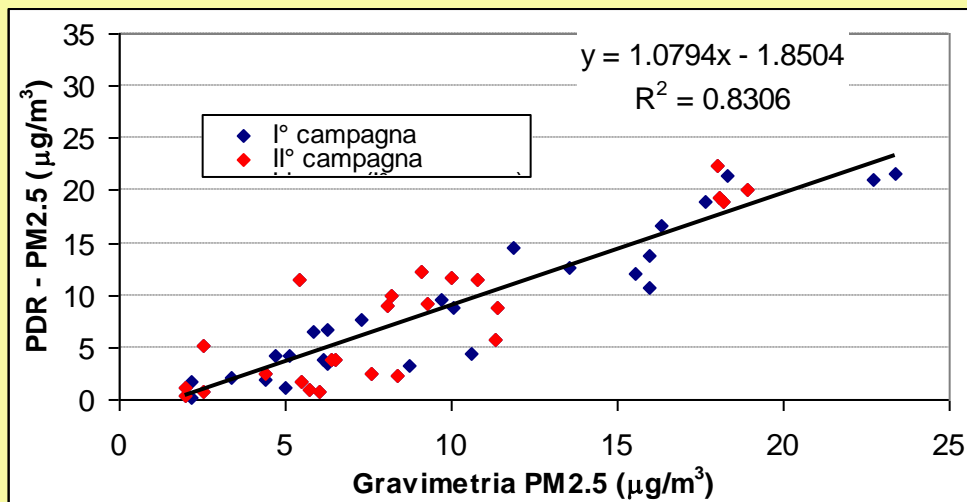
# PARAMETRI METEOROLOGICI RILEVATI



**La direzione dai settori NNE e NE è la più frequente ed è anche quella associata ai venti più intensi.**

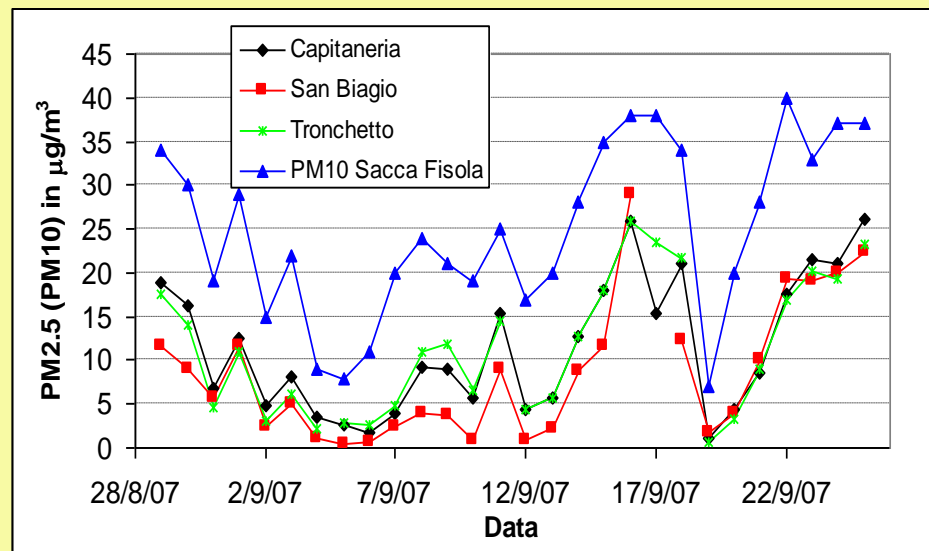
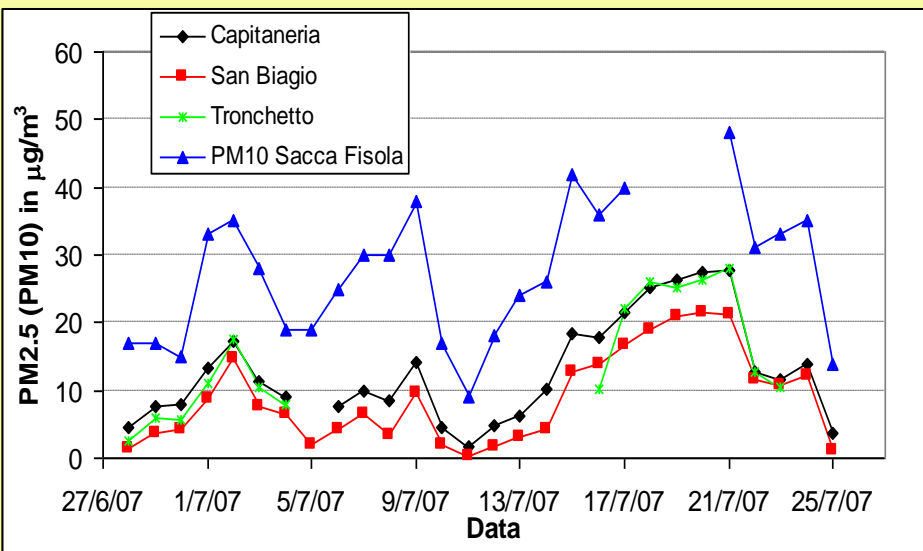
**I risultati di interesse sono stati ottenuti selezionando le direzioni del vento da un settore compreso fra 320° e 45°.**

