

RELAZIONE TECNICA

PROGETTO PER L'APPLICAZIONE DI SISTEMI FILTRANTI system(life) PRESSO LA METROPOLITANA ATM DI MILANO

*system(life) S.r.l., Via Mario Visentin 14/A
35012 Camposampiero (PD) Italy*

HANNO PARTECIPATO AL PROGETTO

PER LA PIANIFICAZIONE DELLA SPERIMENTAZIONE, RILIEVI AMBIENTALI E VERIFICA STRUMENTALE E MISURAZIONE DELLE CONCENTRAZIONI DI POLVERI, NOX E ALTRI ELEMENTI GASSOSI

Dipartimento Scienze Chimiche Università di Trieste gruppo di ricerca chimica ambientale

Barbieri Pierluigi
Cozzutto Sergio
Cozzi Federico
Kaspar Jan
Giorgini Luigi

PER IL SUPPORTO OPERATIVO E STRUMENTALE ALLE MISURE AMBIENTALI
Lenviros SRL Spin off dell'università di Bari Dipartimento di Chimica

Coordinatore Prof. De Gennaro Gianluigi
Dott. Barbieri Gianpiero

PER LA DEFINIZIONE DELLE METODOLOGIE DI RILEVAZIONE FINALIZZATE ALLA
MODELLAZIONE MATEMATICA

Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale Studi fluidodinamici DICA

Prof. Ing. Vincenzo Armenio
Dott. Ing. Federico Roman
Dott. Ing. Goran Stipcich

PER I RILIEVI METRICI E RESTITUZIONE TRIDIMENSIONALE DELLA STAZIONE LIMA
Studio di architettura Milano Via Ventura 15

Arch. Lai Maurizio
Arch. Rinaldi Vincenzo
Arch. Caroli Michele

PER IL COORDINAMENTO DELLE ATTIVITÀ SCIENTIFICHE
Direzione comunicazione scientifica e tecnica systemlife

Arch. Basso Paola
Ing. Faggin Erik
Ing. Faggin Ermanno
Geom. Faggin Manuel
Dott.ssa Drigo Laura

PER LA MOVIMENTAZIONE MACCHINE E INSTALLAZIONE
Settore manutenzione systemlife

Perito Luca Toniolo
Perito Rossini Roberto
Sig. Trofin Cornel

RELAZIONE TECNICA PROGETTO PER L'APPLICAZIONE DI SISTEMI FILTRANTI system(life) PRESSO LA METROPOLITANA ATM DI MILANO.

Introduzione

Le Stazioni Filtranti systemlife sono state progettate per aspirare volumi non trascurabili di aria inquinata da polveri aerodisperse e gas nocivi, effettuare una filtrazione multistadio ed un trattamento degli effluenti gassosi, e restituire all'ambiente aria purificata. I volumi d'aria trattati possono essere diversi a seconda del modello considerato (attualmente 7.000 m³/h, 10.000 m³/h e 15.000 m³/h).

L'azienda ATM (azienda trasporti e della metropolitana), in quanto parte di un progetto europeo per monitorare e ridurre le concentrazioni di polveri presenti all'interno di tutte le stazioni metropolitane in Italia come all'estero, ha manifestato un suo interesse ad approfondire l'applicazione del sistema filtrante system(life) e ad adottare la tecnologia proposta previo verifiche in prossimità o in corrispondenza delle banchine di attesa.

Metro, allarme smog. «Milano peggio di Parigi»

Ricerca choc: dentro i vagoni polveri fuorilegge. Atm: via al piano anti-inquinamento

L'allergologo Invernizzi: «Rischi per bambini, cardiopatici e pazienti con malattie respiratorie». Intergogione del Pd

Un dato ogni due minuti. I valori di Pm10 e Pm2.5, polveri sottili e scottissime. Lo smog in tempo reale. Outdoor, fuori dalle stazioni. Indoor, sulle banchine. E nei coraggiosi, le carrozze della metropolitana. Milano a confronto con Roma, Parigi, Barcellona, Stoccolma e San Francisco. Risultato: «Solo a Milano si respira peggio sui treni che sulle banchine». Cioè: il viaggio, sulle tre linee, è anche peggio dell'attesa. Un caso unico. Anomalo. «Certo, potrebbe anche essere una coincidenza, è un dato che va avvalorato con osservazioni di lungo periodo», precisano i ricercatori. Ma l'indagine resta: «In tutte le piattaforme e nei convogli si registrano concentrazioni elevatissime di particolato fine, superiori ai valori in superficie», dice Giovanni Invernizzi, allergologo e responsabile del laboratorio di ricerca ambientale della Società di medicina generale (Simg). Anche 100 microgrammi al metro cubo di Pm2.5 e 500 di Pm10. La soglia d'allarme è fissata a 25 e 50. Sopra fa male. Siamo dieci volte sopra. I dati sono contenuti nelle piattaforme e nelle carrozze delle metropolitane di sei città principali. È stata realizzata da Simg in collaborazione con l'Università di Bordeaux e l'Inserm (il Cern francese), e sarà presentata al congresso Ise-Isea di Pasadena, California, a ottobre. Le concentrazioni sono state misurate con centraline portatili calibrate. In ogni metropoli, mezzo di analisi in strada, altrettanto nel mezzanino e nelle carrozze. Altre, le piattaforme sono più inquinate dei convogli. A Milano no. Nelle carrozze di Roma va al peggio (348), ma si respira comunque meglio che sulle banchine (389). Dal Metro de Paris a San Francisco i livelli sono ovunque inferiori.

È solo un estratto della ricerca, che dev'essere ancora com-

pletata. Ma basta per tirare le prime conclusioni. Anzitutto lo smog «ancora più alto» nelle stazioni che in superficie. Poi i «rilevanti miglioramenti della qualità dell'aria» nei treni di Barcellona, Stoccolma e San Francisco. E, infine, «l'esposizione di migliaia di utenti» ogni giorno «agli alti livelli di polveri» nel metro di «importanti città europee». Milano in

La scheda

I livelli di polveri nelle stazioni

Dati della Società di medicina

La ricerca dei medici

Lo studio «Qualità dell'aria nelle piattaforme e nelle carrozze delle metropolitane di sei città principali» è stato realizzato dalla Società italiana di medicina generale in collaborazione con l'epidemiologo Anne Sacco dell'Università di Bordeaux 2 e il dottor Invernizzi. Sarà presentato al congresso Ise-Isea di Pasadena, in California, il 12 ottobre.

Le rilevazioni in metro

I ricercatori hanno misurato i livelli di Pm2.5 e Pm10 in strada, sulla piattaforma di attesa dei treni e nei convogli del metro di Barcellona, Milano, Roma, Parigi, Stoccolma e San Francisco.

I livelli del Pm10

Per ogni città vengono indicati i microgrammi di polveri sottili per metro cubo d'aria misurati fuori dalla stazione, sulla banchina e sui treni: Barcellona: 300, 490 e 229; Milano: 163, 257 e 328; Parigi: 42, 164 e 153; Stoccolma: 27, 151 e 99; San Francisco: 64, 136 e 50.

Il viaggio in città

Il 25 settembre 2006 il Corriere aveva misurato la qualità dell'aria minuto per minuto con una centralina portatile (a lato, i risultati del Pm10). Tra Loreto e Conciliazione le polveri toccavano i 500 microgrammi (dieci volte oltre la soglia)



testa. Dice Invernizzi che «la preoccupazione è anche per l'esposizione a breve termine». Basta poche ore d'immersione, da un capolinea all'altro, «perché i cardiopatici abbiano reazioni negative e ripercussioni sui cardiopatici e pazienti con malattie respiratorie». Per non dire dei bambini. E che l'emergenza sia in carrozza lo dimostrano le analisi sui tratti scoperti del-

Lo studio

«In metro cinquecento microgrammi al metro cubo di Pm10. Dieci volte oltre la soglia d'allarme»

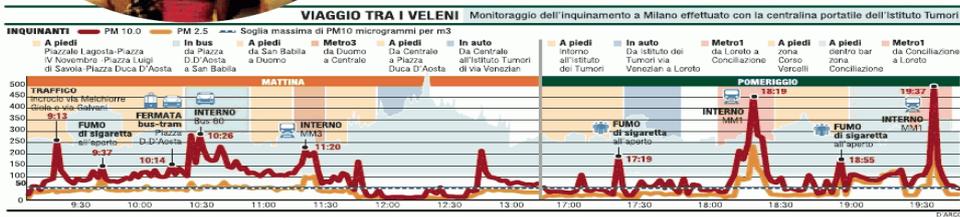
la linea 2, da Cimiano a Gessate: «I livelli di Pm2.5 e Pm10 si equilibrano con l'esterno». Lo smog scende le scale. S'infila nei convogli. S'incolla ai tunnel. Si accumula nelle stazioni. Lo hanno dimostrato un viaggio del Corriere e, di recente, un servizio delle Iene. Il Pd ha presentato un'interrogazione alla giunta regionale per capire i motivi di questa situazio-

Il piano Atm

Nelle stazioni 9 centraline per misurare le polveri sottili e aria condizionata su tutti i treni entro il 2009

ne disastrosa» e invocare «subito l'installazione di filtri di depurazione dell'aria». La risposta di Atm è: «Facciamo misurazioni periodiche e i convogli sono puliti regolarmente». Detto questo, prepara un piano anti-inquinamento. Nove centraline di controllo delle polveri in altrettante stazioni e dati pubblicati sul sito Web. E ancora: sistemi di aria condizionata su tutti i treni entro il 2009 (il progetto respingono) e nuove ventagli sulle banchine. Che ne dice Invernizzi? «Iniziativa meritorie. Certo, sarebbe importante affidare il monitoraggio a un ente esterno certificatore». Giusto per fuggare ogni dubbio.

Armando Stella



Il sindaco della Grande Mela

E Bloomberg chiede «aiuto» a Palazzo Marino sull'Ecopass

Gliel'ha bocciato. L'assemblea di Stato ha respinto il simil-Ecopass promosso dal Consiglio municipale della sua New York. Allora, già che ieri era a Milano, il sindaco Michael Bloomberg «ha chiesto degli approfondimenti» a Letizia Moratti. Che spiega: «Ha avuto difficoltà a fare passare l'Ecopass, gli ho fornito gli approfondimenti chiesti ed è molto interessato». Ne ripartiranno a fine giugno: «Bloomberg mi ha invitato ad un convegno, un approfondimento sul tema dei cambiamenti climatici — chiosa la Moratti —. Si parlerà di come le città possono affrontare i temi dell'ambiente».



Michael Bloomberg imprenditore e politico, 66 anni, è l'attuale sindaco di New York

mondo». Poi sopraggiungeva la presa di posizione proprio del sindaco della Grande Mela: «Siamo pronti a copiare le idee migliori come quelle di Milano». Era febbraio, Letizia Moratti portava il modello Ecopass all'Onu e puntava all'Expo. Per Bloomberg è stato più complicato del previsto. Le sue «difficoltà» con l'Ecopass si sono materializzate a inizio aprile, quando l'assemblea di Stato ha bocciato il pedaggio per scoraggiare l'ingresso degli automobilisti a Manhattan e limitare le emissioni di gas di scarico. Il progetto: 8 dollari (5 euro) per raggiungere Manhattan in auto e 21 (13 euro) in camion. Un «no» anche per questioni logistiche: la riduzione del traffico verso Manhattan aumenterebbe quello appena fuori, fino

all'assurdo di dover introdurre un ticket nei quartieri confinanti. Intanto, l'Ecopass milanese tocca un'altra tappa. Mercoledì si insedia l'Osservatorio, l'organismo scientifico super partes incaricato di monitorare i risultati della sperimentazione. Il ticket antismog è «una scelta irreversibile», conclude il consigliere Verde Enrico Fedriglini: «Purtroppo Milano è un po' sconosciuta, che l'attenzione verso il provvedimento va ben oltre i confini nazionali». New York, certo. Londra farà una consultazione popolare per decidere l'applicazione della low emission zone su tutta l'area metropolitana. E anche le università di Los Angeles e Amsterdam studiano varchi e bastioni.

A. St.

Allo scopo nel mese di giugno è stata indicata dall'ATM, come location idonea, la stazione metro di Piazzale Loreto ed in particolare l'area interpiano e di collegamento tra le diverse linee che attraversano la stazione stessa e comunque in un'area posta allo stesso livello delle banchine della linea rossa, la prima linea ad essere realizzata.

Il giorno 31.7.08 è stata dunque posizionato un Sistema filtrante mod. Aria (come da foto allegate) particolarmente indicato per depurare l'aria negli ambienti semiconfinati come le stazioni: metropolitana, ferrovie, depositi autobus; degli stabilimenti produttivi, parcheggi sotterranei che vedono spesso la compresenza di persone e mezzi di trasporto in movimento e dunque in ambienti con costante produzione di polveri sottili dovute principalmente alla combustione di carburanti o comunque produzione di metalli pesanti dovuta all'utilizzo di freni, strisciamento e azioni abrasive su metalli o materiali in genere. (ved All. 1 scheda tecnica)



Foto 1. Sistema filtrante mod Aria nella Stazione Loreto



Foto 2. Sistema filtrante mod Aria nella Stazione Loreto

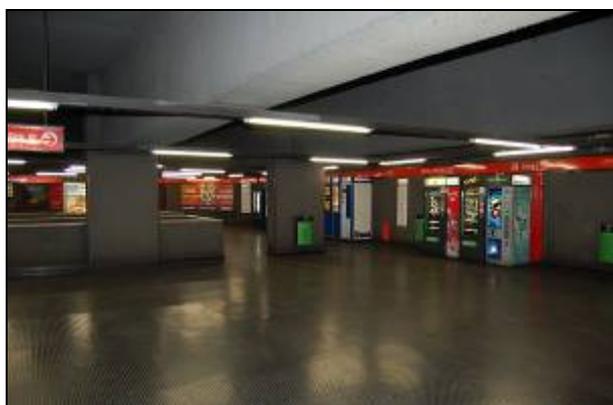


Foto 3 Stazione Loreto Milano

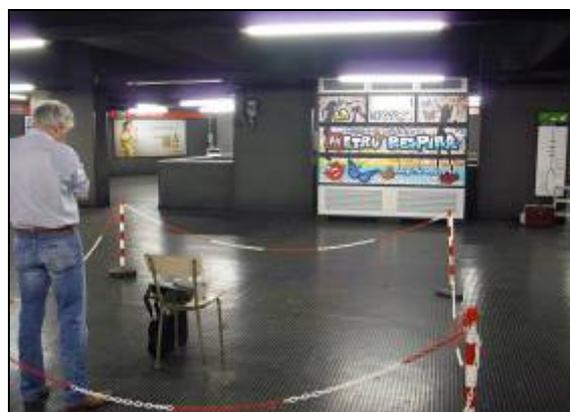


Foto 4. Primi rilievi strumentali a Loreto

L'apparato di filtrazione munito di idonee bocchette di aspirazione e dotato di due sistemi filtranti capaci di filtrare il 98,7% delle polveri sottili è stato posizionato come primo strumento di verifica della situazione all'interno degli ambienti metropolitani tenendo conto delle sue specifiche caratteristiche ma anche delle possibili azioni di disturbo generate dalle turbolenze che l'arrivo e la partenza dei treni generano in prossimità delle banchine e delle aree adiacenti.

Caratteristiche di filtrazione mod. Aria

- **Efficienza di filtrazione delle polveri sottili 0,1 µm**
- **Portata d'aria mc/h 7.200**
- **Velocità di fuoriuscita dell'aria depurata regolabile da 1 a 5mt/secondo**
- **Totale assenza di rumore**
- **Sistema di filtrazione caratterizzato filtri elettrostatici e ionizzazione**
- **Potenza installata 4Kw**
- **Efficacia della filtrazione 98,7%**
- **Pulizia filtri automatica.**

1° Campagna di verifica, misura e taratura strumenti

Con lo scopo di comprendere meglio gli effetti ambientali del Sistema filtrante proposto è stata pianificata una prima campagna di rilievi e monitoraggi più tesa a definire procedure e tarature del sistema piuttosto che ad attestare la soluzione proposta che ha avuto inizio il giorno 02.09.08.

In tal senso sono stati definiti i punti (ved fig. 1 A-B-C) di rilievo dove effettuare delle misure spot con contatori ottici (Grimm) per verificare l'andamento delle polveri all'interno dello spazio in questione secondo una procedura minima che ha previsto:

- Monitoraggio con spettrometro a laser scattering GRIMM Dust Monitors serie 1.108 in modalità di acquisizione "environmental" a sistema filtrante spento e successiva accensione della stazione filtrante
- Monitoraggio dopo 24 ore nella stessa fascia oraria
- Monitoraggio dopo 72 ore nella stessa fascia

Il controllo della velocità delle masse d'aria a stazione filtrante attiva e non è stato effettuato con anemometro LT Lutron YK80AP.

Le concentrazioni sono espresse in mcg/m³ e rappresentano le medie nell'arco di tempo considerato.

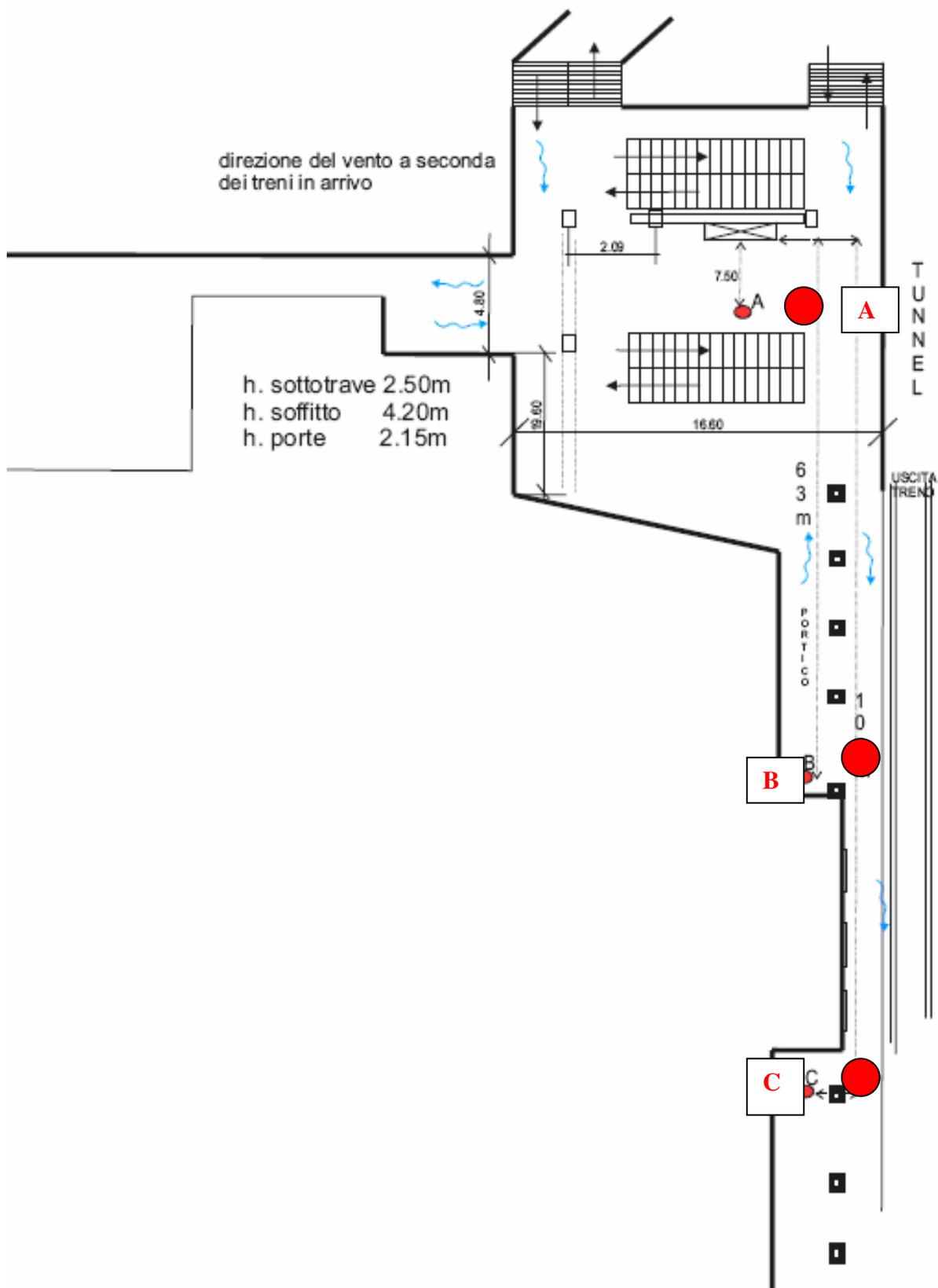


Immagine 1 . Pianta della Stazione di Loreto con indicazione dei punti di monitoraggio

Posizione	Data	Tempo di misura	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁	Stez. Filtranda
A	2/9/08	15 min	101	52	27	OFF
	3/9/08	"	92	44	29	ON
	5/9/08	"	76	38	23	ON
B	2/9/08	15 min	180	89	38	OFF
	3/9/08	"	103	45	30	ON
	5/9/08	"	110	46	30	ON
C	2/9/08	15 min	128	56	28	OFF
	3/9/08	"	115	49	31	ON
	5/9/08	"	106	49	36	ON

Tav. 1. Dati risultati dai primi rilievi effettuati alla Stazione Loreto

2° Campagna di misura

L'esame conoscitivo dell'ambiente metropolitano ha previsto una prima campagna di misurazioni per valutare le concentrazioni in ambiente esterno alla Stazione Metropolitana in esame, gli andamenti grafici e le medie delle concentrazioni dell' arco temporaneo considerato espresse in mcg/m³ sono sotto riportati: Il monitoraggio realizzato mette in evidenza basse concentrazioni di particolato atmosferico e nei grafici sottostanti vengono riportate le concentrazioni nelle tre posizioni A - B - C riportate dettagliatamente nei sottostanti grafici.

Risultati del 2° monitoraggio del 17/09/2008

Nei grafici sottostanti sono riportati e dati risultanti dalla seconda campagna di monitoraggio realizzata non solo con strumenti di misurazione per il rilevamento delle polveri sottili, ma anche con idonei mezzi per rilevare turbolenze e temperature con il fine di delineare meglio le specifiche caratteristiche dell'ambiente metropolitano e poter formulare un ipotesi di progetto per la sistematica riduzione dell'inquinamento.