# CONCENTRAZIONE DI PM2.5 (MEDIE GIORNALIERE)



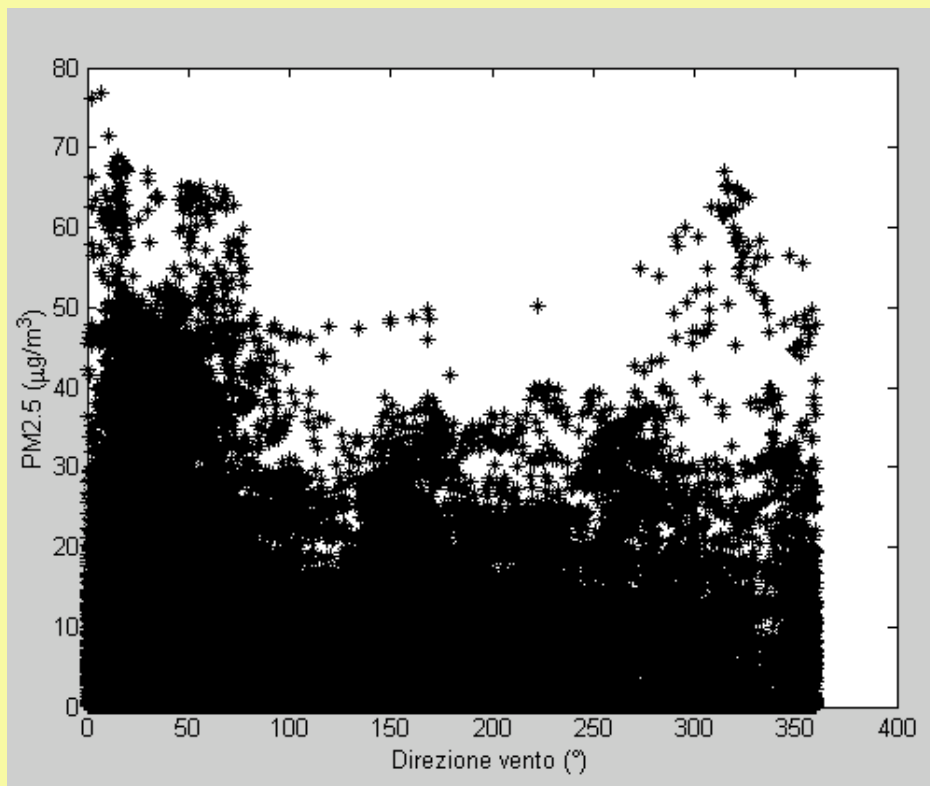
Media gravimetria  
 $9.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Media sistema  
ottico  $8.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$



# CONCENTRAZIONE VERSO DIREZIONE DEL VENTO PRIMA VALUTAZIONE IMPATTO TRAFFICO NAVALE

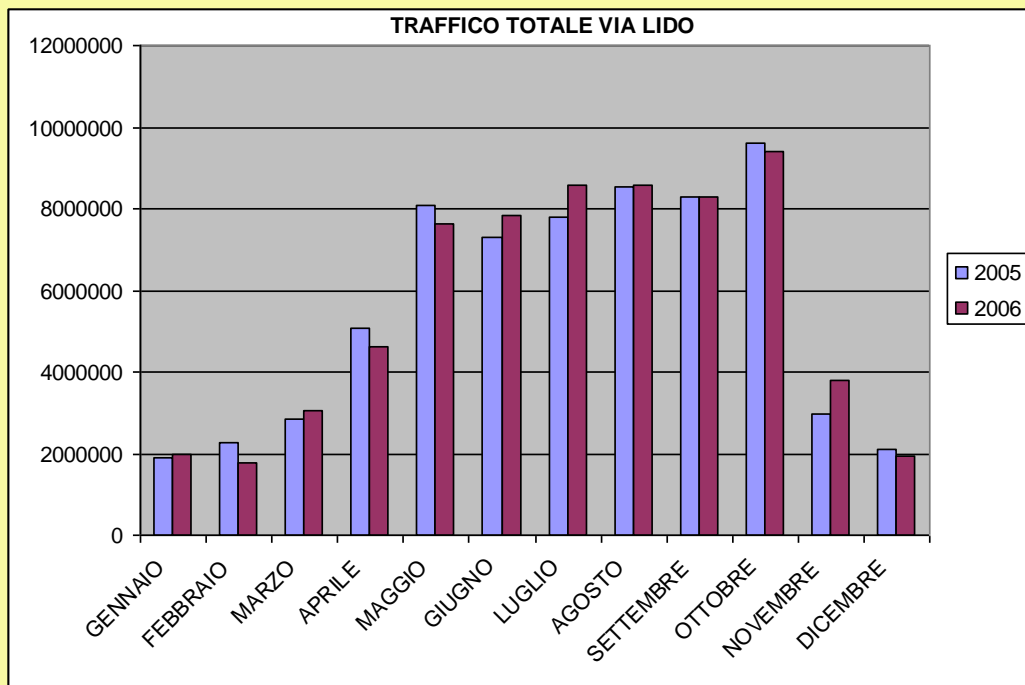
Si osserva che i massimi di concentrazione si hanno nel settore compreso fra NO e NE.



**Contributo delle sorgenti nel settore in analisi alla concentrazione media di PM2.5: Periodo estivo 14%**

Il valore osservato di impatto è da ritenersi un valore limite cautelativo in quanto è presumibilmente influenzato dal traffico sul ponte della Libertà ed anche ad effetti meteorologici legati al sistema di circolazione che si instaura sulla Laguna di Venezia.

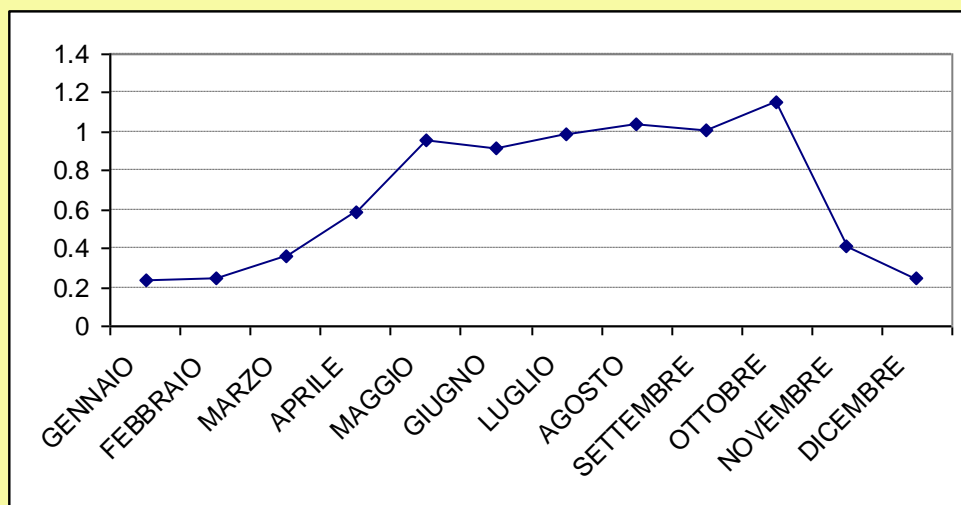
# ANDAMENTO ANNUALE DEL TRAFFICO NAVALE – VIA LIDO



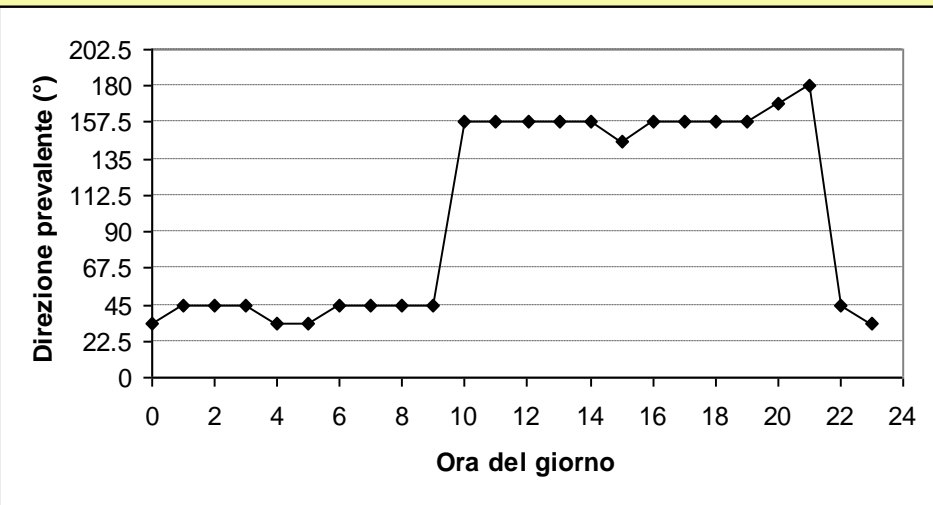
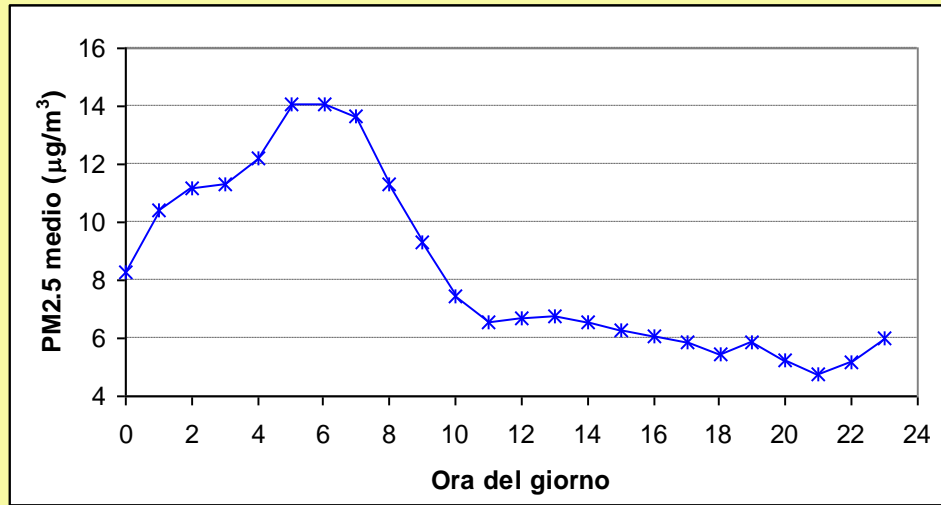
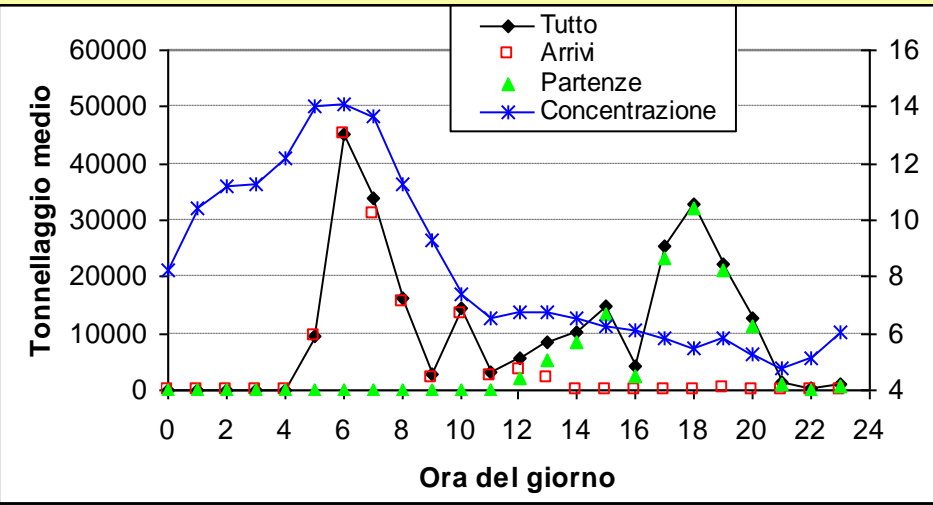
La curva di modulazione è valutata come media degli anni 2005 e 2006 di traffico via Lido ed è utilizzata per estendere a tutto l'anno l'effetto valutato sui mesi di luglio e settembre

Contributo delle sorgenti nel settore in analisi alla concentrazione media di PM2.5: Periodo estivo 14%