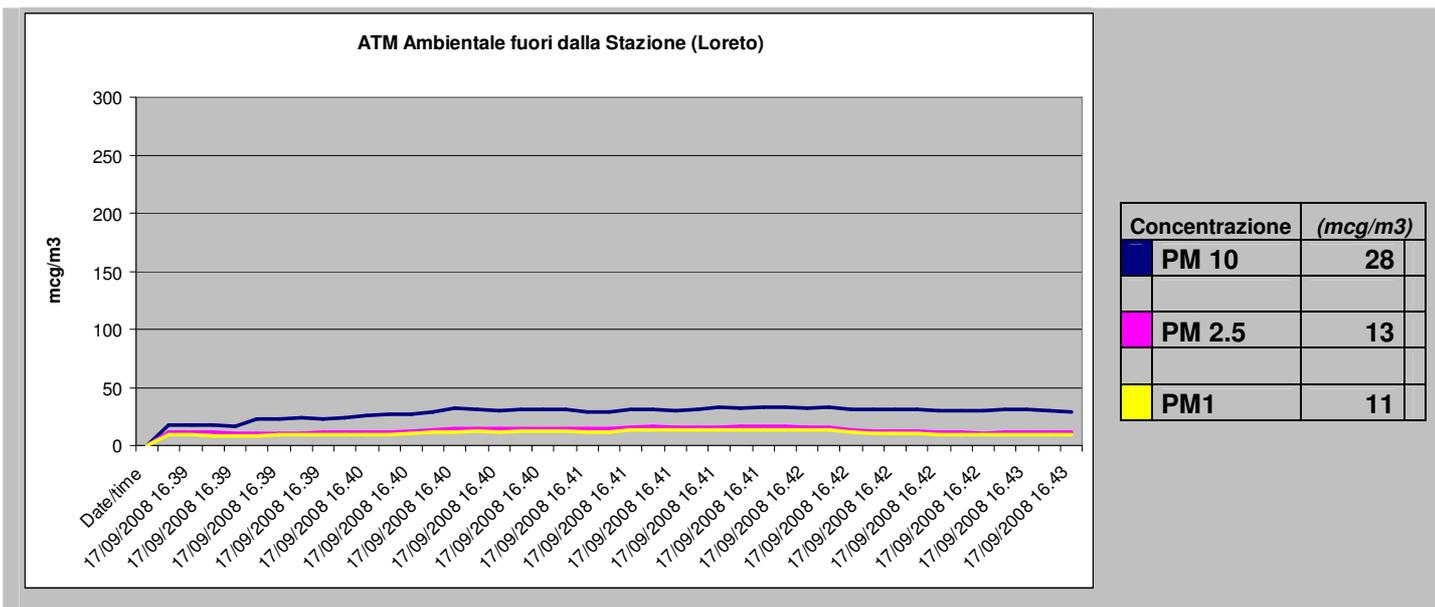


Grafico 1. Postazione esterna: all'ingrasso della metropolitana .

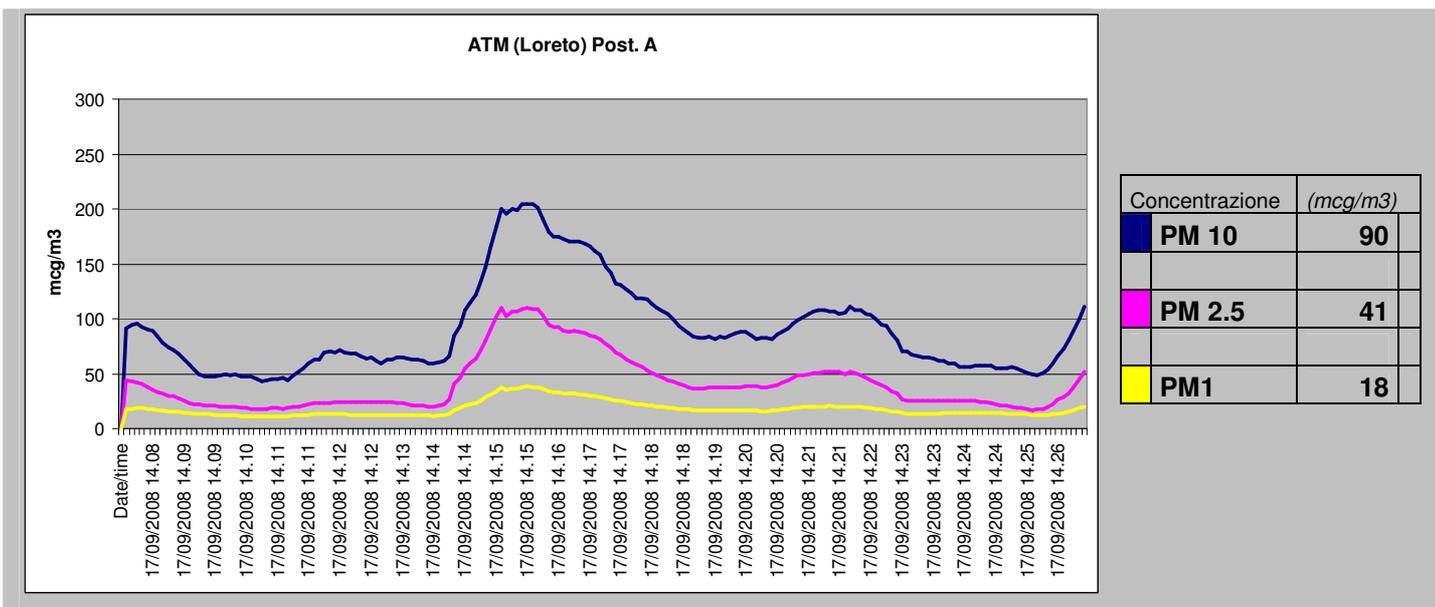
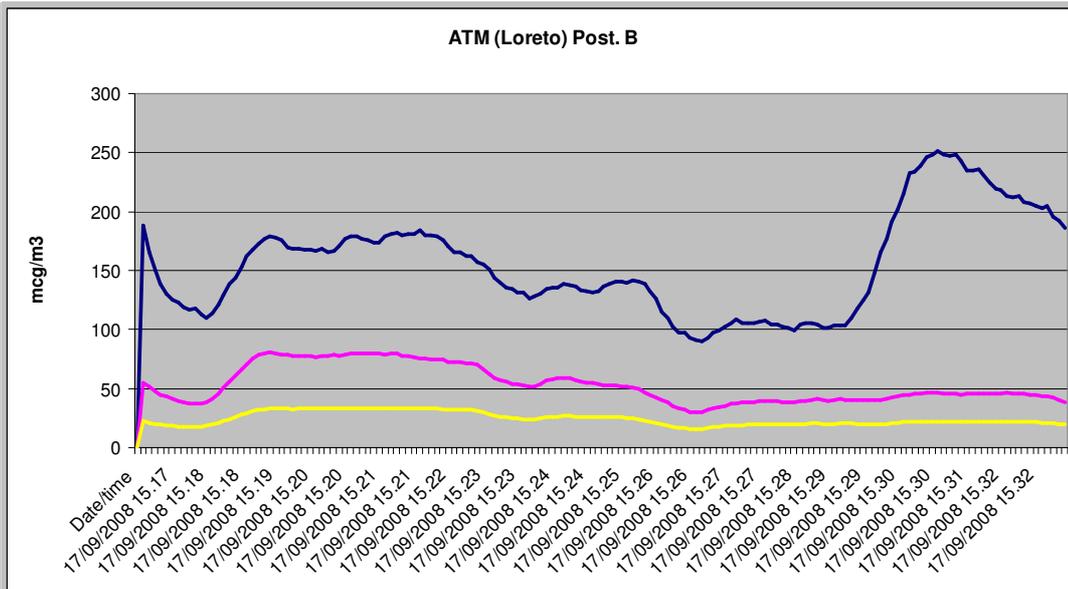
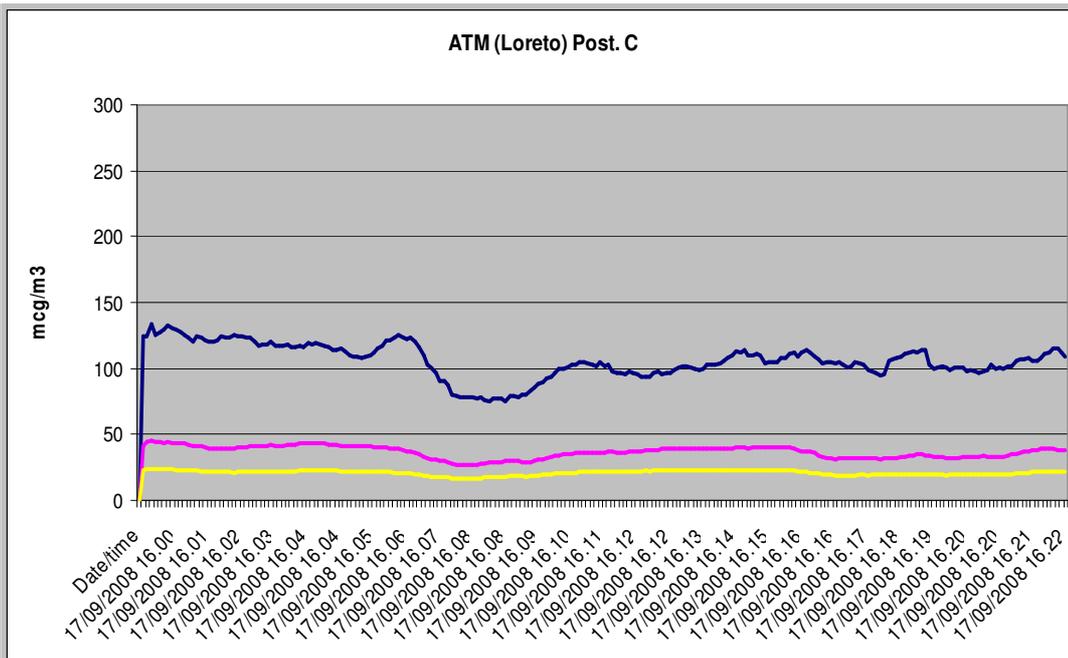


Grafico 2. Postazione A: Ambiente Mezzanino con stazione filtrante sperimentale installata



Concentrazione		(mcg/m3)
PM 10	155	
PM 2.5	53	
PM1	24	

Grafico 3. Postazione B: Ambiente Banchine attesa metro



Concentrazione		(mcg/m3)
PM 10	106	
PM 2.5	37	
PM1	21	

Grafico 4. Postazione C: Ambiente Banchine attesa metro

L'analisi comparata dei grafici, ha posto in evidenza un dato anomalo, ovvero l'elevata concentrazione di polveri classificate come PM10 rispetto a quelle più sottili PM 2,5 e PM 1 risultante dai grafici 2 -3 - 4. Il dato risulta tanto più anomalo se comparato con la situazione esterna in cui la quantità delle differenti concentrazioni di particolato è abbastanza riscontrabile in letteratura.

SCELTA DI UN “CASO STUDIO “

A seguito di lavori consistenti da effettuarsi nell'area scelta per il posizionamento della Stazione Filtrante in Stazione Loreto, che avrebbero richiesto lo spostamento del sistema di filtrazione, di comune accordo con i responsabili ATM è stato deciso di scegliere una posizione diversa per proseguire lo studio sul particolato atmosferico, e sono state valutate ed analizzate diverse stazioni tra le quali S. Babila, Lima e Porta Venezia.

Attraverso sopralluoghi congiunti con personale della systemlife e tecnici dell'ATM si è deciso di esaminare con attenzione la situazione presente nella stazione Lima eleggendola a caso studio .

In seguito vista la complessità dell'ambiente metropolitano e la determinazione ad individuare un Sistema Filtrante che potesse risolvere le problematiche in questione, la dirigenza della systemlife in accordo con il suo staff tecnico, ha affidato l'incarico all'Università di Trieste Dipartimento di Chimica per realizzare uno studio secondo procedure consolidate e normate all'interno della Stazione Lima che doveva essere propedeutico e finalizzato alla definizione di un Modello Numerico secondo principi Fluidodinamici per il quale è stato incaricato il Prof. Armenio Vincenzo dell'Università di Trieste Dipartimento di Ingegneria.

Riportiamo alcune foto scattate durante le numerose indagini eseguite nella stazione “caso studio”, le analisi fatte riguardano:

- Analisi planimetriche
- Analisi anemometriche
- Analisi termiche
- Analisi della polverosità



Foto. 5 Stazione Lima Milano



Foto. 6 Primi rilievi strumentali a Lima



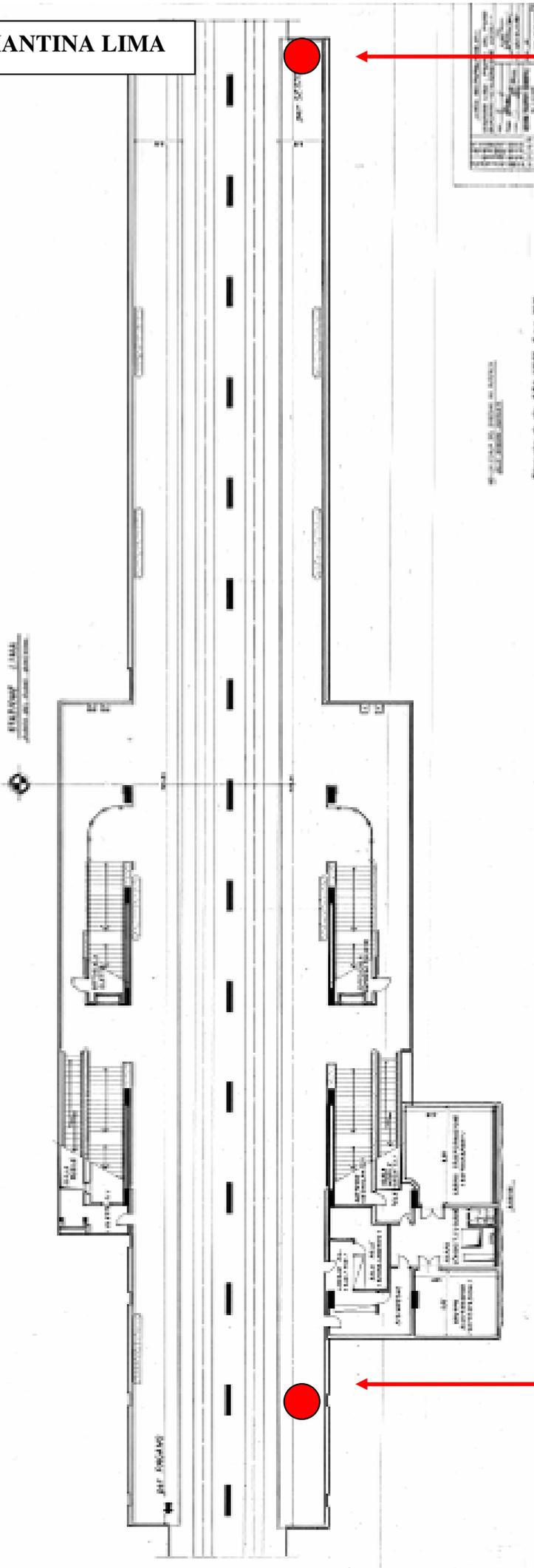
Foto. 7 Primi rilievi strumentali a Lima



Foto. 8. Primi rilievi strumentali a Lima

PIANTINA LIMA

POSTAZIONE 1
Grimm. Matr. 072



POSTAZIONE 2
Grimm. Matr. 070

POSTAZIONE 1

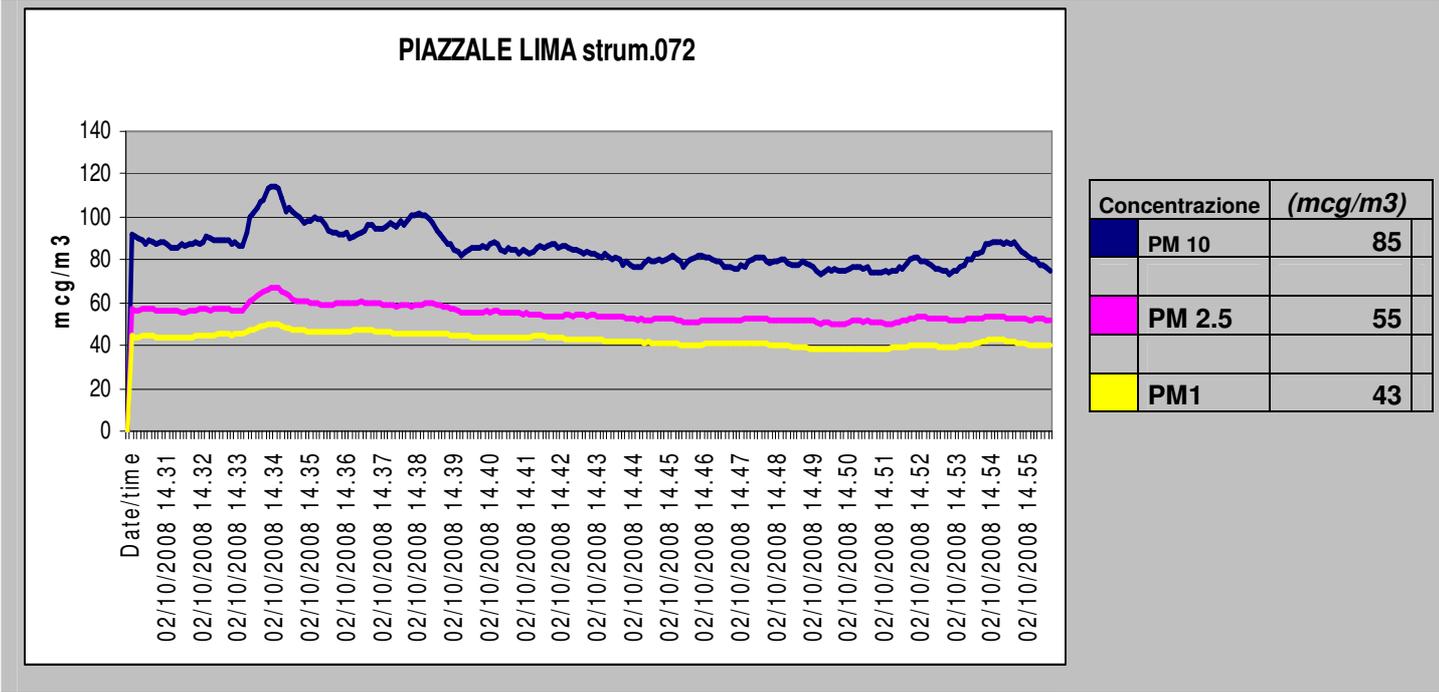


Grafico 5. Postazione 1: Ambiente Banchine attesa metro stazione Lima

POSTAZIONE 2

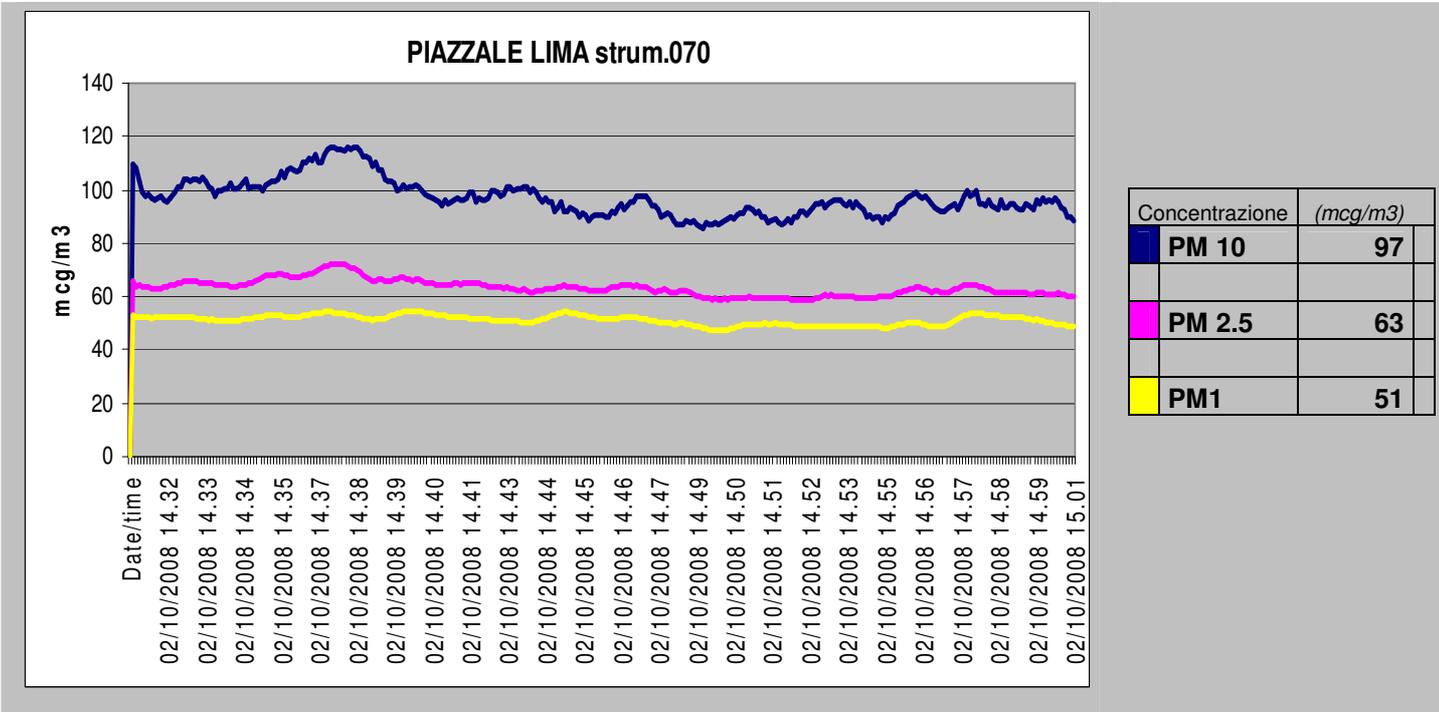


Grafico 6. Postazione 2: Ambiente Banchine attesa metro stazione Lima

Osservazioni sulle analisi dei dati

I vari monitoraggi eseguiti presso la Stazione Lima hanno messo in evidenza le già note criticità dell'ambiente metropolitano Milanese dovute ad un non adeguato sistema di aerazione e alla mancanza di sistemi per la depurazione dell'aria.