**Annuale con modulazione 9%-10%**



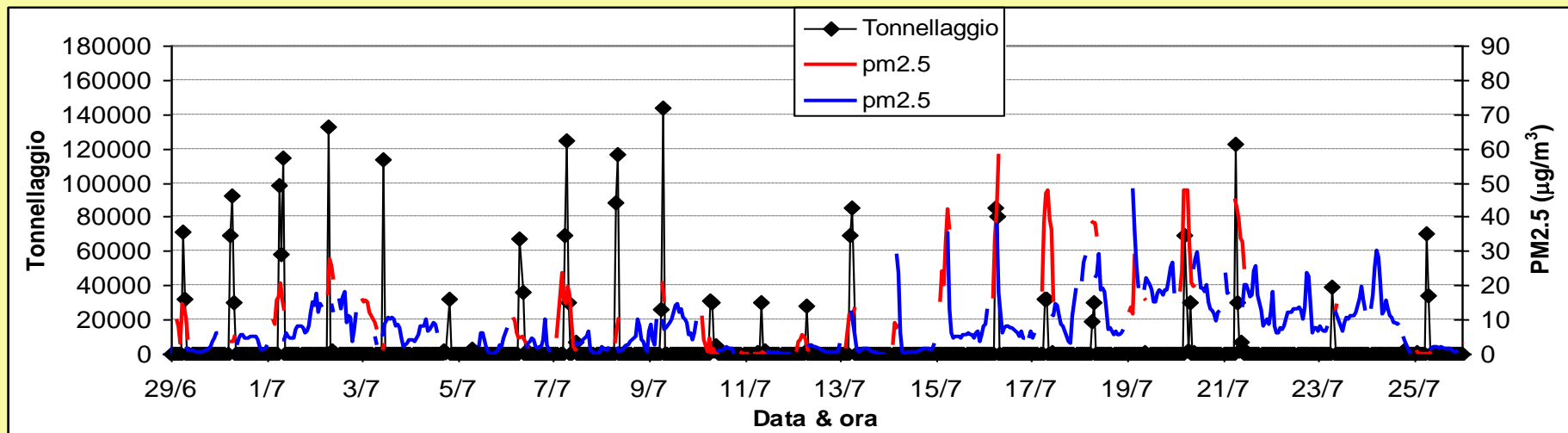
# ANDAMENTO ORARIO DEL TRAFFICO NAVALE (VIA LIDO) E DELLE CONCENTRAZIONI DI PM2.5



Il sito di misura sembra essere influenzato prevalentemente nelle prime ore del mattino e di notte con una ragionevole correlazione fra il traffico in tonnellaggio e le concentrazioni.

# ANALISI DEL TRAFFICO NAVALE E DELLA DIREZIONE DEL VENTO SIMULTANEAMENTE

## VALUTAZIONE IMPATTO TRAFFICO NAVALE



Si osserva una correlazione fra i picchi che avvengono con le direzioni del vento comprese fra NO e NE ed il tonnellaggio orario (picchi in rosso).

Si osserva inoltre la presenza di altri picchi (in blu) che non sono correlati ad un'attività di traffico navale.

L'analisi di dettaglio permette di valutare l'impatto del traffico navale registrato al Porto di Venezia al PM2.5.

# ANALISI DEL TRAFFICO NAVALE E DELLA DIREZIONE DEL VENTO SIMULTANEAMENTE

## VALUTAZIONE IMPATTO TRAFFICO NAVALE

### SITO DI MISURA DI SAN BIAGIO



Periodo	Impatto PM2.5
Estivo (Luglio e Settembre)	8% - 9%
Annuale (con modulazione)	5% - 6%

L'effetto è presente prevalentemente di notte ed alle prime ore del mattino.

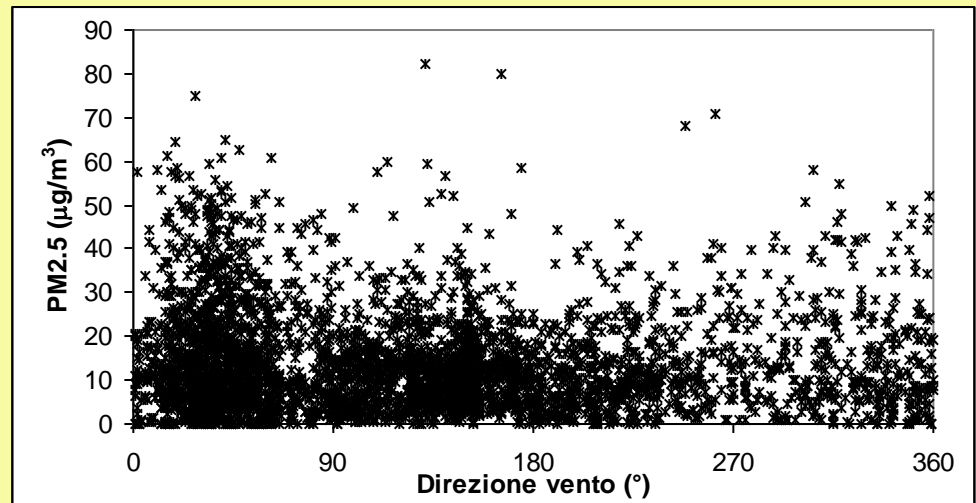
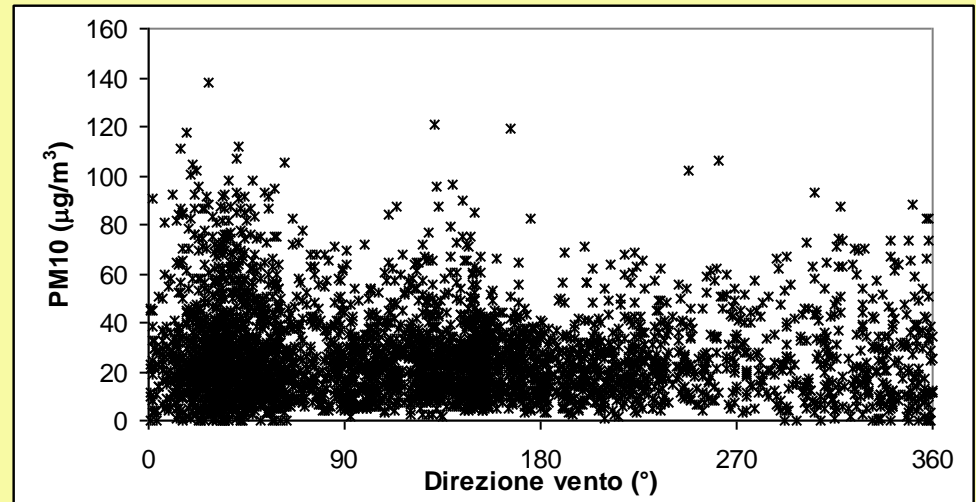
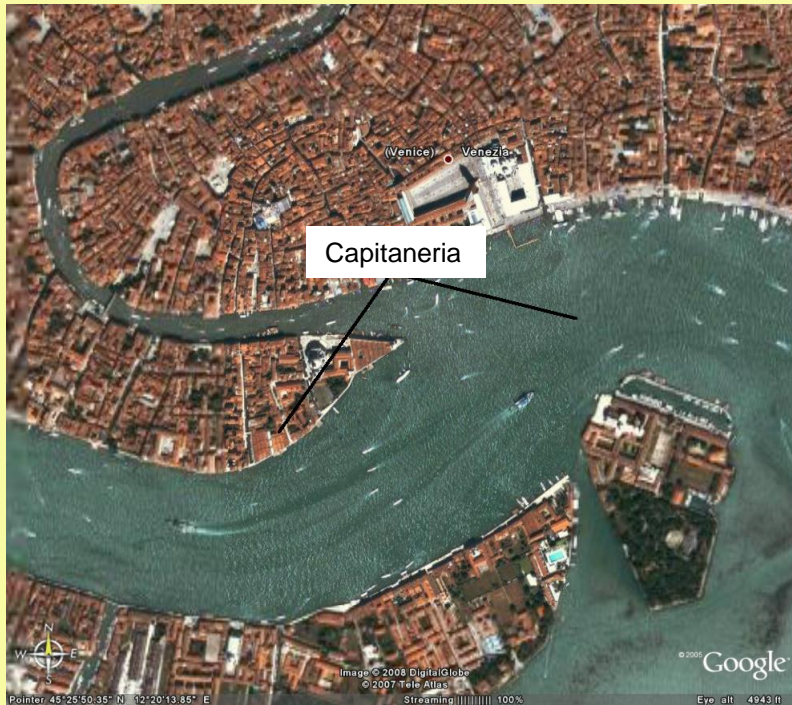
Il sito è influenzato prevalentemente dall'arrivo delle navi.