Tutti i dati raccolti si attestano su valori superiori ai limiti fissati per legge (DM60/02), sottolineiamo in ogni caso che le misure non sono state eseguite secondo la normativa in vigore EN 12341 che prevede il monitoraggio con strumentazione gravimetrica ed il risultato espresso in concentrazione media giornaliera. La strumentazione usata permette altresì di capire meglio le dinamiche degli inquinanti in quanto la lettura del particolato avviene ogni 6 secondi.

Si allega di seguito l'analisi dell'ambiente metropolitano effettuata dal Prof. Barbieri Pierluigi.

APPUNTI RILIEVO STAZIONE LIMA

La stazione può essere divisa in 2 sezioni:

1. Sezioni A Pagano
2. Sezioni B Sesto FS

I PUNTI identificati per il RILIEVO SONO n°8

Le situazioni da rilevare per ogni punto sono 4

1. Arrivo verso Pagano
2. Partenza verso Pagano
3. Arrivo verso Sesto Fs
4. Partenza verso Sesto FS

Al rilievo hanno partecipato n° 3 persone.

L'attività iniziata alle ore 11.30 con rilievo generale della situazione ambientale.

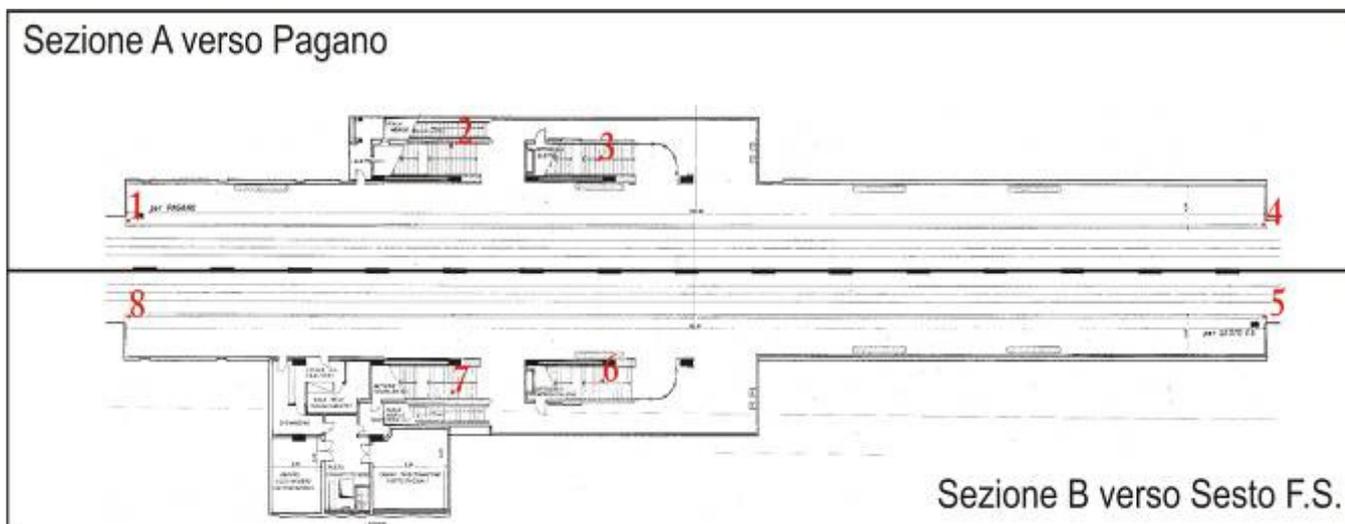
Sono stati utilizzati un anemometro Testo abbinato ad uno strumento multifunzione (PCE-EM882 series environmental meters) con un termometro più sensibile di quello presente sullo strumento TESTO.



Anemometro TESTO



Strumento multifunzione PCE EM882



La sequenza dei punti rilevati è stata la seguente: Punti 5- 6-7 Punto 8 – 4 – 3 – 2 - 1

I rilevamenti sono avvenuti come segue:

- ❖ Posizionamento e relativa misurazione delle distanze dai bordi delle aperture.
- ❖ Si è poi eseguito il rilievo vero e proprio:
 - una persona che munita di cronometro rileva i tempi dal conto alla rovescia presente nella stazione (il conto alla rovescia dipende dal momento di partenza dalla stazione del precedente ma la velocità della metro non è costante quindi il momento di arrivo non è preciso e può variare anche di 20 secondi, i rilevatori hanno cercato di essere più precisi possibili anche valutando il momento in cui il treno era visibile nella galleria)
 - una persona rileva i tempi da strumento
 - una persona annota le misurazioni
- ❖ Chi ha rilevato i tempi è stato attento anche al fatto che i treni nelle due direzioni non giungessero alla stazione contemporaneamente (vedi figura);

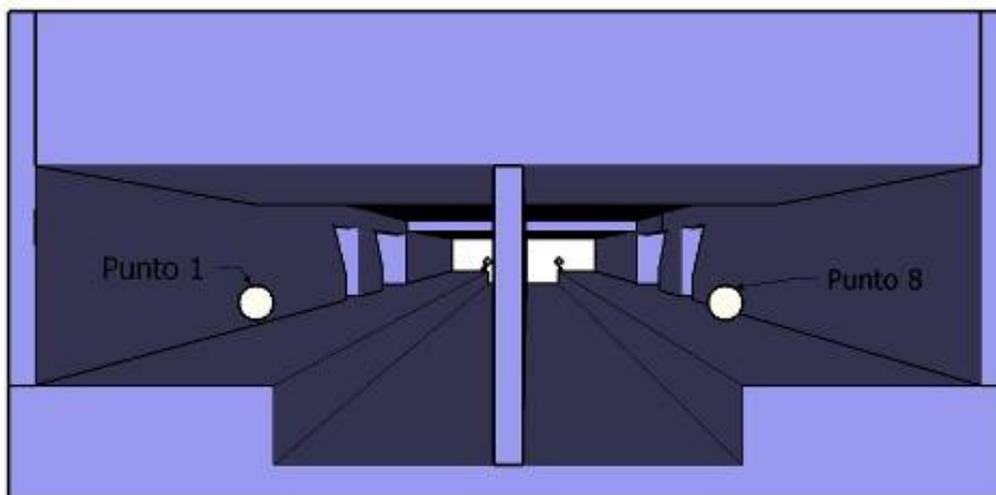


- ❖ Non si è potuto rilevare le misure durante la fermata del treno perché troppo variabili a seconda del numero di persone che salivano ed entravano variabili tra i 08 e i 45 sec;
- ❖ Il momento 0 corrisponde al momento in cui il treno si fermava in stazione;
- ❖ I dati positivi risultano quindi quelli di ripartenza del treno;
- ❖ La ripetizione delle misure è avvenuta di seguito senza spostare gli strumenti;
- ❖ Si è notato che lo strumento non rileva tra i 0 e i 0,40 m/s;
- ❖ La temperatura in banchina presa in diversi punti è costante in stato di quiete (nessun treno per almeno 5 min.) è di 17,4° a livello pavimento e la velocità dell'aria è 0;
- ❖ Nel piano di accesso alla banchina la temperatura rilevata era di 15,3;
- ❖ All'esterno la temperatura era di 15,9 alle ore 16.25.

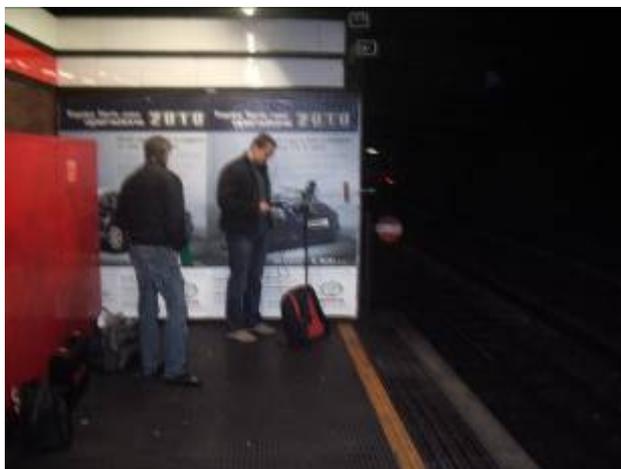
PUNTO 1

Dist. dalla parete **15cm**

Altezza pavimento della banchina **110 cm**



	PER PAGANO						PER SESTO			
	I V	I T	II V	II T	III V	III T	I V	I T	II V	II T
Arrivo - 60 SEC							+0,0	17,4		
Arrivo - 40 SEC	-0,8	16,2			-1,0	17,6	+1,1	17,4		
Arrivo - 20 SEC	-0,8	16,3			-1,0	17,5	+2,7	17,5		
Arrivo - 10 SEC	-1,3	16,3			-1,0	17,5	+2,1	17,5		
Arrivo - 0 SEC	-0,4	16,3	-0,7	17,7	-0,6	17,5	+0,6	17,5		
Arrivo + 10 SEC	-1,5	17,0	-3,1	18,0			+0,5	17,7	+1,1	17,8
Arrivo + 20 SEC	-2,7	17,2	-2,3	18,0			+0,0	17,7	+1,0	17,8
Arrivo + 40 SEC	-2,3	17,1	-2,2	17,9			+0,0	17,7	+0,0	17,8
Arrivo + 60 SEC	-0,7	16,8	-1,4	17,8					+1,4	17,8



PUNTO 2

Dist. dalla parete (verso i binari) **180 cm**

Altezza pavimento dal soffitto/griglia 20 cm (300cm dall'inizio apertura)

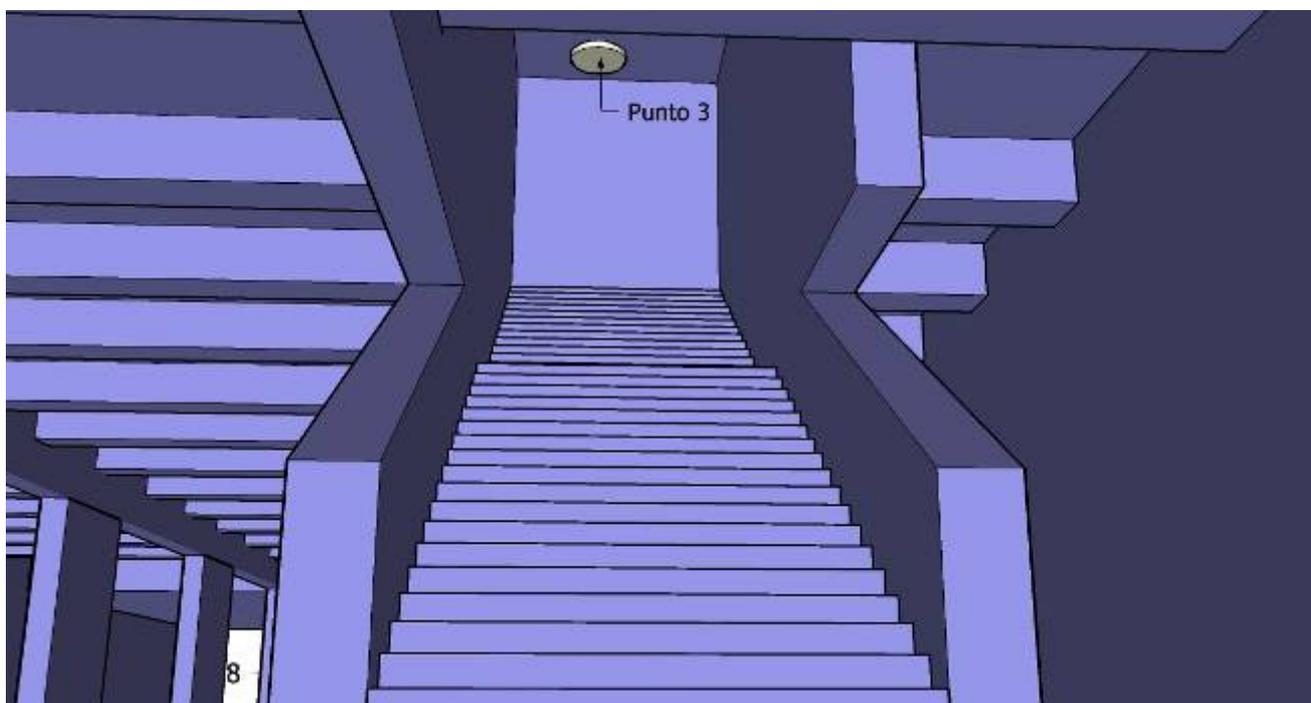


	PER PAGANO						PER SESTO			
	I V	I T	II V	II T	III V	III T	I V	I T	II V	II T
Arrivo - 60 SEC	+0,6	16,1					+0,7	16,1	+0,6	16,0
Arrivo - 40 SEC	+0,0	16,1					+0,4	16,0	+0,0	16,0
Arrivo - 20 SEC	+0,7	16,2					+1,4	16,1	+0,8	16,0
Arrivo - 10 SEC	+1,7	16,1					+0,5	16,0	+0,8	16,0
Arrivo - 0 SEC	+0,7	16,1			+0,6	16,1	+0,0	16,0	+0,0	16,0
Arrivo + 10 SEC	+0,4	16,0	+2,1	16,2	+1,8	16,2	+0,0	16,1	+0,0	16,0
Arrivo + 20 SEC	+1,2	16,1	+1,7	16,1	+1,5	16,1			+0,8	16,0
Arrivo + 40 SEC	+1,8	16,1	+1,9	16,1	+1,6	16,0			+1,0	16,0
Arrivo + 60 SEC	+1,4	16,0	+0,8	16,1						

PUNTO 3

Dist. dalla parete (verso i binari) **190 cm**

Dist. dal soffitto **140 cm**

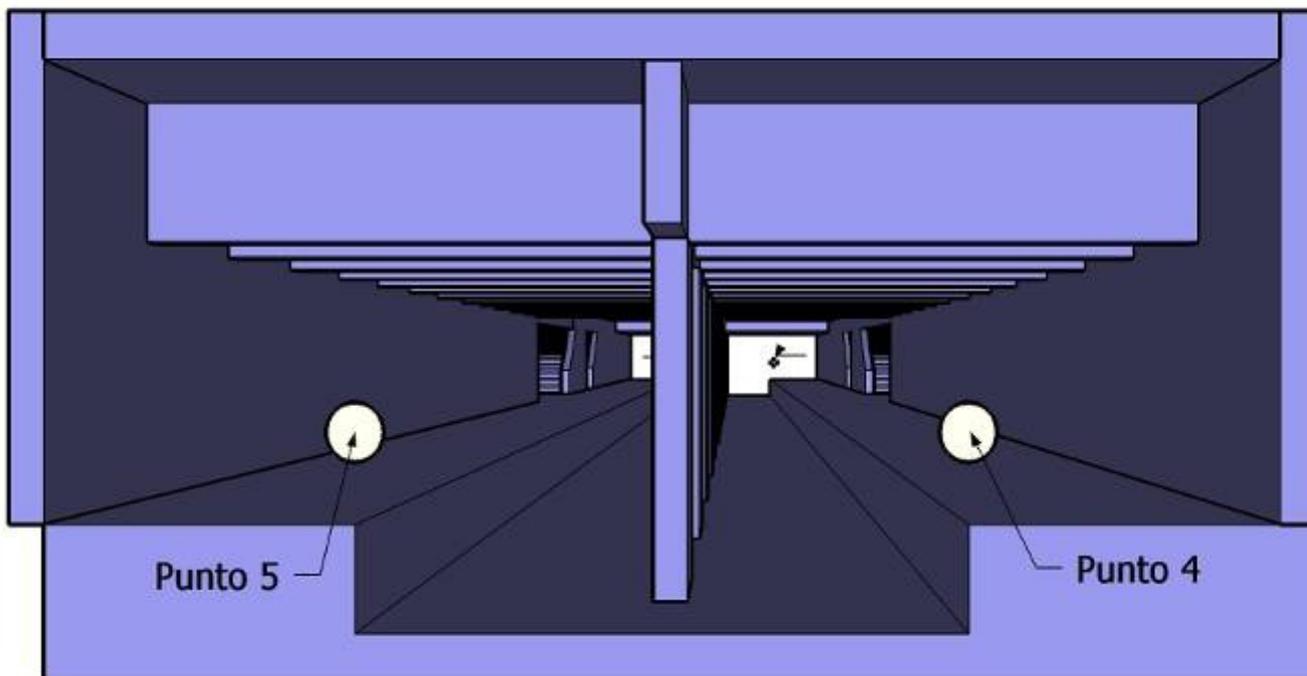


	PER PAGANO								PER SESTO			
	I V	I T	II V	II T	III V	III T	IV V	IV T	I V	I T	II V	II T
Arrivo - 60 SEC			+1,1	15,7					+1,1	15,9	+2,9	15,8
Arrivo - 40 SEC			+0,6	15,9			+3,3		+0,8	15,9	+1,6	15,8
Arrivo - 20 SEC							+1,0		+1,5	15,9	+1,0	15,8
Arrivo - 10 SEC							+0,0		+2,8	16,0	+1,0	15,9
Arrivo - 0 SEC	+0,4	16,3			+1,0		+1,1	0,4	+1,3	16,2	+0,5	15,8
Arrivo + 10 SEC	+1,6	16,2			+2,6	16,0	+2,3	1,6			+2,2	15,8
Arrivo + 20 SEC	+1,8	16,2			+1,7	16,0	+2,1	1,8			+2,1	15,7
Arrivo + 40 SEC	+2,2	16,2			+1,6	15,9	+2,5	2,2			+2,1	15,6
Arrivo + 60 SEC	+1,4	16,1					+1,9	1,4			+1,9	15,6

PUNTO 4

Dist. dalla parete **15 cm**

Altezza pavimento della banchina **115 cm**

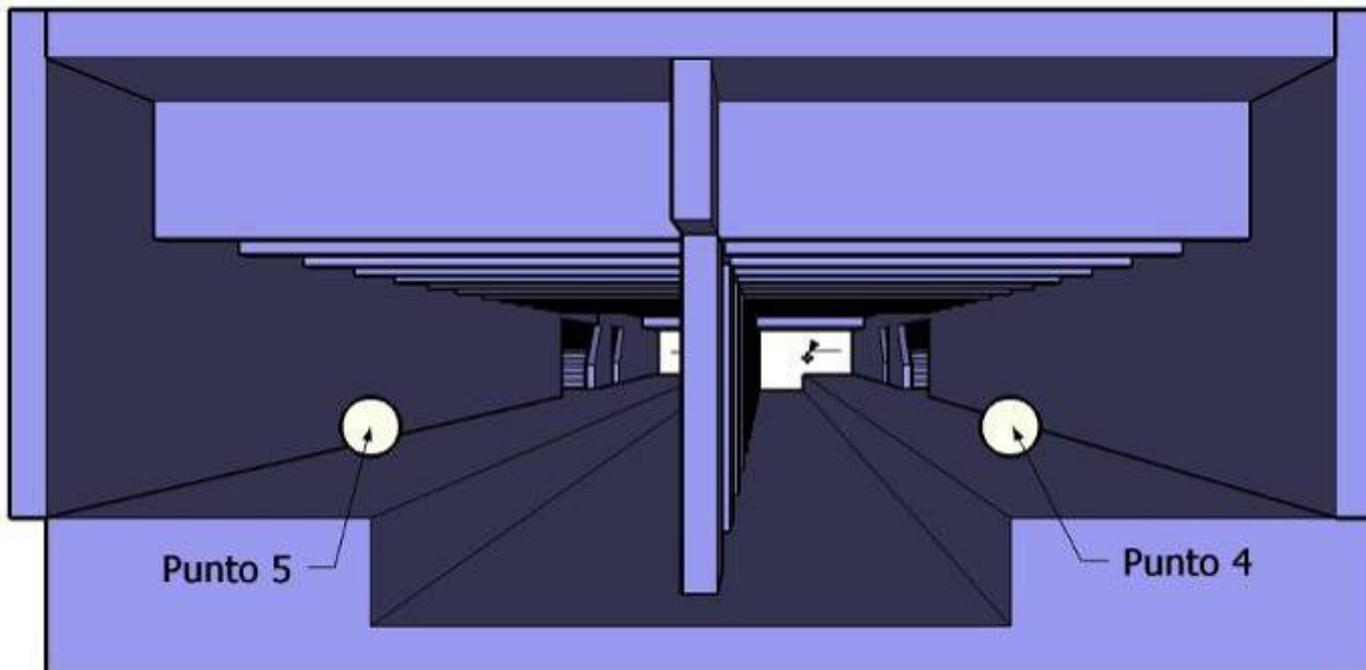


	PER PAGANO				PER SESTO			
	I V	I T	II V	II T	I V	I T	II V	II T
Arrivo - 60 SEC	+0,8	17,7					-0,7	0,6
Arrivo - 40 SEC	+0,4	17,7	+1,2	17,7			-1,2	18,6
Arrivo - 20 SEC	+1,8	17,7	+1,4	17,7			-1,5	18,5
Arrivo - 10 SEC	+2,7	17,7	+2,6	18,1			-0,9	18,3
Arrivo - 0 SEC	+1,0	18,0	+2,1	18,2	-0,5	18,2	-0,8	18,2
Arrivo + 10 SEC	+0,9	18,0	+0,9	18,5	-2,3	18,3	-2,0	18,3
Arrivo + 20 SEC	+0,5	18,0			-0,5	18,3	-1,5	18,3
Arrivo + 40 SEC	+0,4	18,0			-1,5	18,4	-1,4	18,4
Arrivo + 60 SEC	+0,7	17,8			-1,3	18,2	-1,0	18,1

PUNTO 5

Dist. dalla parete **15 cm**

Altezza pavimento della banchina **108 cm**

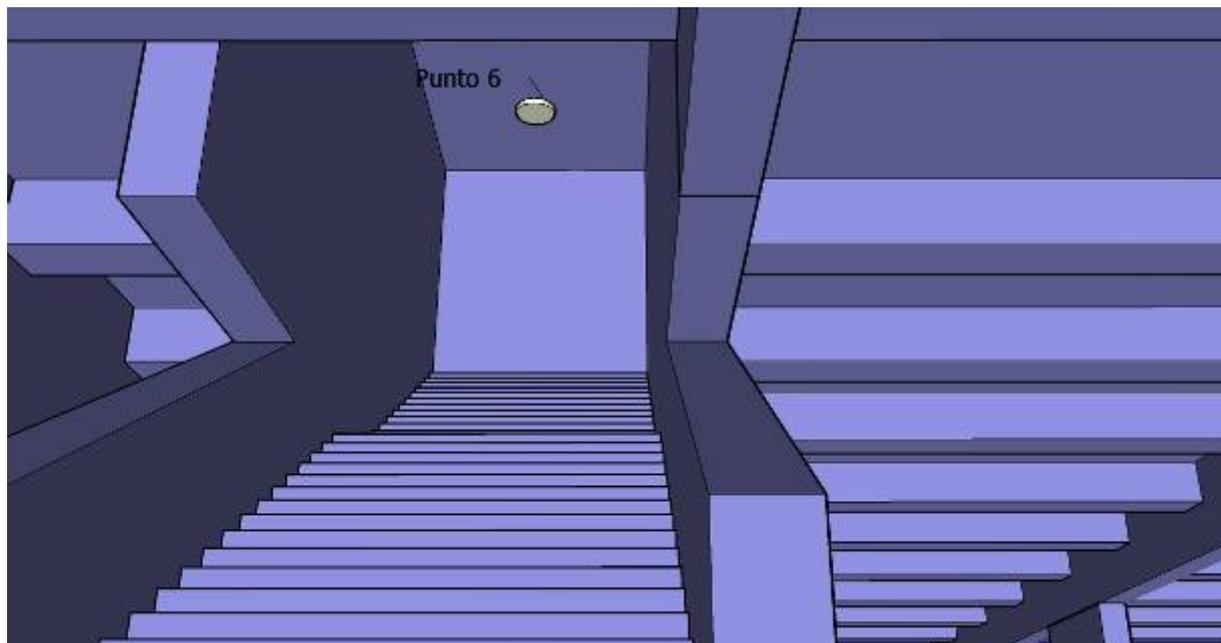


	PER SESTO							PER PAGANO			
	I V	II V	III V	VI V	VI T	V V	V T	I V	I T	II V	II T
Arrivo - 60 SEC	-0,5	-0,0	-0,7	-0,7	18,2			+0,0	18,0	+0,8	18,5
Arrivo - 40 SEC	-1,8	-0,6	-0,7	-0,7		-1,6	18,7	+0,4	17,8		
Arrivo - 20 SEC	-1,9	-0,9		-1,5		-2,0	18,6	+2,1	17,4		
Arrivo - 10 SEC	-1,8					-1,5	18,5	+1,5	17,3		
Arrivo - 0 SEC		-0,5	-0,9	-0,8		-1,1	18,0	+1,0	17,5		
Arrivo + 10 SEC	-1,2	-4,5		-2,4		-1,8	18,9	+0,0	17,7		
Arrivo + 20 SEC	-1,4	-3,6		-2,2	18,7	-1,4	19,1	+1,0	17,8		
Arrivo + 40 SEC	-2,6			-1,2	18,5	-0,8	19,0	+0,7	17,9		
Arrivo + 60 SEC	-2,0			-1,5	18,4	-0,0	18,9				

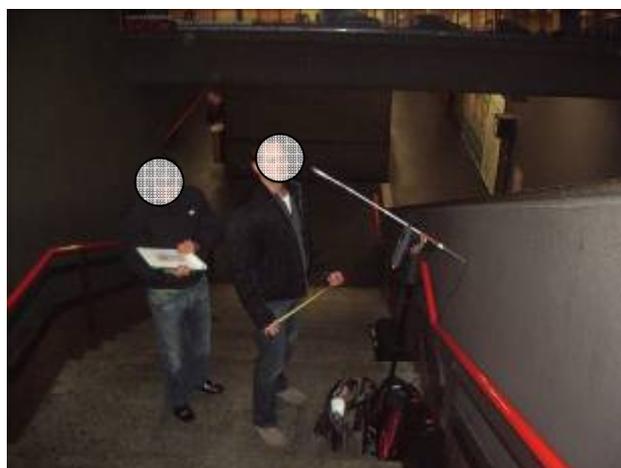
PUNTO 6

Dist. dalla parete (verso il muro opposta ai binari) **180 cm**

Altezza dalla griglia/soffitto **85 cm**



	PER SESTO						PER PAGANO			
	I V	I T	II V	II T	III V	III T	I V	I T	II V	II T
Arrivo - 60 SEC	-1,2	15,8	-1,8	15,9						
Arrivo - 40 SEC	-0,6	15,8	-0,5	15,9	-0,7	15,3	-0,5	15,8	-0,72	15,5
Arrivo - 20 SEC	-1,2	15,8	-0,7	15,8	-0,7	15,2	-1,28	15,9	-0,42	15,4
Arrivo - 10 SEC	-1,3	15,8	-1,5	15,9	-1,4	15,3			-0,45	15,4
Arrivo - 0 SEC	+0,4	15,8	+0,8	15,9	+0,5	15,3	-0	15,9	-0,51	15,4
Arrivo + 10 SEC	+0,6	15,8	+0,7	15,7	+1,1	15,3	+0,67	15,9	+0,77	15,3
Arrivo + 20 SEC	+1,1	15,8	+1,0	15,7	+0,0	15,3	+1,54	15,9	+0,69	15,3
Arrivo + 40 SEC			+1,0	15,7	+0,4	15,3	+1,27	15,9	+0,95	15,3
Arrivo + 60 SEC			+0,5	15,6			+0,48	16	+0	15,2



PUNTO 7

Dist. dalla parete (verso i binari) **190 cm**

Altezza pavimento della banchina 180 dal piano mezzo scale (290 da fine soffitto)

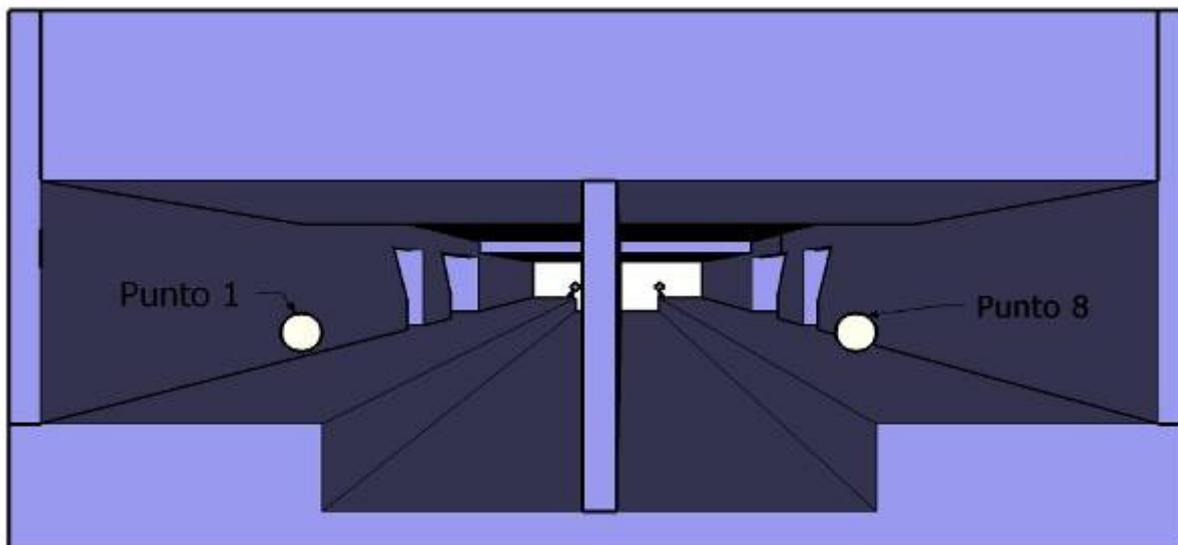


	PER SESTO						PER PAGANO			
	I V	I T	II V	II T	III V	III T	I V	I T	II V	II T
Arrivo - 60 SEC			+0,5	15,0	+1,0	15,1			+1,1	15,4
Arrivo - 40 SEC			+0,5	15,0	+0,8	15,0	+0,8	15,8	+1,2	15,5
Arrivo - 20 SEC			+0,6	15,1	+0,4	15,0	+0,7	16,0	+0,6	15,3
Arrivo - 10 SEC			+0,4	15,1	+0,4	15,1	+0,6	16,2	+0,4	15,5
Arrivo - 0 SEC			+0,7	15,1	+0,5	15,3	+0,7	16,2	+0,4	15,5
Arrivo + 10 SEC	+2,6		+1,1	15,1	+0,9	15,2	+0,6	16,1	+1,4	15,4
Arrivo + 20 SEC	+2,3	15,6	+1,5	15,1	+0,6		+0,6	16,0	+2,3	15,2
Arrivo + 40 SEC	+2,4	15,5	+2,2	15,1					+2,2	15,2
Arrivo + 60 SEC	+1,7	15,4	+1,3	15,1					+1,3	15,1

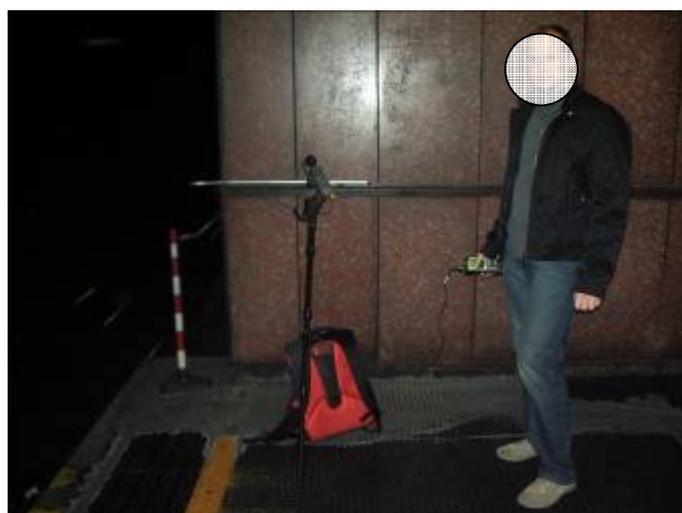
PUNTO 8

Dist. dalla parete **15 cm**

Altezza pavimento della banchina **140 cm**



	PER SESTO							PER PAGANO			
	I V	I T	II V	II T	III V	III T	IV V	I V	I T	II V	II T
Arrivo - 60 SEC			+0,8	18,1				-1,5	19,1		
Arrivo - 40 SEC			+2,0	18,1	+1,7	17,6		-0,6	18,8		
Arrivo - 20 SEC			+3,2	18,1	+1,5	17,6		-1,3	18,7		
Arrivo - 10 SEC			+1,1	18,2	+1,3	17,0		-0,8	18,4		
Arrivo - 0 SEC			+2,1	0,8	+1,9		+0,6	-0,6	18,3	-0,5	18,1
Arrivo + 10 SEC	+1,3	18,1	+1,3	18,4	+1,8	18,2	+1,2	-7,6	18,2	-3,1	18,1
Arrivo + 20 SEC	+1,4	18,1	+1,3	18,4			+1,1			-1,4	18,1
Arrivo + 40 SEC	+0,8	18,0	+1,2	18,4			+0,8			-2,1	18,0
Arrivo + 60 SEC	+1,1	18,0	+0,7	18,3						-0,6	17,7



FLUIDODINAMICA PER UN MODELLO NUMERICO

L'analisi strumentale e la rilevazione dei dati confrontati tra loro valutando anche le circostanze al contorno, hanno posto in evidenza l'azione creata dal passaggio dei treni che associata a quella degli estrattori crea forti turbolenze. Tuttavia è possibile ipotizzare un sistema di depurazione dell'aria capace di produrre benefici significativi non solo sull'ambiente metropolitano ma anche su quello urbano .

Il lavoro di seguito descritto riguarda dunque le proprietà di mescolamento turbolento dell'aria all'interno della stazione metropolitana di Lima, a Milano, in merito all'ottimale collocamento del macchinario per il filtraggio delle polveri sospese. Si fa uso del codice LES-AIR, basato sulla tecnica LES (Large Eddy Simulation) e sviluppato dal gruppo di ricerca IE-Fluids presso il Dipartimento d'Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Trieste.

La modellizzazione e le condizioni di simulazione vengono di seguito sinteticamente descritte presentando i primi risultati ottenuti.

Per inserire i dati rilevati all'interno del modello tridimensionale è stata realizzata una griglia di calcolo che si estende sull'orizzontale, lungo l'intera lunghezza delle banchine e della distanza massima tra le pareti laterali, invece in altezza si parte dai binari fino alla massima altezza raggiunta dal soffitto nella zona delle banchine. Vi sono 512 celle in direzione longitudinale, 128 in quella ortogonale, e 48 in verticale, con una risoluzione di circa 20 cm. La terna d'assi adottata presenta l'asse x orizzontale e parallelo ai binari in direzione per Sesto F.S., l'asse z orizzontale e ortogonale ai binari, diretto dalla banchina per Sesto F.S. verso quella per Pagano, ed infine l'asse y verticale diretto dal livello dei binari verso il soffitto. L'origine è stata posta in corrispondenza dell'entrata del treno per Sesto F.S., a livello del piano dei binari. In figura 1 si trova una rappresentazione tridimensionale della griglia di calcolo con la terna d'assi adottata.

La modellizzazione di tutti i corpi presenti all'interno del dominio considerato è stata eseguita servendosi della tecnica degli immersed boundaries (corpi immersi), che calcola quali celle computazionali risultano solide (i.e. all'interno di banchine, pareti o setti), fluide (i.e. aria), o prossime all'interfaccia tra i due (i.e. vicine alle superfici). La metodologia è descritta in (Roman et al. An improved Immersed Boundary Method for Curvilinear Grids, sotto revisione su Computer and Fluids, 2008).

Le figure 2 e 3 riportano una vista tridimensionale dei corpi immersi così ottenuti. Per chiarezza visiva la prima riporta i corpi fino all'altezza di 4m dal livello dei binari: si vedono le banchine, i setti centrali, le pareti laterali, i due pilastri e le scale; La seconda invece riporta i particolari del soffitto: travi, platea e le uscite delle scale.

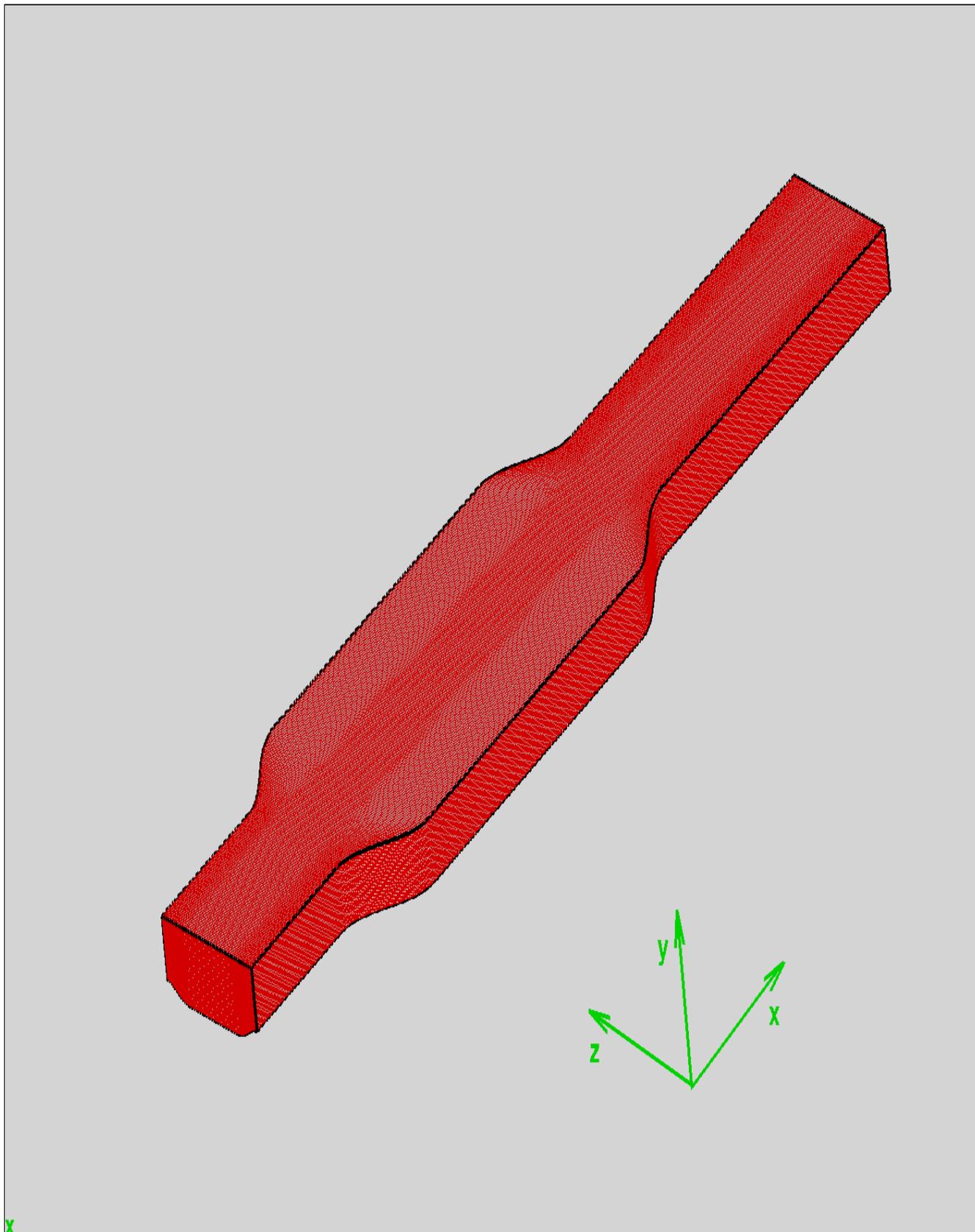


Figura 1: Vista tridimensionale della griglia di calcolo. Si noti il sistema di riferimento adottato.

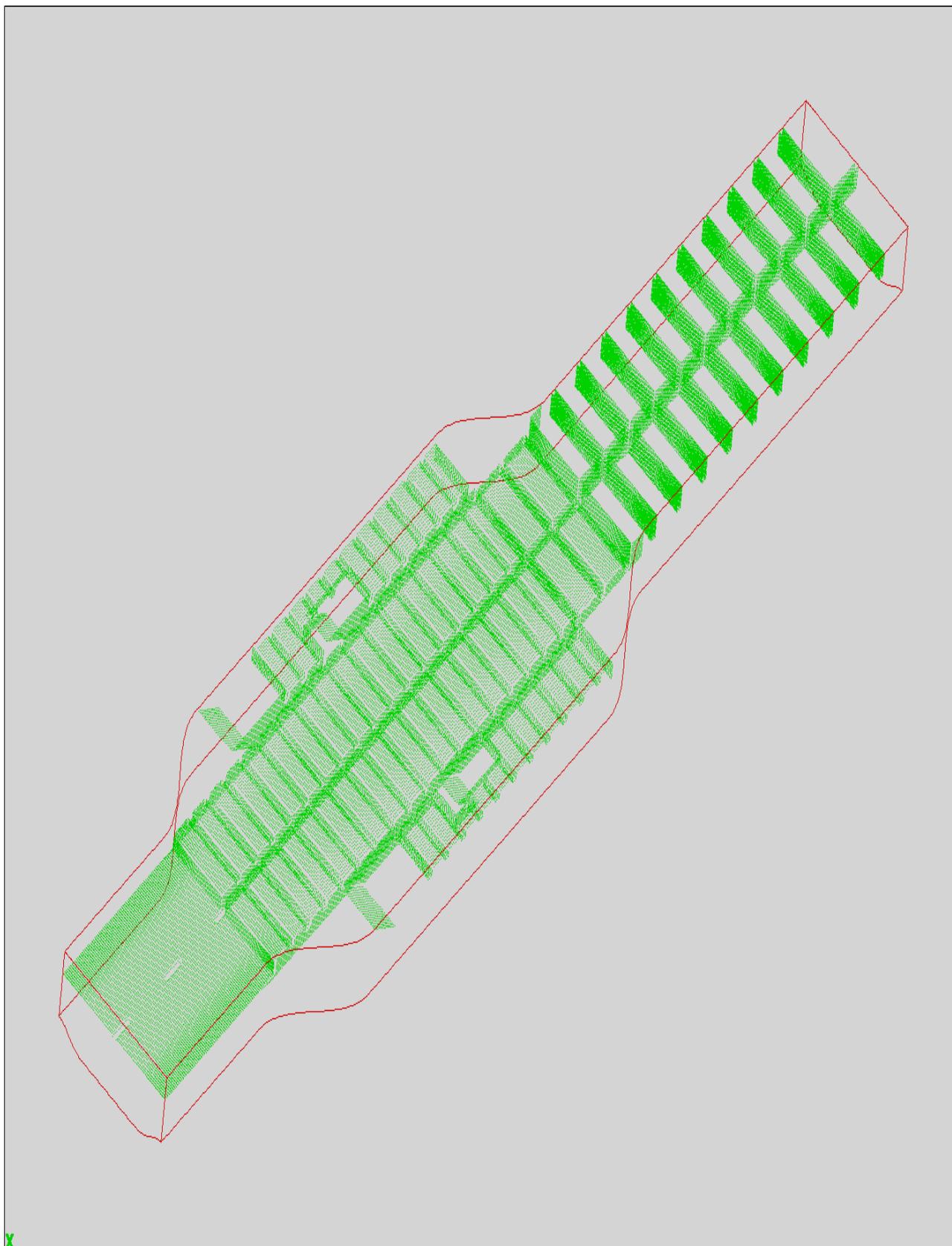


Figura 3: Vista tridimensionale dei corpi immersi oltre l'altezza di 4 m dal piano dei binari. Si notano gli elementi del solaio: le travi, la platea e le aperture per le scale.