L'impatto stimato dalla sola analisi della direzione del vento è del 14% nel periodo estivo e del 10% modulata annualmente.



# ANALISI DELLA DIREZIONE DEL VENTO E DELLE CONCENTRAZIONI DI PM10 E PM2.5

## SITO DI MISURA DI CAPITANERIA



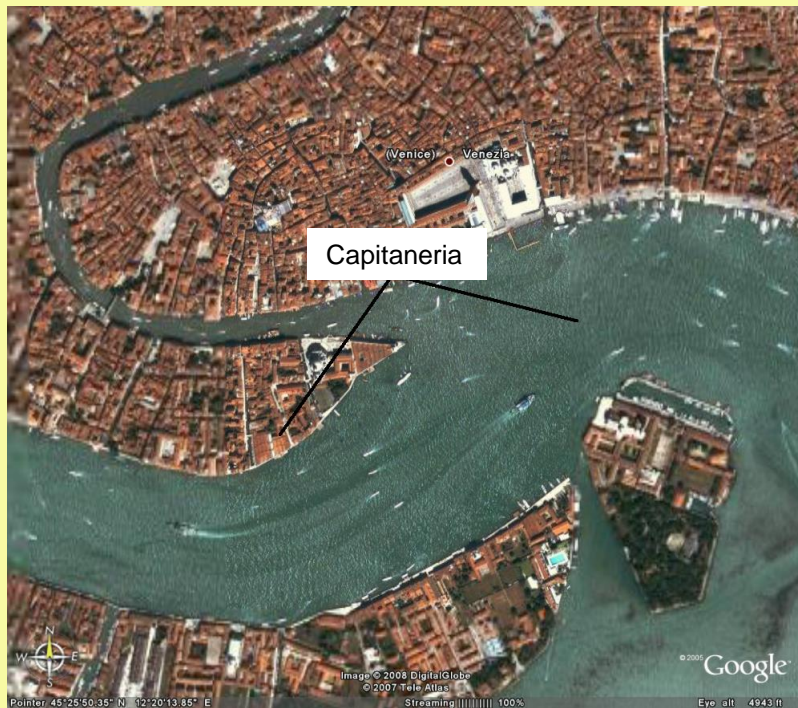
**PERIODO  
MARZO-OTTOBRE 2007**

Fonte dati meteorologici invernali: Ente Zona Industriale di Porto Marghera

# ANALISI DEL TRAFFICO NAVALE E DELLA DIREZIONE DEL VENTO SIMULTANEAMENTE

## VALUTAZIONE IMPATTO TRAFFICO NAVALE

### SITO DI MISURA DI CAPITANERIA



Periodo	Impatto PM2.5 e PM10
<b>Estivo</b> <b>(Luglio e Settembre)</b>	<b>3% - 4%</b>
<b>Annuale</b> <b>(con modulazione)</b>	<b>2% - 3%</b>
<b>Lungo periodo</b> <b>(Marzo-Ottobre)</b>	<b>Circa 1 %</b>