Caratteristiche della modellizzazione: Arrivo e partenza del treno

Le misurazioni di cui si dispone allo stato attuale sono relative al treno in partenza. Le velocità massime sviluppate sono di 6m/s in corrispondenza dell'uscita del treno dalla stazione in direzione per Sesto F.S., e di 2,5m/s in corrispondenza dell'apertura delle scale, dall'esterno verso l'interno. Le temperature medie sono di 21.5 °C alle banchine e di 19 °C all'esterno, avendo quindi una differenza di temperatura ΔT pari a -2,5 °C. Con questi valori si ha un flusso in uscita pari a circa 230m³/s. Considerato che il volume dell'ambiente è pari a 7400 m³, nell'ipotesi in cui il vento indotto dal treno in uscita sia costante per un intervallo di tempo sufficientemente lungo, si avrebbe un completo ricambio di aria in circa 26 secondi. Questa stima è comunque approssimata, in quanto i picchi di velocità sono ragionevolmente da ritenersi presenti per tempi molto ridotti e quindi il ricambio di aria può ritenersi meno intenso.

In questa fase saranno discusse simulazioni numeriche con valori di velocità stimati in una serie di misure/prove effettuate precedentemente come sopra riportati.

Tuttavia la fase di relazione finale terrà conto di successive misurazioni, effettuate in data venerdì 14 novembre dal gruppo di ricerca del Dott. P. Barbieri dell'Università di Trieste, che sulla base prime simulazioni numeriche e dei dati emersi, verificano tutti gli elementi che contribuiscono ad ottenere una stima più corretta del ricambio di aria nei locali banchina.

Criteria della simulazione numerica :

E' stata generata, attraverso simulazioni di pre-run, una serie di piani d'entrata (inflow) turbolenti per le aperture delle scale e per la sezione d'arrivo del treno. I piani d'entrata costituiscono le condizioni al contorno imposte, e contengono i valori di velocità desiderati che vengono assegnati alle pareti della griglia al fine di riprodurre il regime di velocità media misurato.

La differenza di temperatura è stata modellizzata considerando la dilatazione termica tra l'aria presente all'interno della stazione, assunta come riferimento, e quella proveniente dall'esterno, più fredda e di conseguenza a densità maggiore. Questa condizione è stata imposta all'aria in entrata in corrispondenza delle aperture delle scale. L'equazione utilizzata è quella per la dilatazione termica di un fluido:

$$\rho = \rho_0(1 - \beta \Delta T)$$

dove nel caso specifico dell'aria a 20 °C $\rho_0=1,205 \text{ kg/m}^3$ e $\beta=-3,41 \cdot 10^{-3} \text{ T}^{-1}$, ottenendo una densità ρ dell'aria a 19°C pari a $\rho=1.216 \text{ kg/m}^3$.

Le figure 4 e 5 riportano rispettivamente le rappresentazioni dei piani d'entrata descritti per le sezioni d'ingresso del treno e delle scale.

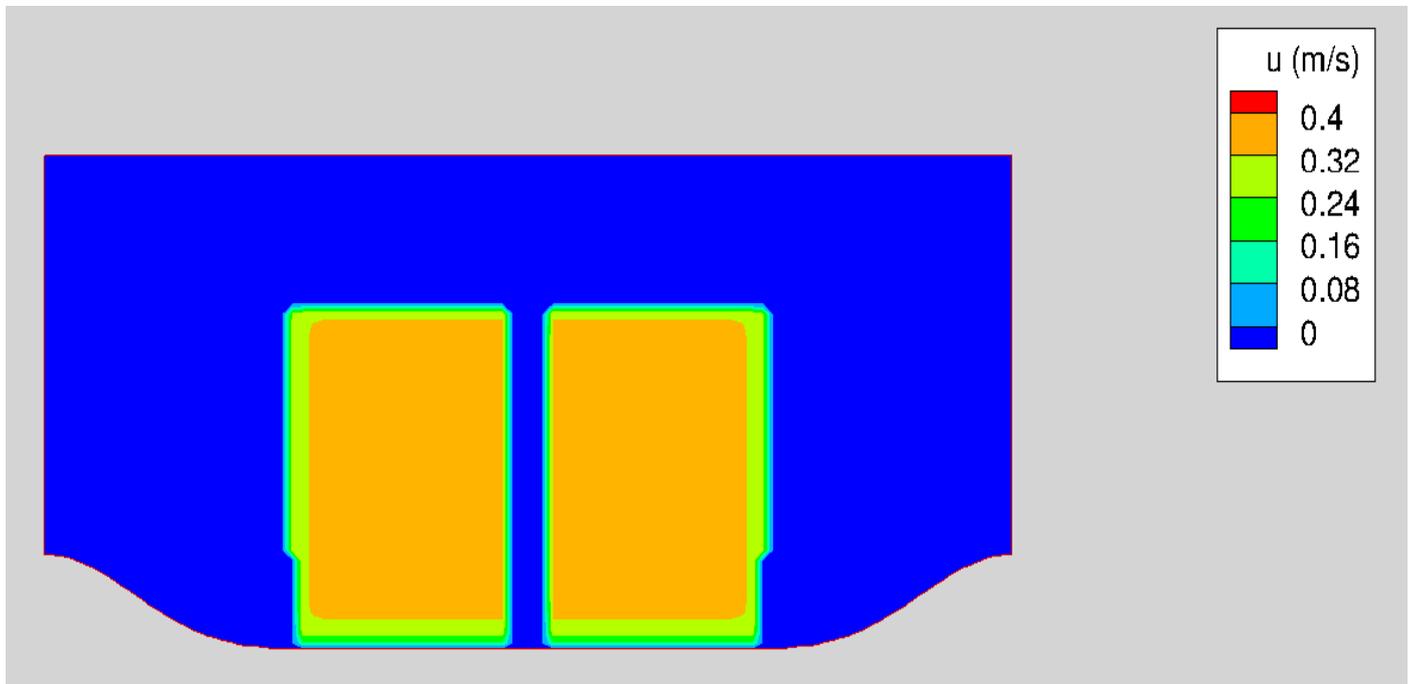


Figura 4: Piano d'entrata istantaneo imposto alla sezione d'ingresso del treno in direzione per Sesto F.S.

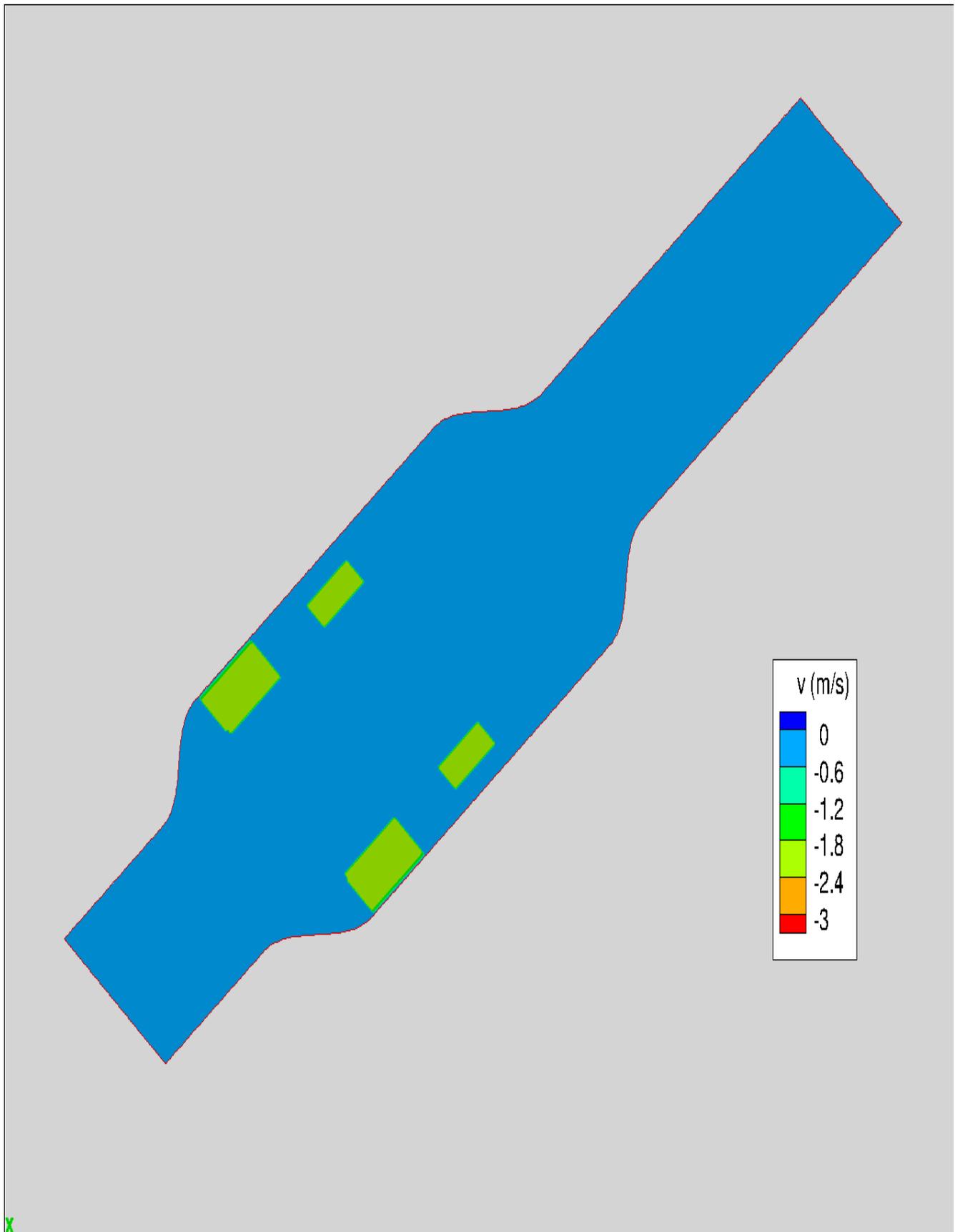


Figura 5: Piano d'entrata istantaneo imposto alla sezione d'ingresso delle scale

Primi risultati ottenuti: campo di velocità a e di temperatura

I seguenti risultati sono relativi alla simulazione portata avanti per 15 s con le condizioni al contorno sopra descritte. Quest'intervallo di tempo potrebbe essere confrontabile con la durata dell'evento di partenza del treno, in un primo approccio.

Le maggiori componenti di velocità risultano essere orientate lungo l'asse longitudinale x, nella direzione di partenza del treno, ed hanno valore di punta di 12m/s. La presenza di spigoli, angoli e strettoie genera brusche variazioni di velocità. In figura 6 è riportato il campo di velocità istantaneo della componente u (lungo l'asse x) in una sezione orizzontale del dominio a 1m d'altezza dalla banchina. I colori più caldi indicano velocità positive, quelli freddi negative in direzione opposta al movimento del treno, i tratti in nero rappresentano il profilo dei corpi immersi (pareti, pilastri, travi). Il colore blu scuro indica il valore zero della velocità a, e si distingue pertanto la zona solida. Si nota la presenza di forti variazioni di velocità a vicino agli spigoli delle pareti e dei pilastri, e attorno ai corpi scala, che costituiscono delle strettoie per il flusso d'aria. Si possono individuare alcune zone a velocità a bassa (in azzurro), dove sono presenti ricircoli verticali ed il trasporto lungo l'asse longitudinale è ridotto, alla banchina vicino ai corpi scala. Dalle figure 7 e 8, che riportano lo stesso campo di velocità a ma alle altezze di 2 e 3m dalla banchina rispettivamente, si nota come le suddette strutture di ricircolo verticali si sviluppano per tutta l'altezza della stazione. Sono di seguito riportate una serie di sezioni trasversali all'asse dei binari, tutte riferite al campo di velocità a istantaneo al tempo di 15 s, secondo lo schema di figura 9.

In ciascuna di esse il colore indica, come prima, il valore della componente di velocità u lungo l'asse x, mentre i vettori rappresentano le altre due componenti, verticale e trasversale, ed è riportato il vettore di confronto di valore 4m/s. Il colore blu, che come visto indica il valore 0 della velocità lungo x, permette di distinguere il profilo dei corpi immersi.

Le sezioni 1 e 2 di figura 10 e 11 si riferiscono al tratto di stazione opposto alla partenza del treno. Si notano velocità uniformi e non superiori a 0,5m/s, in assenza di strutture di mescolamento importanti.

La sezione 3 di figura 12 si riferisce al tratto più largo della stazione, in corrispondenza dell'entrata delle prime scale. La corrente d'aria scende dall'alto delle scale e s'infrange sul pavimento, aumentando la sua velocità.

Si nota che alla banchina non vi è un valore elevato di velocità lungo x, mentre è invece presente un ricircolo d'aria verticale come descritto osservando i profili orizzontali.

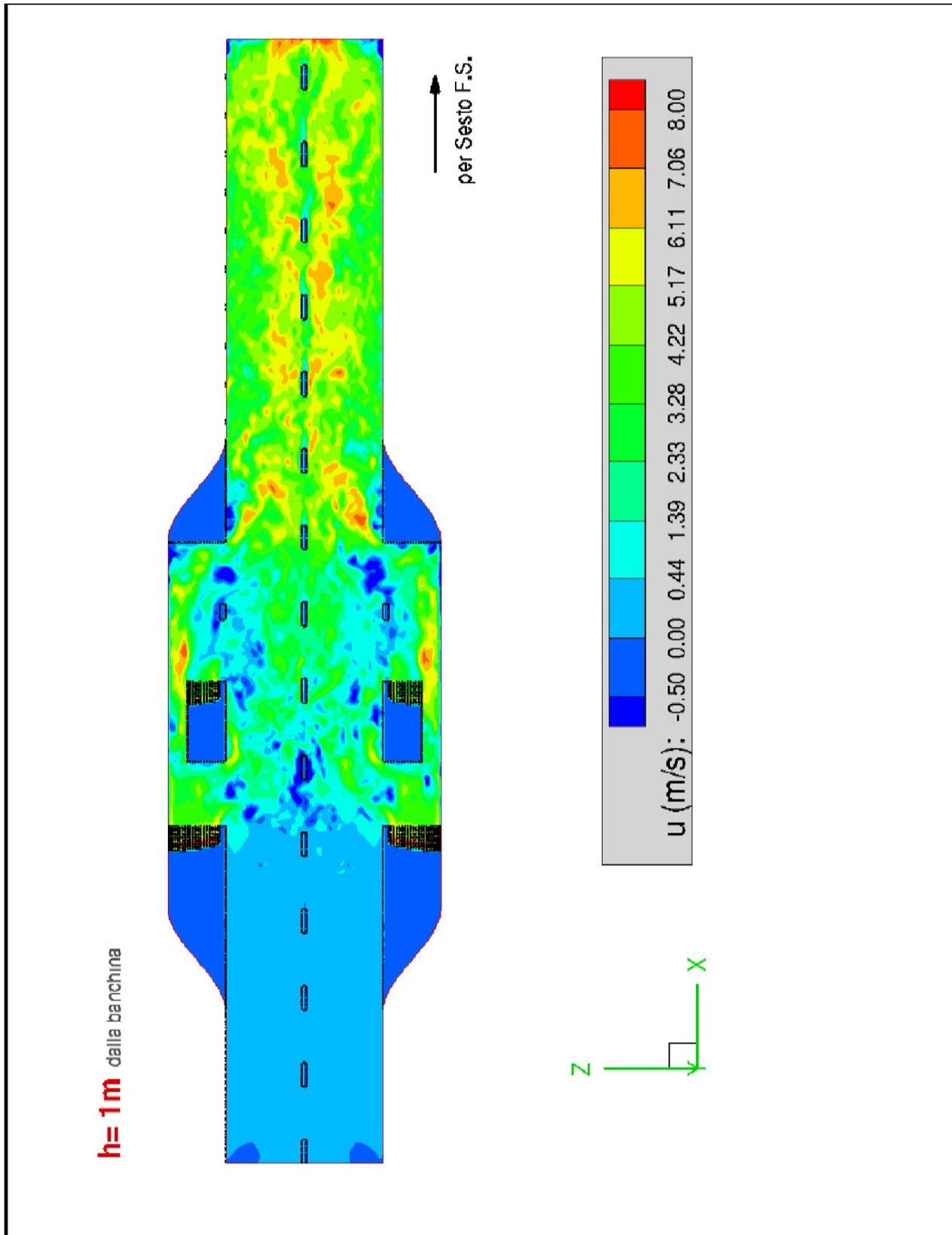


Figura 6: Campo di velocità istantaneo al tempo $t=15$ s nella sezione orizzontale ad 1m dal piano della banchina. Sono riportati i valori della componente u lungo l'asse x , in m/s.

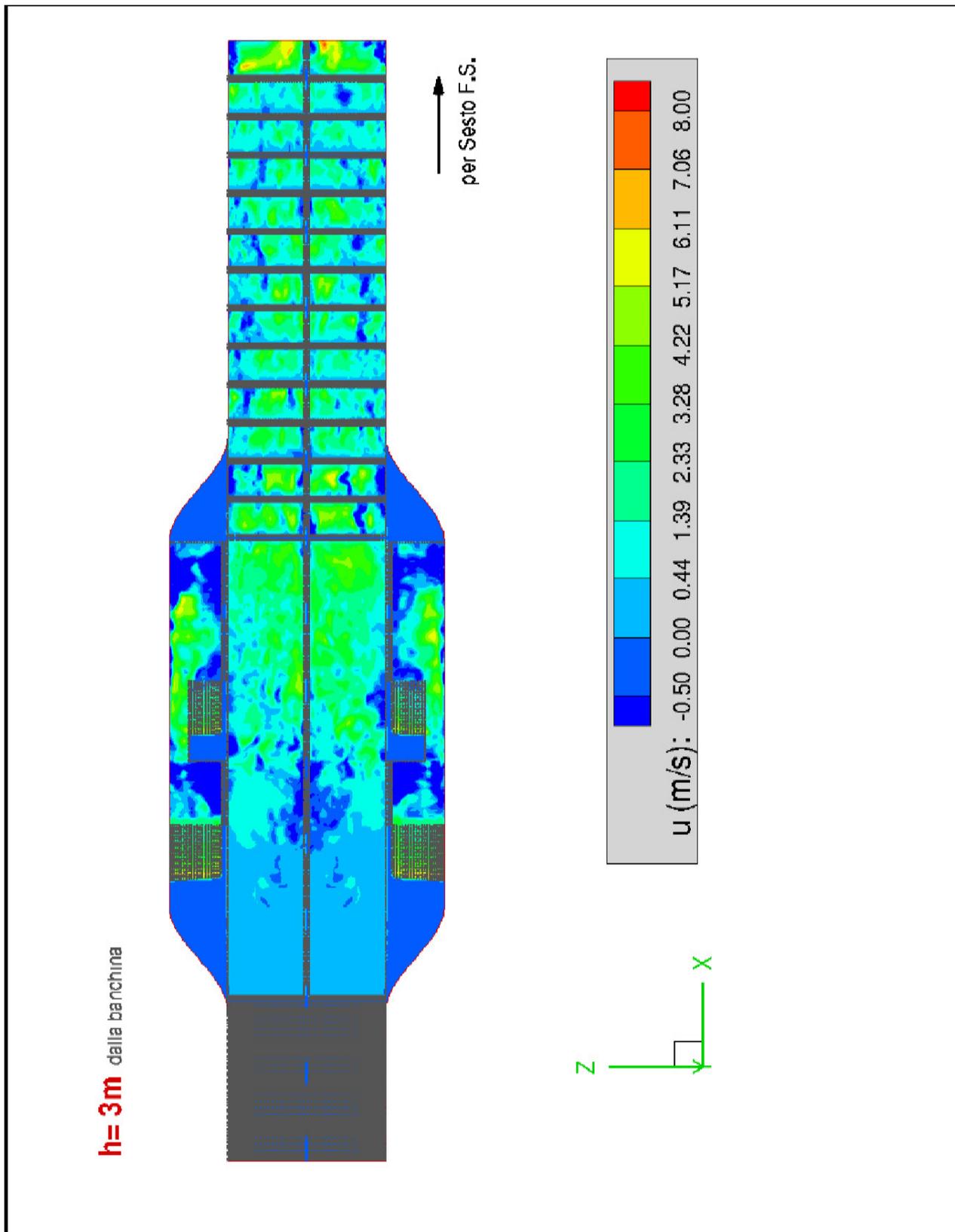


Figura 8: Campo di velocità a istantaneo al tempo $t=15$ s nella sezione orizzontale a 3m dal piano della banchina. Sono riportati i valori della componente u lungo l'asse x, in m/s.

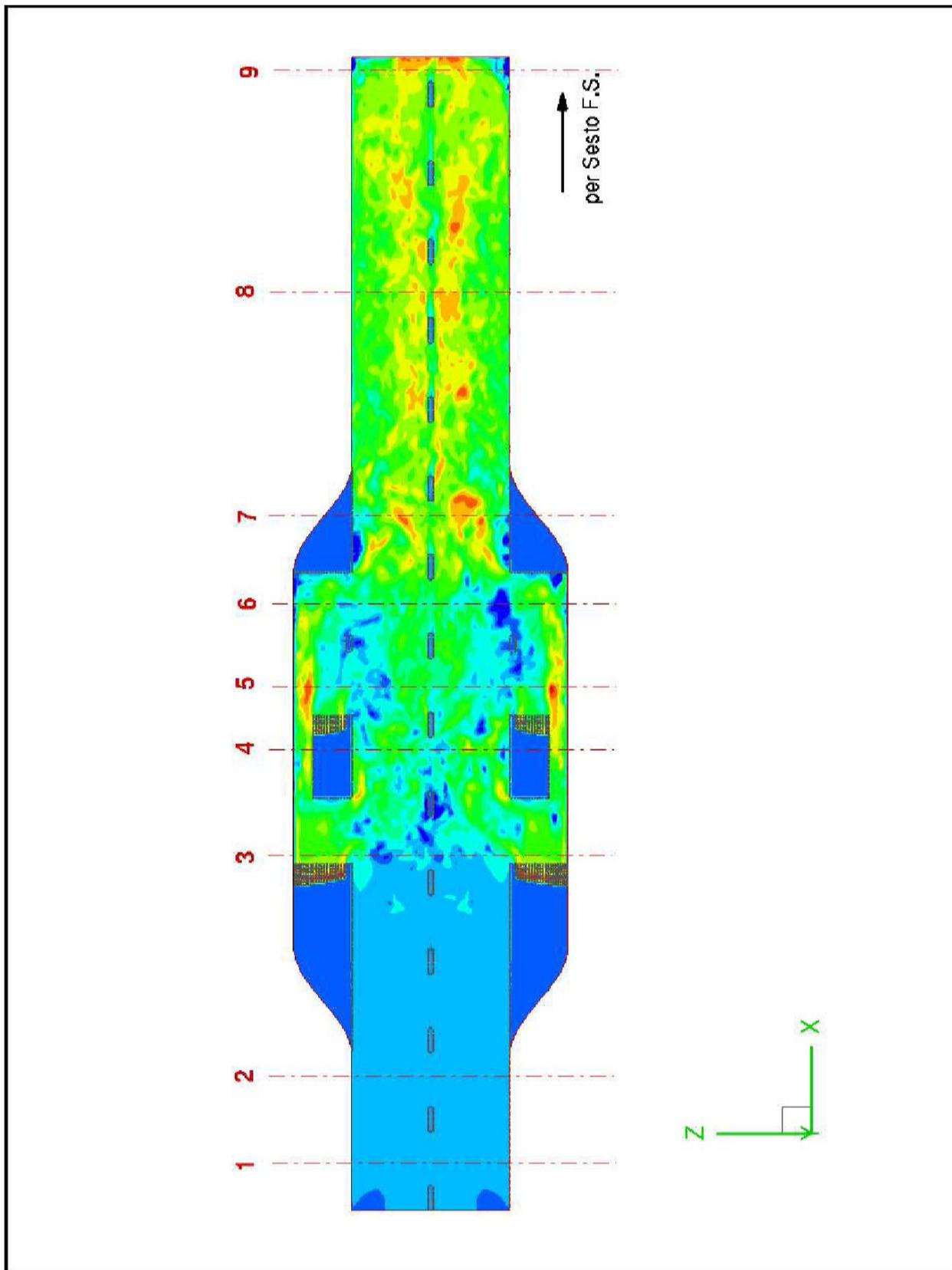


Figura 9: Schema delle sezioni trasversali del campo di velocità istantaneo.

Sezione 1

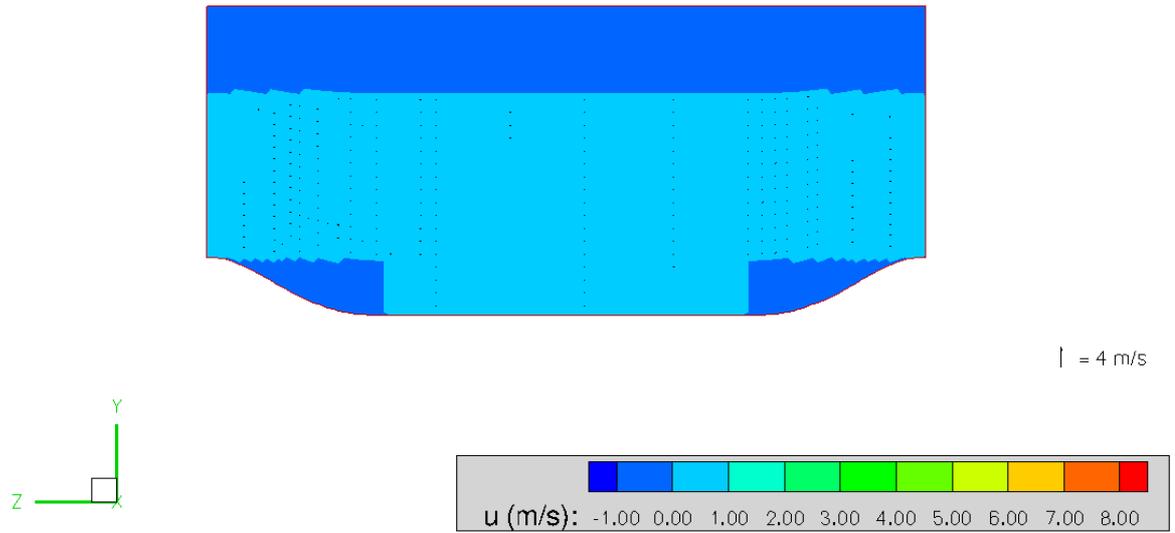


Figura 10: Sezione trasversale 1.

Sezione 2

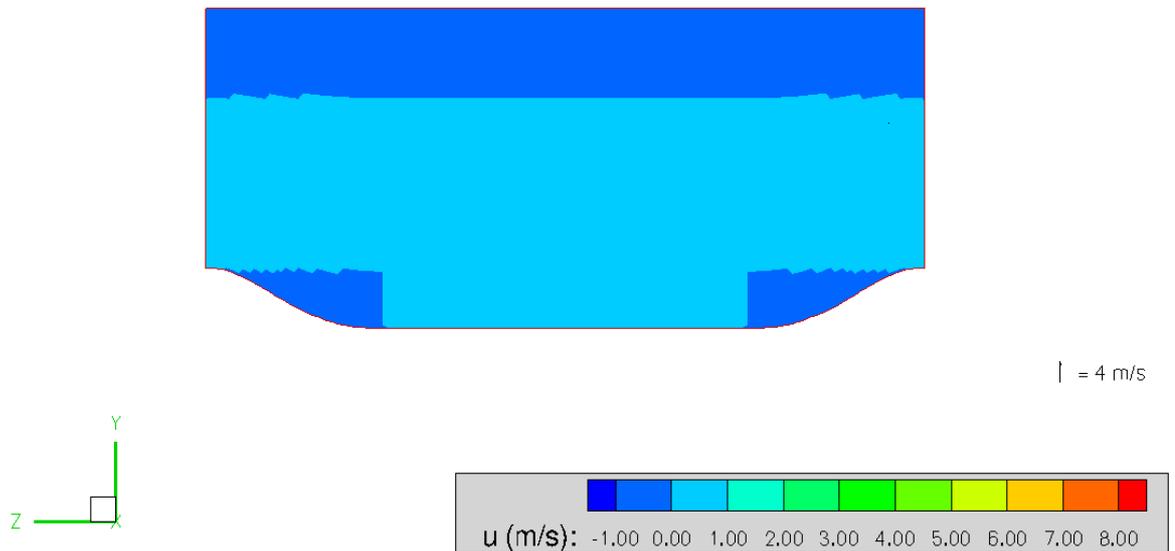


Figura 11: Sezione trasversale 2.

Sezione 3

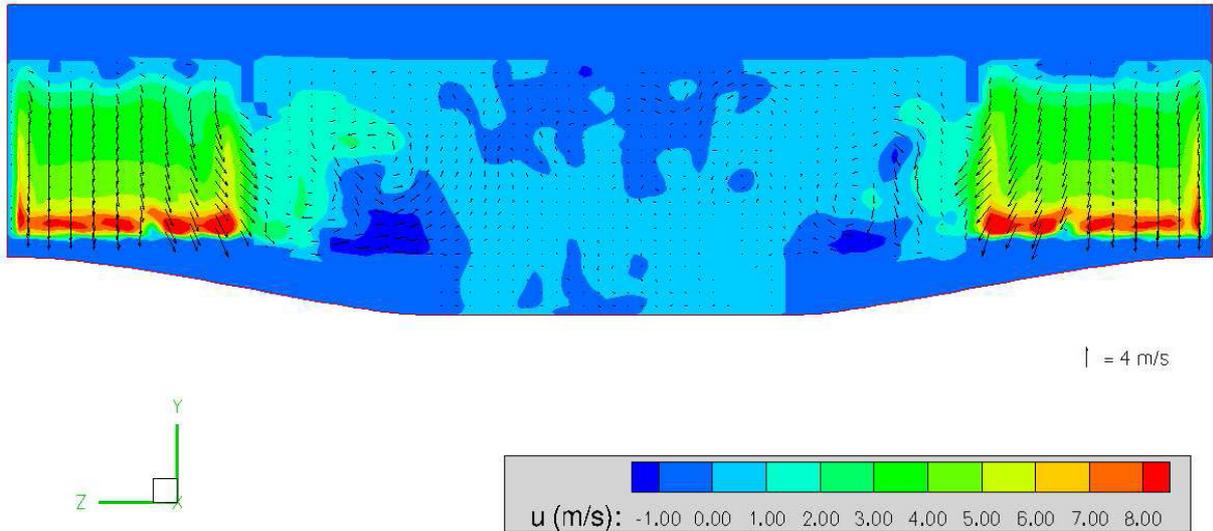


Figura 12: Sezione trasversale 3.

Sezione 4

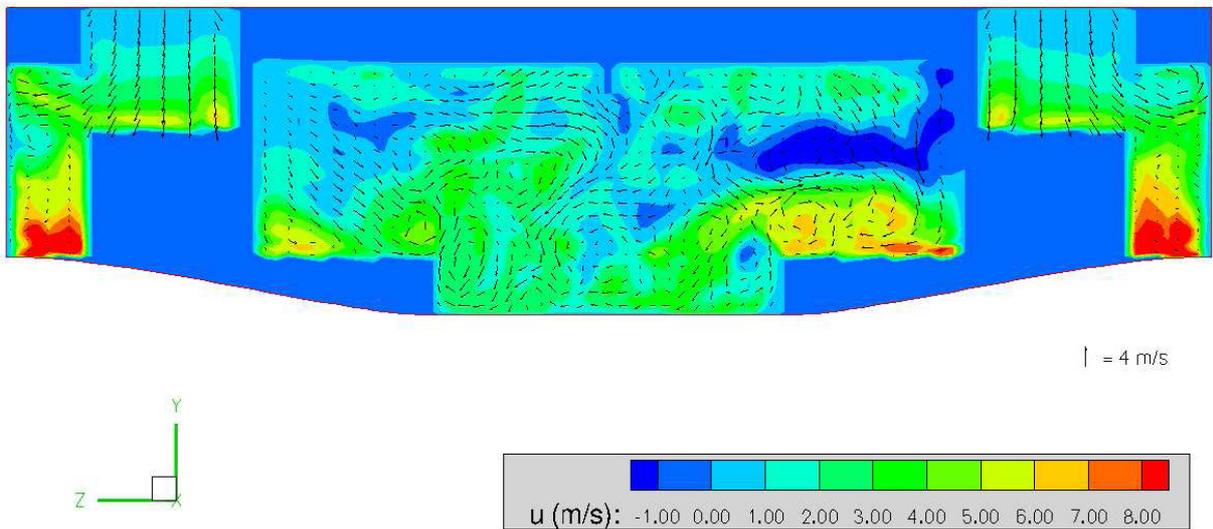


Figura 13: Sezione trasversale 4.

Sezione 5

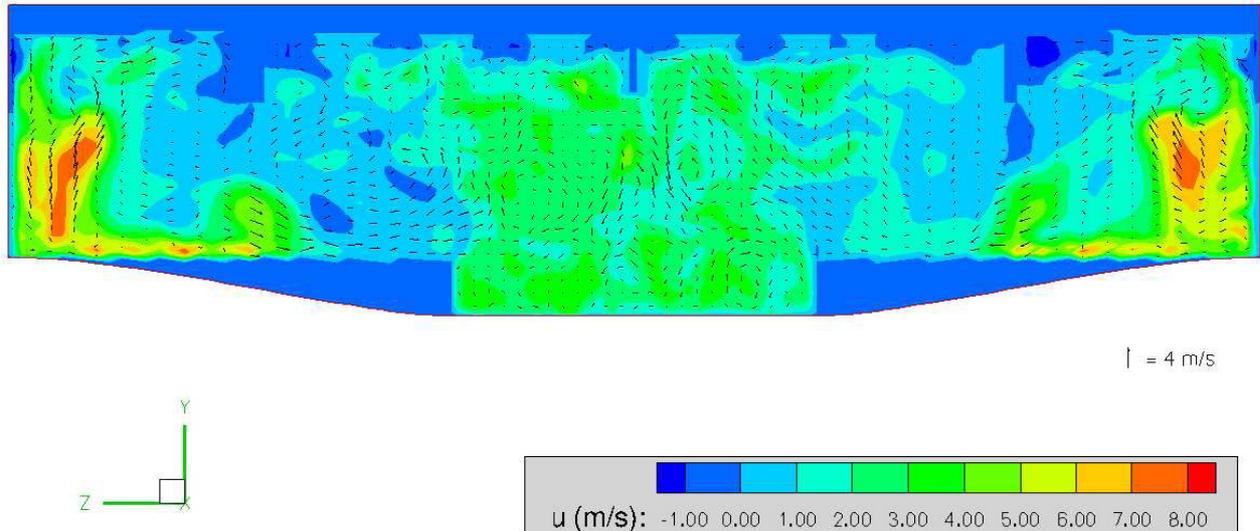


Figura 14: Sezione trasversale 5.

Sezione 6

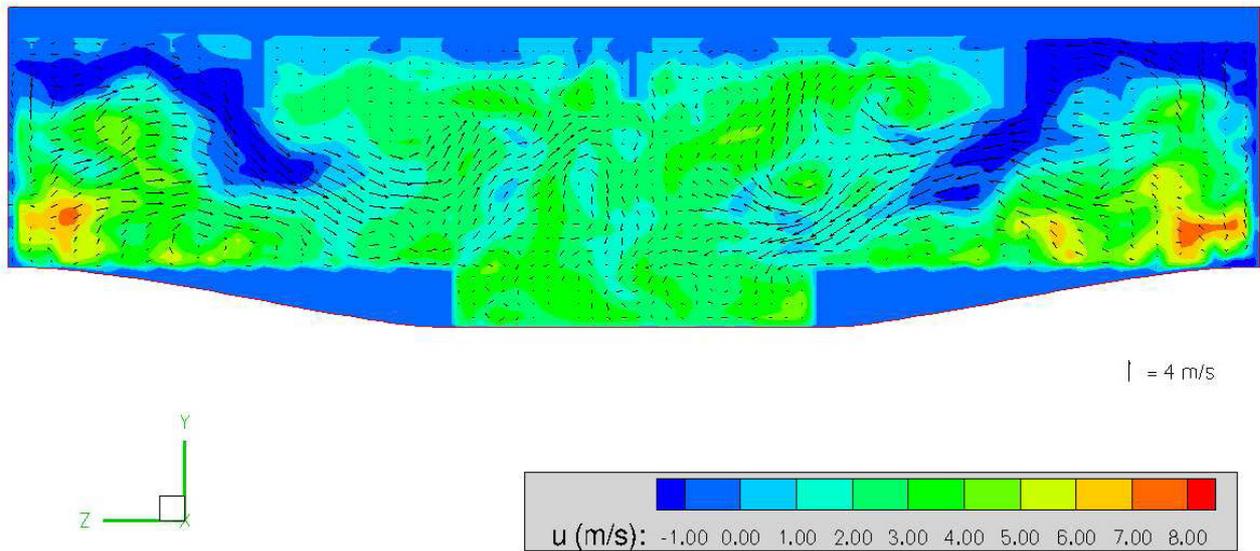
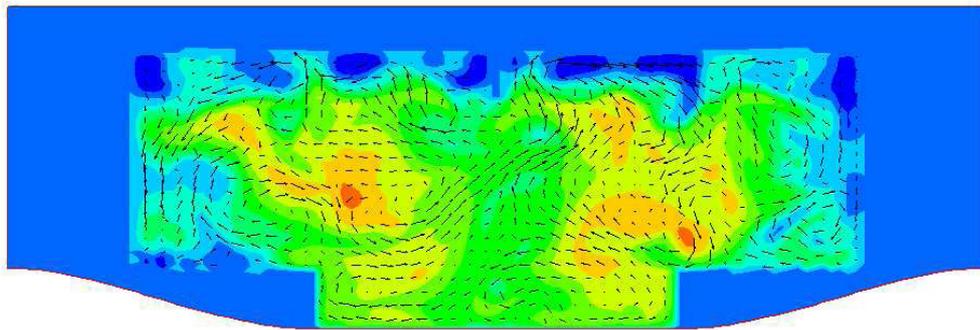


Figura 15: Sezione trasversale 6.

Sezione 7



| = 4 m/s

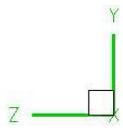
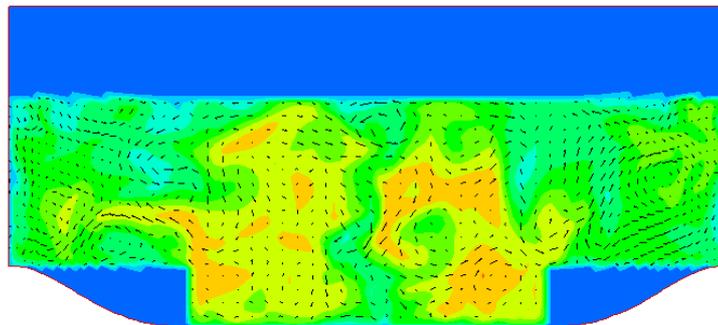


Figura 16: Sezione trasversale 7.

Sezione 8



| = 4 m/s

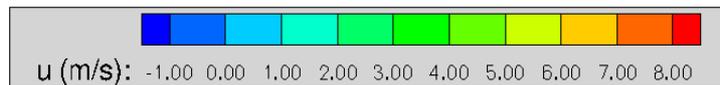
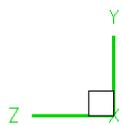


Figura 17: Sezione trasversale 8.

Sezione 9

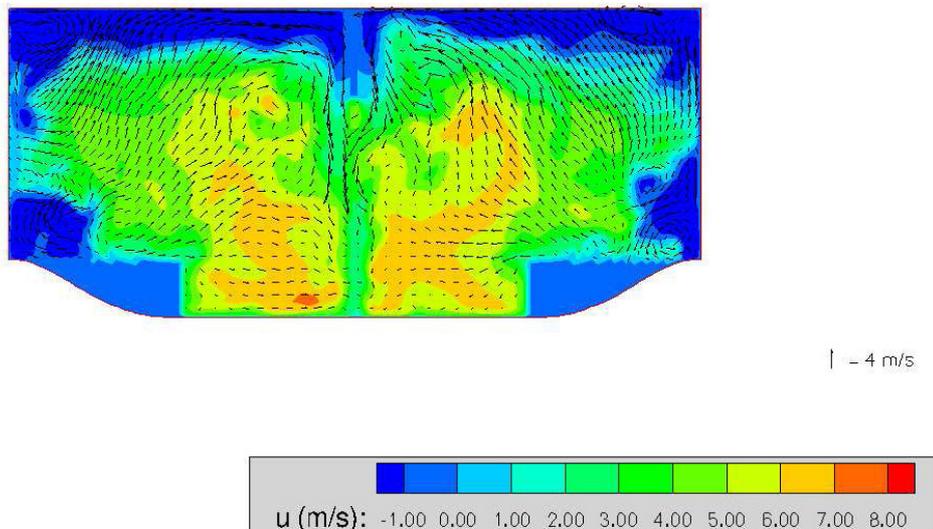


Figura 18: Sezione trasversale 9.

Analogamente, per sezioni 4, 5 e 6 di figura 13, 14 e 15, che si riferiscono al tratto largo della stazione e descrivono il campo di velocità in corrispondenza dei corpi scala; si notano deboli velocità lungo l'asse longitudinale della stazione, mentre sono presenti ricircoli verticali dovuti all'entrata della corrente d'aria da sopra le scale.

La sezione 7 di figura 16, caratterizzata dal restringimento brusco delle banchine, evidenzia un aumento della componente u lungo x , ovvero alti valori di velocità, dovuta alla minore area disponibile per la corrente e alla vicinanza con la sezione d'uscita del treno, dove sono presenti alti valori di velocità. Vi è la presenza di strutture di ricircolo verticali.

Le sezioni 8 e 9 di figura 17 e 18 sono relative al tratto di stazione dal lato d'uscita del treno. Si hanno elevati valori di velocità lungo l'asse x e in generale forte mescolamento verticale dell'aria.

La figura 19 mostra il campo di differenza di temperatura per la sezione verticale delle scale a 4m di distanza dalla parete laterale. Si nota l'aria a temperatura inferiore che entra dalle aperture delle scale e scende all'interno della stazione, dove si mescola con l'aria a temperatura di riferimento (posta a 0, come detto). In figura 20, per la stessa sezione verticale, si osserva meglio il moto di ricircolo che viene innescato a causa della presenza della parete antistante e della conformazione delle travi del solaio. Le frecce nere indicano i vettori di velocità.

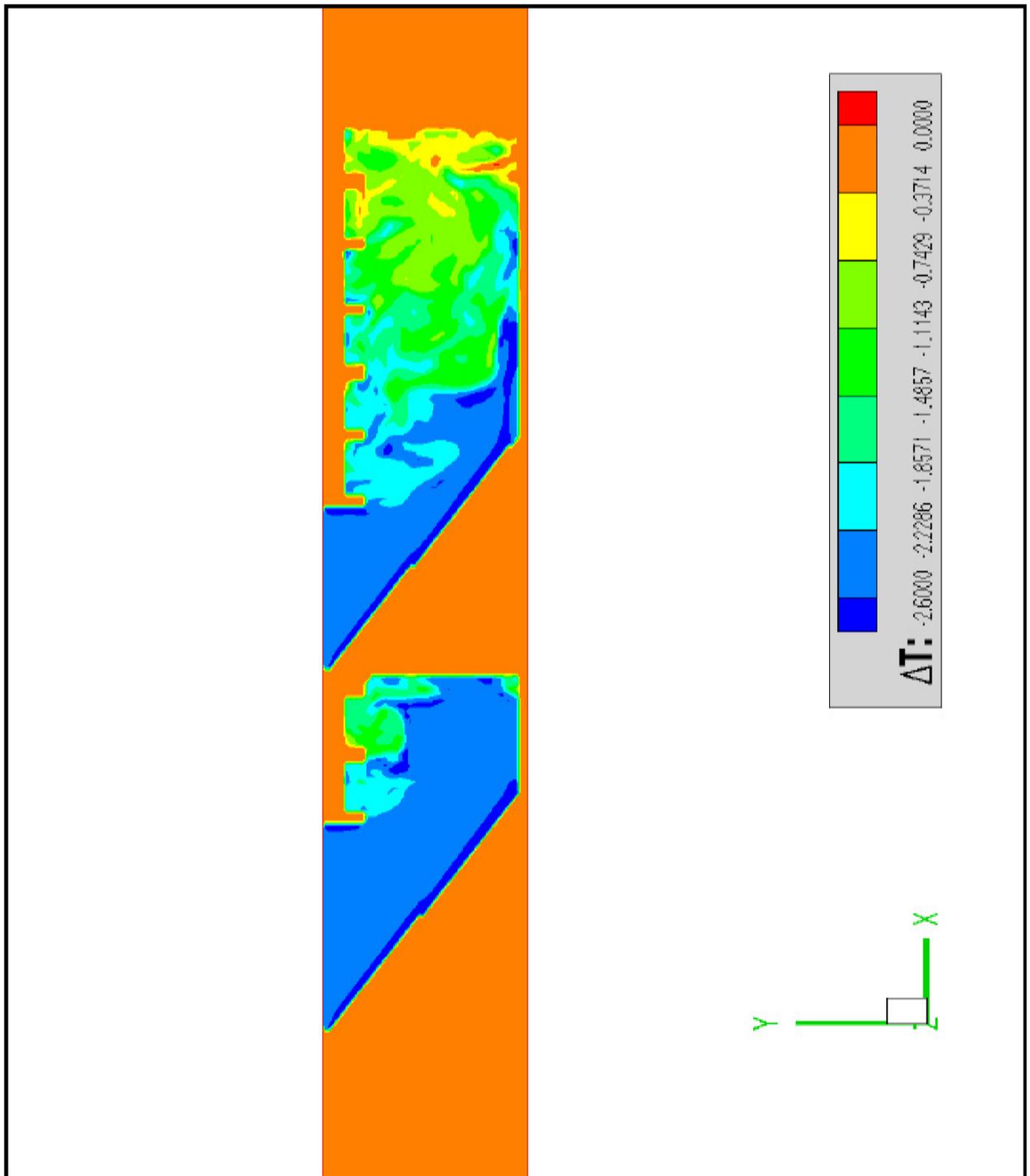


Figura 19: Particolare delle scale del campo di temperatura istantaneo al tempo $t=15$ s nella sezione verticale a 4m dalla parete laterale. Sono riportati i valori della differenza di temperatura in °C.