**Sito influenzato prevalentemente di giorno.**

**Sito influenzato prevalentemente dalle partenze delle navi.**

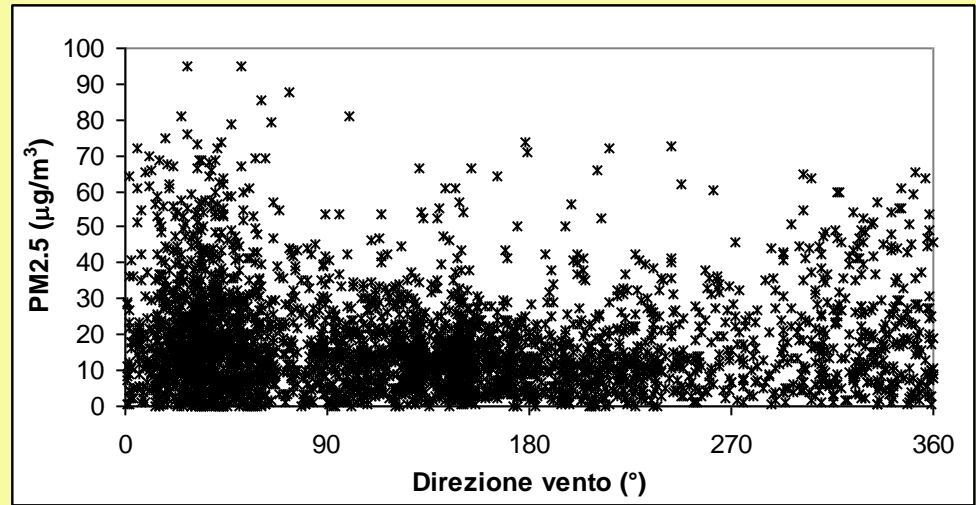
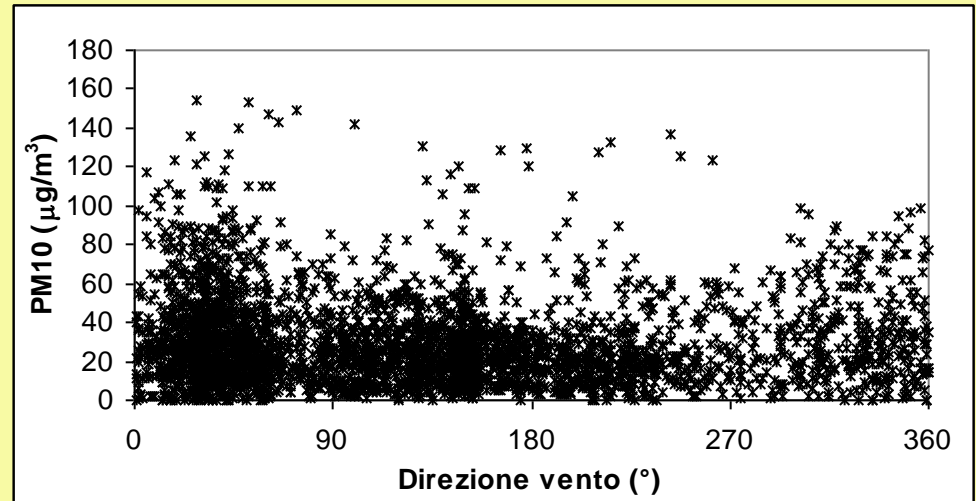
Fonte dati meteorologici invernali: Ente Zona Industriale di Porto Marghera

# ANALISI DELLA DIREZIONE DEL VENTO E DELLE CONCENTRAZIONI DI PM10 E PM2.5

## SITO DI MISURA DI TRONCHETTO



**PERIODO  
MARZO-OTTOBRE 2007**



Fonte dati meteorologici invernali: Ente Zona Industriale di Porto Marghera

# ANALISI DEL TRAFFICO NAVALE E DELLA DIREZIONE DEL VENTO SIMULTANEAMENTE

## VALUTAZIONE IMPATTO TRAFFICO NAVALE – SO<sub>2</sub>

### SITO DI MISURA DI SACCA FISOLA



Periodo	Impatto SO <sub>2</sub>
<b>Estivo</b> <b>(Luglio e Settembre)</b>	<b>16% - 17%</b>
<b>Annuale</b> <b>(con modulazione)</b>	<b>11% - 12%</b>
<b>Lungo periodo</b> <b>(Marzo-Ottobre)</b>	<b>12% - 13%</b>

**L'effetto del traffico navale su SO<sub>2</sub> è maggiore rispetto a quelle sulle polveri sospese.**

Fonte dati di concentrazione oraria di SO<sub>2</sub>: ARPA Veneto

Fonte dati meteorologici invernali: Ente Zona Industriale di Porto Marghera

## CONCLUSIONI

---

**Il contributo del traffico navale alle concentrazioni di PM10 è analogo a quello relativo al PM2.5.**

**L'impatto rilevato è variabile in relazione al sito di misura come conseguenza della circolazione atmosferica e della non linearità della dispersione di inquinanti.**

**L'impatto sulle concentrazioni di polveri sospese rilevate in tre diversi siti di misura, relativamente al periodo estivo, è: 2-3% (Tronchetto), 3-4% (Capitaneria) e 8-9% (San Biagio).**

**L'impatto di lungo periodo (annuale), stimato attraverso l'analisi del tonnellaggio mensile, è: 2% (tronchetto), 2-3% (Capitaneria) e 5-6% (San Biagio).**

**L'impatto del traffico navale sulle concentrazioni osservate di SO<sub>2</sub> a Sacca Fisola è 16-17% (periodo estivo) e 11-12% (come media annuale).**

# Valutazione dei valori di emissioni gassose prodotte da navi che attraversano il canale della Giudecca

## Misure di $\text{NO}_2$ , $\text{SO}_2$ , e $\text{O}_3$

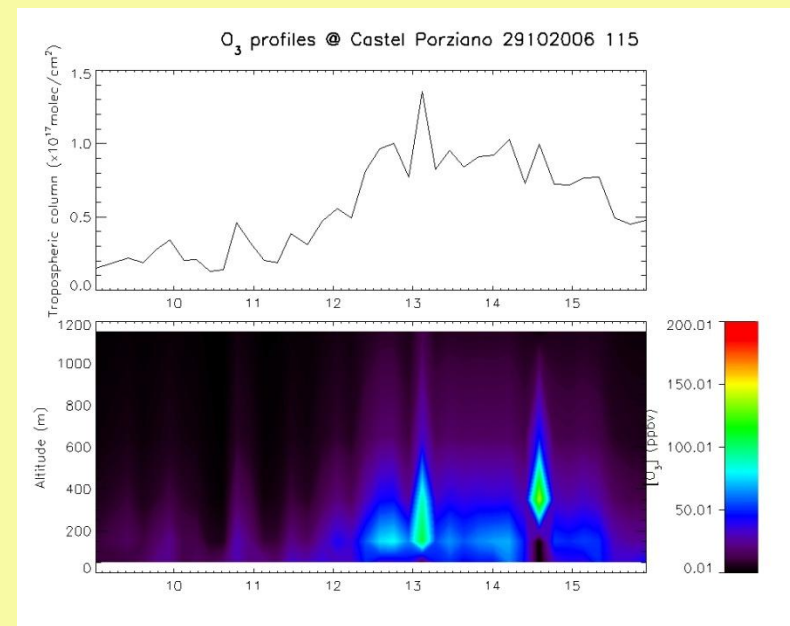
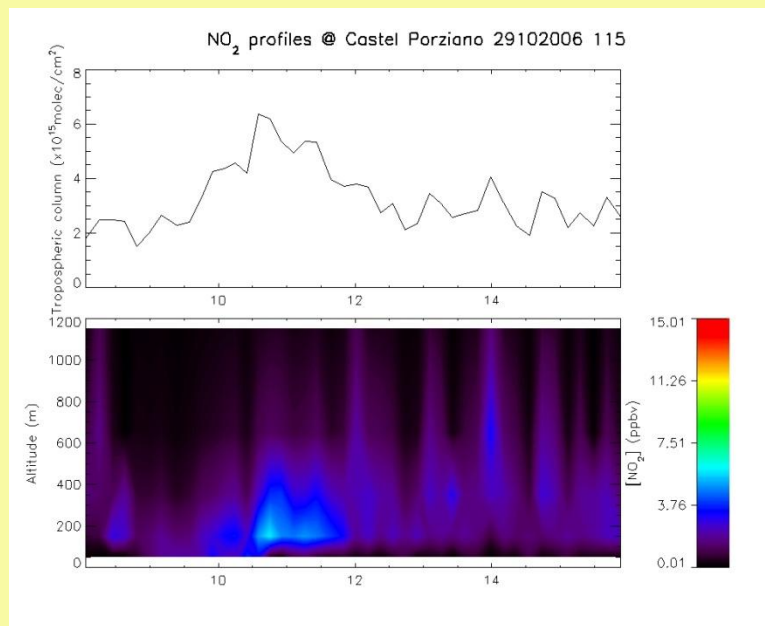