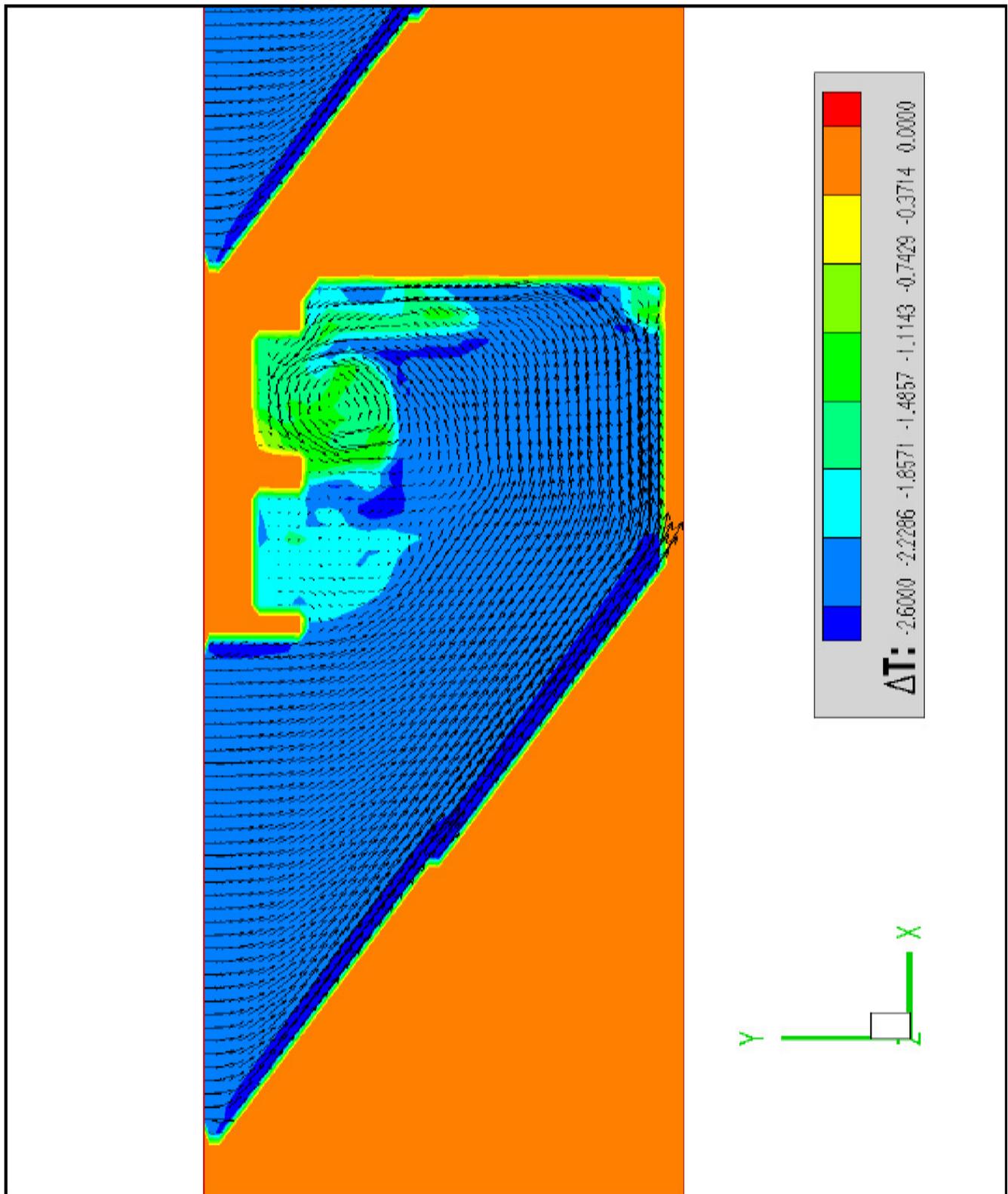


Figura 20: Particolare della prima scala del campo di temperatura istantaneo al tempo $t=15$ s nella sezione verticale a 4m dalla parete laterale. Sono riportati i valori della differenza di temperatura in °C e in nero sono indicati i vettori di velocità.

Prime conclusioni delle simulazioni numeriche

Tutti i dati descritti, si riferiscono alla simulazione effettuata con le misurazioni attualmente disponibili e riproducono la sola partenza del treno in direzione per Sesto F.S. e possono essere considerati come base di partenza e punto di riferimento per lo studio di un sistema di filtrazione dell'aria.

Attraverso l'analisi e la simulazione numerica sono stati individuati:

- il sistema di trasporto della corrente all'interno del volume della stazione
- le zone soggette a minore e maggiore regime di velocità,
- le differenze di temperatura tra interno ed esterno
- l'andamento dei moti di ricircolo e l'influenza della conformazione architettonica dell'ambiente

Tutti questi elementi hanno fornito dei risultati realistici e tuttavia strumentali per definire e inserire come condizioni al contorno del modello sviluppato misurazioni più accurate, relative a tutti i possibili scenari (treno in arrivo e partenza da entrambi i binari), al fine di formulare l'ottimale posizionamento del sistema per il filtraggio dell'aria e valutare esattamente gli effetti sull'ambiente della stazione Lima .

STUDIO FINALE E SIMULAZIONE NUMERICA

Il presente lavoro riguarda le proprietà di mescolamento turbolento dell'aria all'interno della stazione metropolitana di Lima, a Milano, in merito all'ottimale collocamento dei macchinari per il filtraggio delle polveri sospese. Si fa uso del codice LES-AIR, basato sulla tecnica LES (Large Eddy Simulation) e sviluppato dal gruppo di ricerca IE-Fluids presso il Dipartimento d'Ingegneria Civile ed Ambientale dell'università di Trieste. La modellizzazione riproduce un ciclo completo di arrivo e partenza di un treno in direzione per Pagano, e se ne caratterizza il campo di velocità e temperatura. Si ipotizza l'impiego di sei macchine filtro in una particolare disposizione e viene valutata l'efficacia di diffusione d'aria trattata.

CARATTERISTICHE DELLA MODELLIZZAZIONE

Costruzione della griglia di calcolo e del modello tridimensionale

La figura 21 riproduce la pianta della stazione metropolitana di Lima, oggetto dello studio. I locali di servizio, come il disimpegno, la sala del gruppo elettrogeno ecc., non sono riportati in quanto non rientrano nella simulazione.

La dimensione lungo i binari è di 105m, quella massima trasversale di 24m, in corrispondenza della sede dei quattro corpi scala. La minima altezza del soffitto è di 3,67m dal livello della banchina, mentre i binari giacciono a 1,10m sotto quest'ultimo. Vi sono setti centrali a sezione rettangolare lungo tutta la lunghezza della stazione, e il soffitto è costituito da un insieme di travi in calcestruzzo aventi disposizioni e altezze variabili. I due versi di percorrenza del treno sono in direzione per Pagano e per Sesto F.S., indicati dalle rispettive frecce. La griglia di calcolo, come già spiegato precedentemente, si estende sull'orizzontale, lungo l'intera lunghezza delle banchine e della distanza massima tra le pareti laterali, invece in altezza si parte dai binari fino alla massima altezza raggiunta dal soffitto nella zona delle banchine e la terna d'assi adottata presenta l'asse x orizzontale e parallelo ai binari in direzione per Sesto F.S., l'asse z orizzontale e ortogonale ai binari, diretto dalla banchina per Sesto F.S. verso quella per Pagano, ed infine l'asse y verticale diretto dal livello dei binari verso il soffitto. L'origine è stata collocata in corrispondenza dell'entrata del treno per Sesto F.S., a livello del piano dei binari. In figura 1 (nelle pagine precedenti) si trova una rappresentazione tridimensionale della griglia di calcolo con la terna d'assi adottata. Anche in questo caso la modellizzazione di tutti i corpi presenti all'interno del dominio considerato servendosi della tecnica degli immersed boundaries (corpi immersi), che calcola quali celle computazionali risultano solide (i.e. all'interno di banchine, pareti o setti), fluide (i.e. aria), o prossime all'interfaccia tra i due (i.e. vicine alle superfici). Le figure 2 e 3 riportano una vista tridimensionale dei corpi immersi così ottenuti.

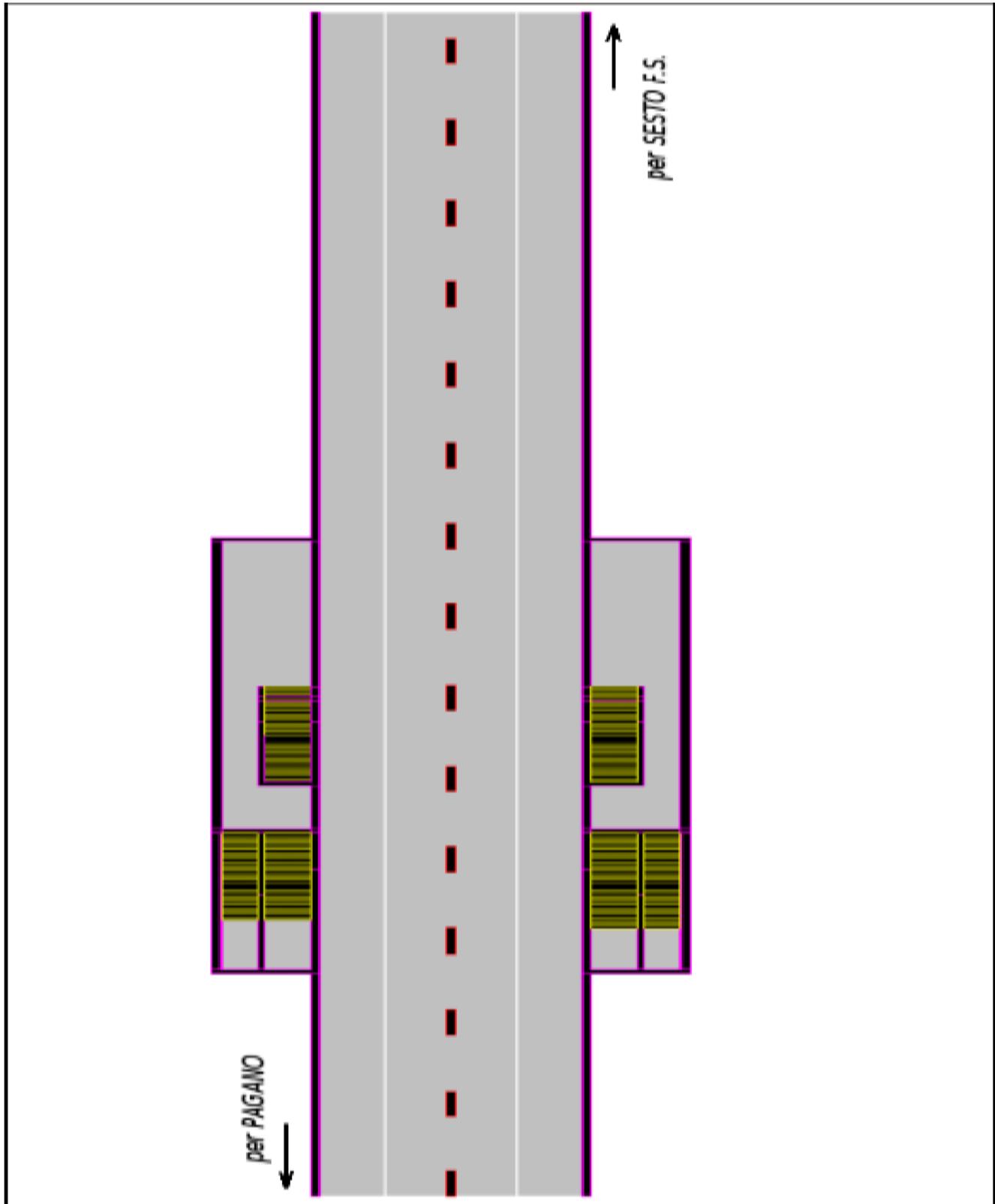


Figura 21: Pianta utile della stazione metropolitana di Lima.

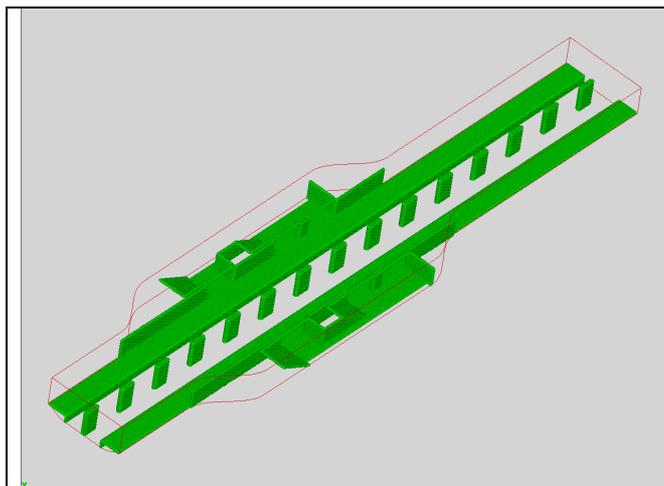


Figura 2: Vista tridimensionale dei corpi immersi fino all'altezza di 4 m

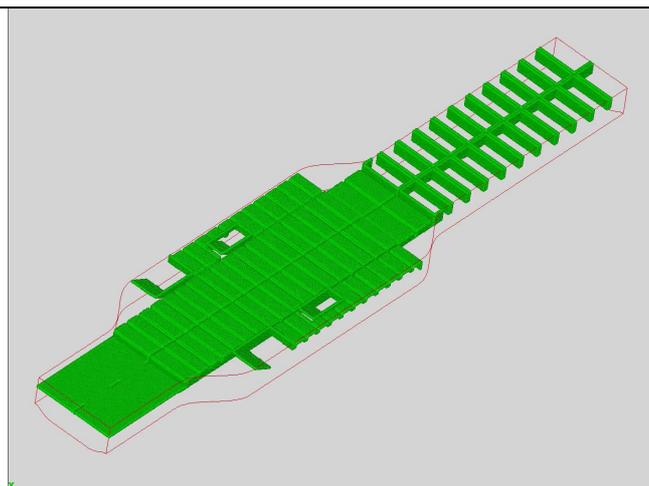


Figura 3: Vista tridimensionale dei corpi immersi oltre l'altezza di 4 m

Modellizzazione dell'arrivo e partenza del treno per Pagano

Sulla base delle misure effettuate dal gruppo di ricerca del Prof. P. Barbieri dell'Università di Trieste, si è scelto di simulare la condizione di treno in arrivo e partenza per Pagano. La frequenza massima di passaggio è di 4 minuti, intervallo che è stato assunto di durata del ciclo che si ripete in serie, tra la partenza di un treno e la partenza del treno successivo.

E' stato eseguita una campagna di misurazioni di velocità e temperatura all'interno della stazione di Lima. Le misure sono state prese in corrispondenza delle sezioni che comunicano con l'esterno del dominio, vale a dire le due entrate dei treni e le aperture dei corpi scale, cercando di ripetere le misure ad intervalli di 20s durante l'arrivo e la partenza del treno nelle due direzioni rispettivamente. I dati discreti forniti sono stati mediati ed interpolati su tutto l'intervallo di tempo.

La figura 22 riporta l'andamento della velocità lungo l'asse x dell'aria in corrispondenza della sezione d'entrata del treno per Pagano, mentre in figura 23 si vede l'analogo grafico per velocità la lungo l'asse y in corrispondenza delle aperture dei corpi scale. I quadrati blu stanno ad indicare le medie dei dati discreti mentre la linea continua indica l'interpolazione utilizzata nella simulazione, infine le lettere "A" e "P" contrassegnano l'istante d'arrivo e partenza del treno rispettivamente. Lo zero del tempo indica l'istante iniziale della simulazione, posto a 1'20" dall'arrivo del treno in modo da monitorare il regime di correnti che si instaura a partire dalla condizione in assenza di treni. Gli impianti d'estrazione nelle gallerie della metropolitana sono continuamente in funzione ed hanno capacità`a di 80 000m³/h. In assenza di

movimentazione d'aria dovuta al passaggio di treni alle sezioni d'entrata dei binari la velocità dell'aria risulta di 0,4m/s uscente dalla stazione, mentre all'apertura dei corpi scale circa 0,2m/s entrante nella stazione.

E' stata generata, attraverso simulazioni di pre-run, una serie di piani d'entrata (inflow) turbolenti per le aperture delle scale e per la sezione d'arrivo del treno per Pagano. I piani d'entrata costituiscono le condizioni al contorno imposte, e contengono i valori di velocità desiderati che vengono assegnati alle pareti della griglia al fine di riprodurre il regime di velocità media misurato.

Si tiene conto della variabilità delle velocità d'ingresso nel tempo scalando appositamente i piani d'entrata in modo da seguire l'esatto andamento dei grafici di figura 22 e 23 sopra presentati.

La differenza di temperatura è stata modellizzata considerando la dilatazione termica tra l'aria presente all'interno della stazione, assunta come riferimento, e quella proveniente dall'esterno, più fredda e di conseguenza a densità maggiore. Questa condizione è stata imposta all'aria in entrata in corrispondenza delle aperture delle scale.

L'equazione utilizzata è ancora quella per la dilatazione termica di un fluido

$$\rho = \rho_0(1 - \beta \Delta T)$$

dove nel caso specifico dell'aria a 20 °C $\rho_0=1,205 \text{ kg/m}^3$ e $\beta=-3,41 \cdot 10^{-3} \text{ T}^{-1}$, ottenendo una densità ρ dell'aria a 19°C pari a $\rho=1.216 \text{ kg/m}^3$.

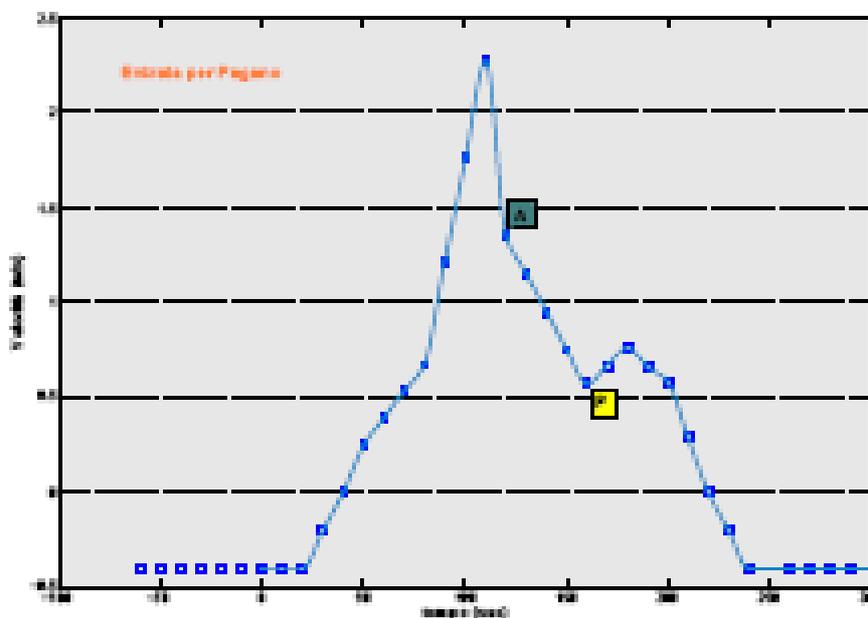


Figura 22: Grafico dell'andamento della velocità lungo l'asse x nel tempo in corrispondenza della sezione d'entrata del treno per Pagano. I quadrati indicano la media delle misurazioni discrete, la linea continua l'interpolazione utilizzata nella simulazione, le lettere A e P gli istanti d'arrivo e partenza del treno

Scelta della disposizione dei macchinari per il filtraggio dell'aria

Nelle simulazioni effettuate si è ipotizzato un sistema filtrante composto di sei postazioni fisse per il filtraggio dell'aria e delle canalizzazioni di uscita dell'aria filtrata. lungo le pareti laterali delle due banchine, Sono state posizionate tre macchine per parte, simmetricamente rispetto l'asse dei binari. La sezione di presa di ciascun macchinario ha un'ampiezza di 1m per 0,5m, ed essendo la portata d'aria trattata di 7.200m³/h la stima della velocità dell'aria entrante risulta di 4m/s. La presa dell'aria avviene in basso, la distanza tra il piano della banchina e il bordo inferiore della sezione d'ingresso è di 20 cm. Ogni macchinario restituisce l'aria trattata attraverso una sezione di 4m², distribuiti lungo la fascia che si trova all'altezza di 2m dal piano della banchina.