## Misure del contributo delle emissioni gassose dovuto al passaggio delle navi lungo il canale della Giudecca e separazione di questo impatto dall'intero carico di sostanze inquinanti gassose che grava sull'area di Venezia

- Il metodo si avvale di una serie di misure della radiazione solare diffusa ricavate a diversi angoli zenitali con il sistema a Remote sensing, per calcolare il flusso totale di emissione della ciminiera del camino della nave in esame.
- Se queste rilevazioni sono effettuate in continuo per tutti il periodo diurno si può valutare il contributo delle emissioni gassose dovuto alle navi che attraccano nel porto nell'arco della giornata (o dell'intera campagna d'indagine).
- il mezzo mobile, dotato di gruppo di continuità, e contenente il sistema a remote sensing del tipo DOAS, è stato posizionato nella parte della banchina, del porto commerciale di Venezia, in prossimità del parcheggio.
- La strumentazione consiste in uno spettrometro UV-Vis, denominato TropoGAS (*Tropospheric Gas Absorption Spectrometer*, corredato con un telescopio ricevitore montato su una piccola piattaforma con movimenti alt-azimutale e collegato allo spettrometro via fibra ottica.



# Impiego della DOAS nel calcolo dei profili di gas nel basso strato



Andamento diurno del profilo di NO<sub>2</sub> e di O<sub>3</sub> per il 29-10-2006, ricavate da misure effettuate presso la Tenuta Presidenziale di Castelporziano.

Il metodo di retrieval proposto permette di ricavare la struttura verticale della concentrazione di gas inquinanti (come ad esempio: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>) all'interno dei primi 2 chilometri di atmosfera (detto anche Strato di Rimescolamento o PBL - Planetary Boundary Layer). Se poi il sistema utilizzato per le misure è installato su un mezzo mobile, la rilevazione della la struttura verticale dei gas in esame può essere effettuata su vaste aree: urbane, industriali ed anche portuali.

Il modello di retrieval, basato sull'Algebraic Reconstruction Technique (ART), è stato testato in diverse campagne d'indagine in Italia, come quella recente condotta presso la Tenuta Presidenziale di Castelporziano, vicino a Roma. I risultati (un andamento diurno per i profili simultanei di NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> relativo al giorno 29 ottobre 2006 è riportato in fig. 5) hanno mostrato una buona sensibilità dell'algorithm di retrieval a distinguere strutture verticali delle specie gassose misurabili con una risoluzione funzione della geometria di misura, ma in media dell'ordine di 100-200 m: valore del tutto adeguato agli scopi prefissati nello studio in oggetto.



# Ubicazione dello Spettrometro TropoGAS nella banchina del porto di Venezia

Lo spettrometro TropoGAS è stato installato nell'angolo della banchina (punto giallo in foto).

Caratteristiche dello spettrometro: ottica d'ingresso a "multi-input", una collegata via fibra ad un piccolo telescopio montato su una piattaforma con movimenti alt-azimutali, intervallo spettrale esaminato: 290- 700 nm a step di circa 50 nm, ris. spet.  $\sim 0.5$  nm, dotato di camera CCD ad area 254x1024 pixel.

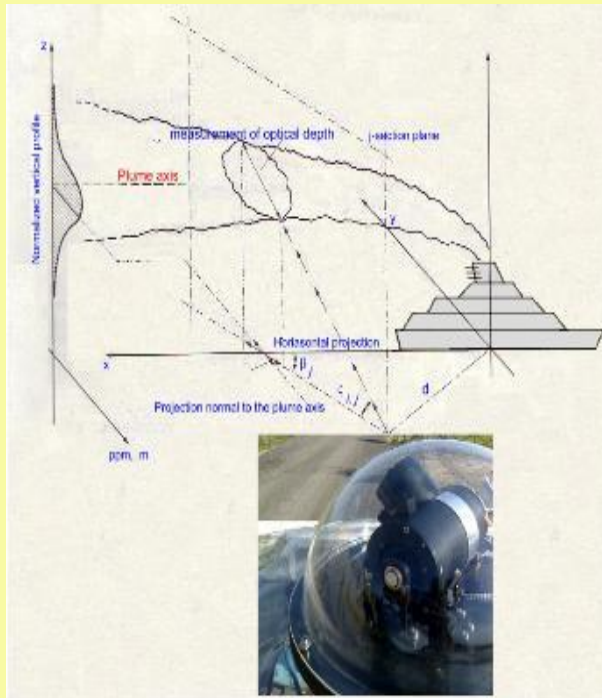
Lo spettrometro esegue scansioni nell'area sovrastante al canale della Giudecca, orientate in direzione 30° Sud ed esegue misure negli angoli zenitali 20°, 30°, 40°, 45°, 50°, 55°, 60°, 65°, 70°, 75°, 80°, 84°, 85°, 86°, 87°, 88°, 89° e 90°, esaminando 2 intervalli spettrali: 300-360 nm, e 420-460 nm.



# Tecnica per ricavare il flusso emissivo delle navi che transitano nel canale

Vengono eseguite scansioni di luce solare diffusa che forniscono lo spessore ottico dell'*n*-esimo gas che viene misurato

Si utilizzano parametri meteo utili es. direzione e velocità vento (e navi); e altre informazioni: distanza, lunghezza, altezza delle navi



Dagli spessori ottici e i parametri meteo si ottengono le misure di Flow rate espresse in g/s



$F_j$  è il flow rate del gas in esame attraverso la *j*-esima sezione verticale,

$\Delta z_i$  è l'incremento verticale fra la *i*-esima e la (*i*-1)-esima misura,

$(CL)_{i,j}$  è il valore dell'*i*-esimo spessore ottico del gas in esame sul *j*-esimo piano,

$U_{i,j}$  è la velocità media del vento nella *j*-esima sezione verticale

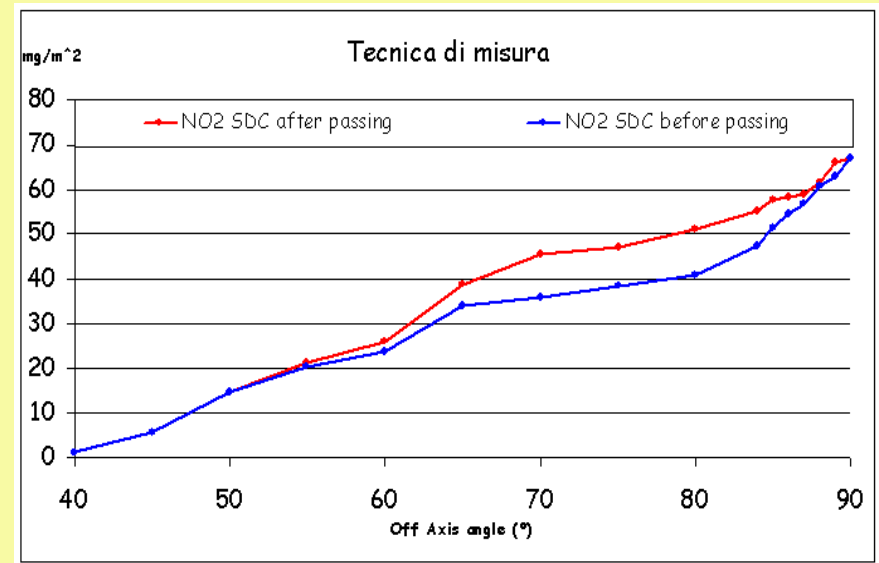
# Misura dell'emissione di ogni singola Nave

Gli spessori ottici dell'*n*-esimo gas vengono raggruppati secondo l'angolo zenitale di misura

L'altezza  $\Delta z_i$  viene ricavata attraverso la posizione dell'angolo zenitale di misura e la distanza a cui si trova la nave

Viene calcolato il **Flow rate** secondo la formula, in corrispondenza del passaggio della nave

Dalla **differenza** si ottiene il flow rate del *i*-esimo angolo di misura che sommato su tutti gli angoli fornisce il totale dell'emissione della nave al secondo



I flow rate ottenuti vengono quindi correlati con il passaggio delle navi  
Viene così attribuito un valore di emissione per ogni tipo di imbarcazione

# Calcolo del carico emissivo totale giornaliero delle navi che transitano nel canale della Giudecca

Dalle stime effettuate si è ricostruito l'impatto totale delle grandi navi;

Calcolando la velocità della nave, assumendo che questa sia costante per tutto il transito all'interno della Giudecca( circa 2m/s), misurando la lunghezza del tragitto percorso (stimato di circa 8Km), si è stimata la durata dell'emissione della nave nell'area di interesse.

$$T = 4000 \text{ secondi}$$

Con il prodotto di questo fattore per la portata di ogni nave che è transitata quel giorno si può stabilire il carico totale giornaliero del gas in esame

Mediando questo prodotto su diversi giorni si ha l'impatto medio giornaliero che moltiplicato per i giorni in un anno fornisce l'impatto annuo. In questo modo abbiamo ottenuto i seguenti valori di  $\text{NO}_2$  e  $\text{SO}_2$

	$\text{SO}_2$ (Kg)	$\text{NO}_2$ (Kg)
$(Q.m.giorn.)_{mis}$	205	284

# Conclusioni

- Dalle misure effettuate è emerso che l'impatto delle grandi navi che attraversano il canale della Giudecca è di circa 1/4 del totale per le emissioni di  $SO_2$  e di circa 1/3 per quelle di  $NO_2$

Tali valori sono riducibili e controllabili; le moderne tecnologie suggeriscono diversi modi per diminuire le emissioni

---

Per l' $SO_2$ :

Alcune grandi navi utilizzano carburanti BTZ (basso tenore di Zolfo) non ancora obbligatorio, si è infatti registrato per queste valori molto bassi (e.g. 1-2 g/s), contro valori decisamente superiori per navi anche di tonnellaggio inferiore

Per l' $NO_2$ :

Come già detto questo gas non viene direttamente emesso dalle navi ma deriva dal monossido dopo una rapida trasformazione chimica. Tale gas risulta un ottimo indicatore della qualità della combustione all'interno del motore. Gli impianti più moderni utilizzano motori più efficienti anche da questo punto di vista,

# Futuri impieghi delle misure di flusso di grandi sorgenti emissive gassose con tecniche remote

- Il metodo della misura del *flow rate* lungo un piano verticale nell'area di maggiore traffico portuale ha fornito risultati estremamente interessanti
- La stessa misura è in grado di produrre tre diverse informazioni:
  1. flow rate emesso da ogni singola nave (di tonnellaggio medio o grande);
  2. impatto giornaliero totale del traffico navale nell'area in esame;
  3. Si possono inoltre fornire simultaneamente misure aggiuntive, come ad esempio il valor medio della concentrazione lungo un percorso orizzontale, riferito all'area in esame.
- Inoltre, grazie ai miglioramenti sperimentali in corso (impiego dello spettrometro d'immagine), si ritiene di poter proporre tale metodo per misure "permanenti" nei punti nevralgici o anche per grandi aree disponendo la strumentazione su mezzi mobili, navi o aerei.