Le sezioni di restituzione hanno ampiezza di 0,5m per 2m nei tratti brevi, e 0,5m per 1m nel tratto di banchina lungo (ciascun macchinario presenta una sezione di restituzione complessiva di 4m²). Tutte le restituzioni sono inclinate rispetto l'orizzontale di 5° verso il basso. Operando il medesimo bilancio sulla portata nominale si ottiene che la velocità d'aria trattata in uscita è di 1m/s.

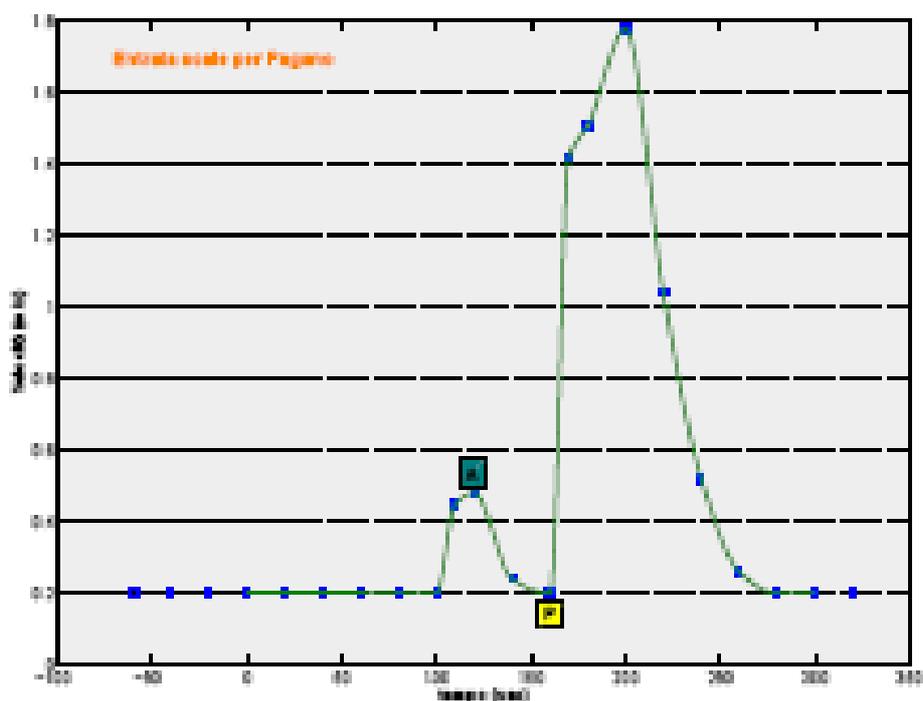


Figura 23: Grafico dell'andamento della velocità a lungo l'asse y nel tempo in corrispondenza della sezione dei corpi scale. I quadrati indicano la media delle misurazioni discrete, la linea continua l'interpolazione utilizzata nella simulazione, le lettere A e P gli istanti d'arrivo e partenza del treno rispettivamente.

I macchinari collocati lungo le pareti longitudinali della stazione sono tre per parete, simmetrici rispetto l'asse dei binari e la figura 24 ne illustra in pianta la disposizione. Sono segnati con le linee continue di colore verde gli assi delle sezioni di restituzione e presa, indicati con rettangoli blu e rossi rispettivamente. Le lettere A, B e C sono relative agli assi delle restituzioni del primo, secondo e terzo macchinario di ciascuna parete, e con il simbolo "asterisco" si indica che quell'asse appartiene anche alla sezione di presa. La figura 25 riporta la rappresentazione verticale della disposizione della presa e restituzioni per il macchinario A, e analogamente le figure 26 e 27. descrivono la collocazione per i macchinari B e C.

Risultati

Sono state eseguite due simulazioni con condizioni iniziali diverse, denominate "Caso 1" e Caso 2" rispettivamente. La prima `e stata fatta partire dalla condizione d'aria non ancora trattata, o in altri termini a massima concentrazione di particelle sospese (nella legenda `e indicato con il valore 0). La seconda invece parte dalla condizione iniziale d'aria completamente depurata (nella legenda, valore 1), condizione raggiungibile nel caso in cui le macchine fossero messe in azione per circa 10 minuti prima che il ciclo giornaliero, ovvero in condizioni di quiete (il calcolo viene fatto dal bilancio del volume trattato dalle sei macchine rispetto a quello totale della stazione, 7 400m3).

Sono stati simulati due cicli di partenza ed arrivo del treno in direzione per Pagano per ciascuno dei due casi ed `e stata monitorata la concentrazione di volume d'aria trattata in relazione al campo di moto e di temperatura.

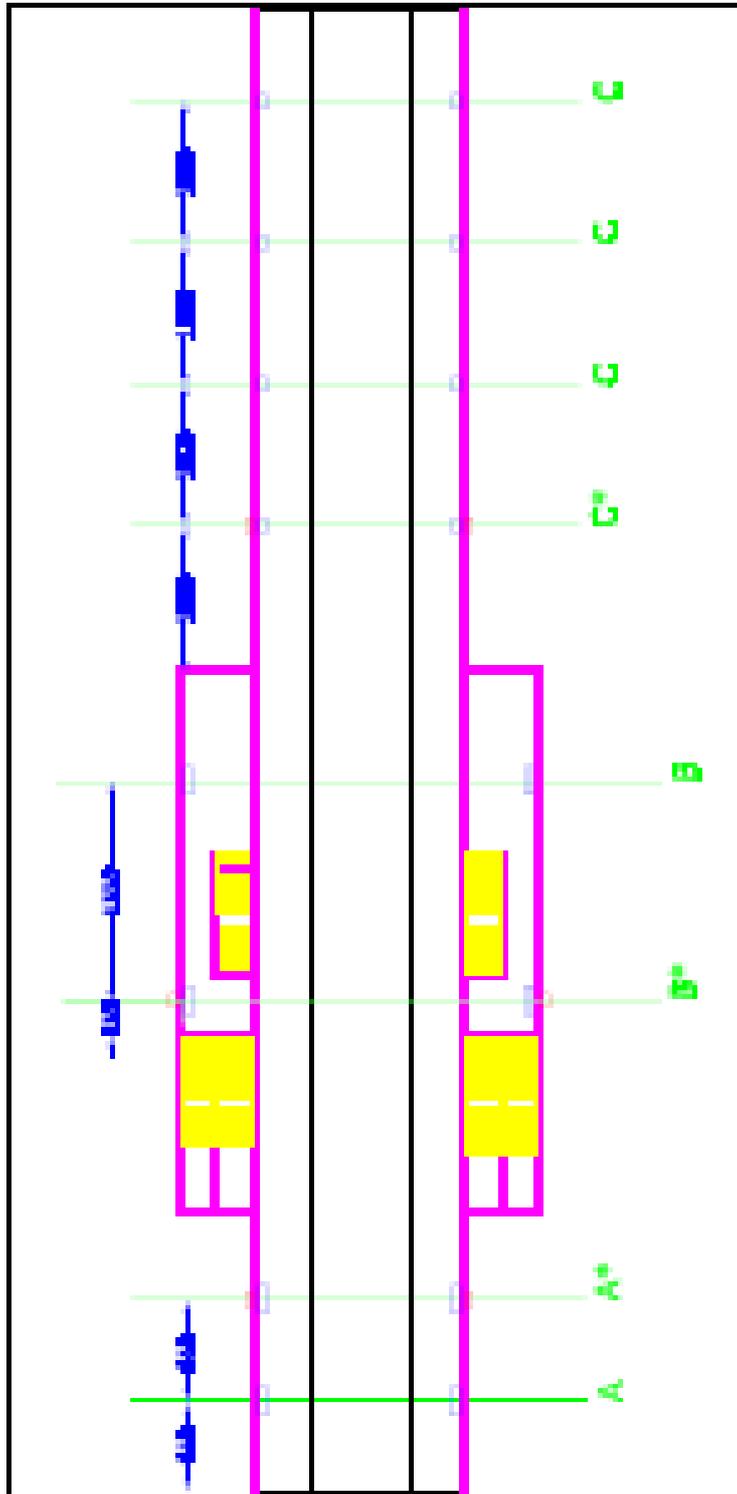


Figura 24: Pianta della stazione metropolitana di Lima con la disposizione dei sei macchinari per il filtraggio dell'aria. Sono presenti tre macchinari su ciascuna parete longitudinale, disposti simmetricamente rispetto l'asse della stazione e contrassegnati dalle lettere A, Be C. Le linee continue verdi indicano gli assi delle sezioni di restituzione, l'asterisco segnala la presenza di una sezione di presa. I rettangoli blu e rossi sono relativi alle restituzioni e prese rispettivamente. Le quote sono espresse in cm.

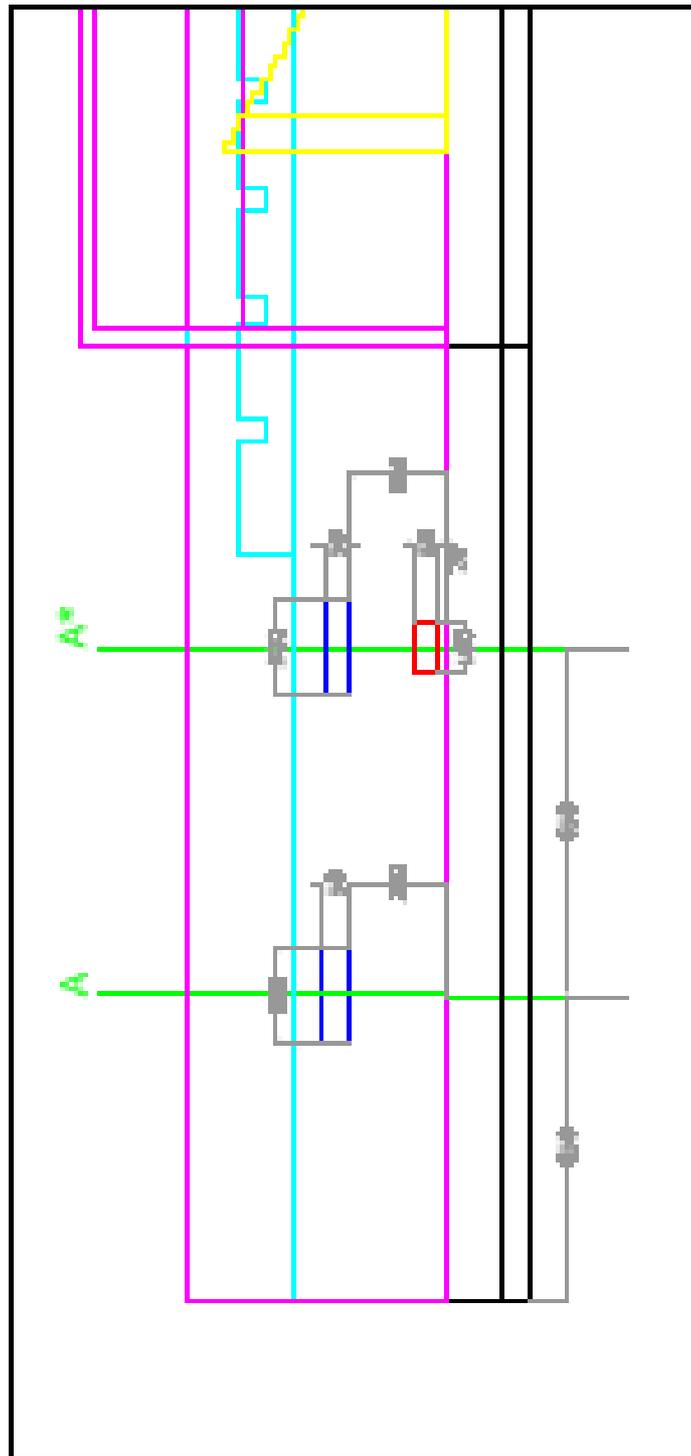


Figura 25: Vista laterale della disposizione delle restituzioni e presa per il macchinario A. Le linee continue verdi indicano gli assi delle sezioni di restituzione, l'asterisco segnala la presenza di una sezione di presa. I rettangoli blu e rossi sono relativi alle restituzioni e prese rispettivamente. Le quote sono espresse incm.

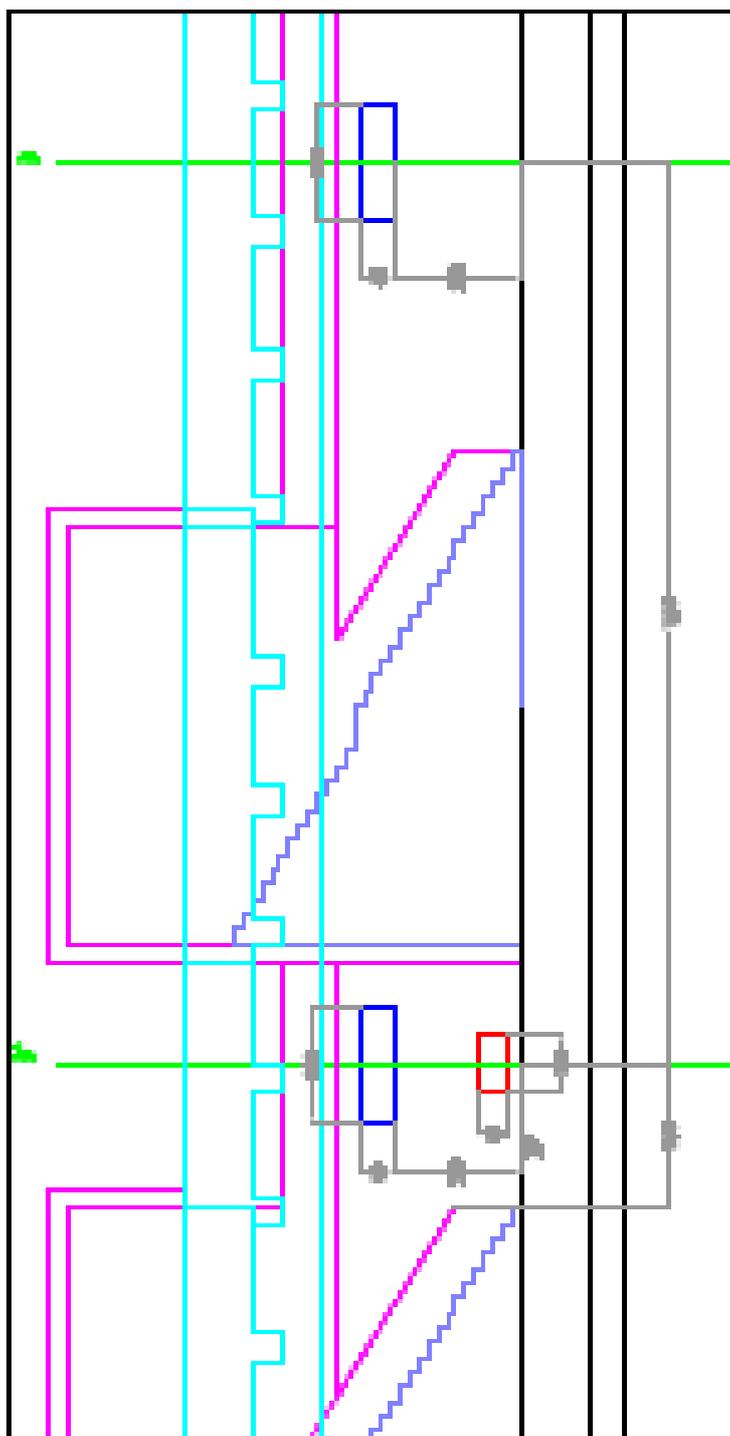


Figura 26: Vista laterale della disposizione delle restituzioni e presa per il macchinario B. Le linee continue verdi indicano gli assi delle sezioni di restituzione, l'asterisco segnala la presenza di una sezione di presa. I rettangoli blu e rossi sono relativi alle restituzioni e prese rispettivamente. Le quote sono espresse in cm.

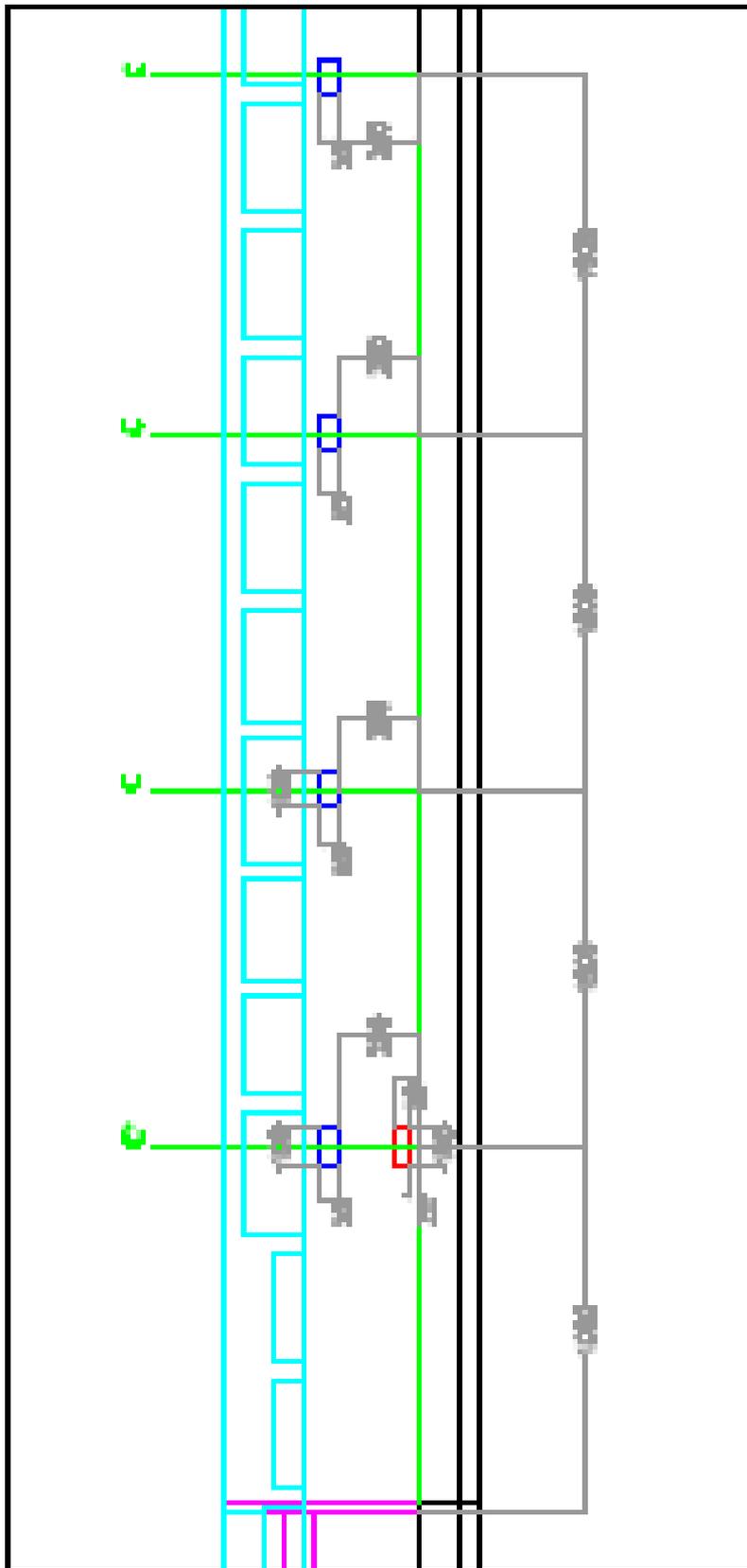


Figura 27: Vista laterale della disposizione delle restituzioni e presa per il macchinario C. Le linee continue verdi indicano gli assi delle sezioni di restituzione, l'asterisco segnala la presenza di una sezione di presa. I rettangoli blu e rossi sono relativi alle restituzioni e prese rispettivamente. Le quote sono espresse in cm.

Caso 1

Le figure 28 e 29 sono due sezioni orizzontali significative relative alle altezze di 1m e 1,8m dal piano della banchina rispettivamente. Viene riportata la concentrazione in volume C istantanea d'aria trattata, dove il valore 1 e 0 in legenda indicano aria completamente depurata e a massima concentrazione di particelle sospese rispettivamente (colori blu e rosso). Viene riportato in piccolo il grafico di velocità precedentemente descritto il fine di individuare l'esatto istante temporale a cui si riferisce il grafico (si noti la lettera T cerchiata di rosso). I rettangoli azzurri e i triangoli verdi mostrano la collocazione delle sezioni di restituzione e presa. Si nota dalle figure che l'aria risulta depurata per circa il 50% in corrispondenza delle banchine vicino alle sezioni d'uscita dei binari, mentre nella parte centrale, dove si risente molto dell'ingente volume d'aria non trattata entrante dalle scale, si ha un effetto minore. Si conclude che i macchinari B vanno collocati anch'essi in corrispondenza della banchina per ottimizzare il loro rendimento. Le figure 13 e 14 descrivono l'andamento nel tempo della concentrazione C d'aria trattata ad una distanza di 50 cm e 1,5m dalla parete laterale longitudinale della stazione, in diversi punti alle tre altezze h di 1, 1,4 e 1,8m d'altezza rispetto il piano della banchina. Si nota che il livello d'aria depurata è basso vicino la parete, mentre a metà della banchina la concentrazione risulta di circa 0,5 in quanto qui si risente più direttamente del flusso di restituzione.

Le sonde con valori prossimi allo zero sono relative alla parte centrale della stazione, in quanto i macchinari B sono troppo lontani dalla banchina.

La figura 31 riporta il grafico dell'andamento temporale in un intervallo dell'aria totale depurata all'interno della stazione.

Caso 2

Le figure 32 e 33 sono due sezioni orizzontali significative relative alle altezze di 1m e 1,8m rispetto al livello della banchina. La simbologia utilizzata è analoga a quella descritta per il Caso 1. Si nota che, partendo da una situazione iniziale d'aria completamente depurata, i valori di concentrazione risultano in generale molto maggiori rispetto al Caso 2 in tutto il dominio.

Si conclude che conviene azionare gli impianti di filtraggio almeno 10 minuti prima dell'apertura della stazione in quanto la concentrazione d'aria depurata risulta maggiore. Le figure 34 e 35 descrivono l'andamento nel tempo della concentrazione C d'aria trattata ad una distanza di 50 cm e 1,5m dalla parete laterale longitudinale della stazione, in diversi punti alle tre altezze h di 1, 1,4 e 1,8m d'altezza rispetto il piano della banchina. Si nota che per sia per i valori delle sonde vicino alla parete che per quelle a metà della 32

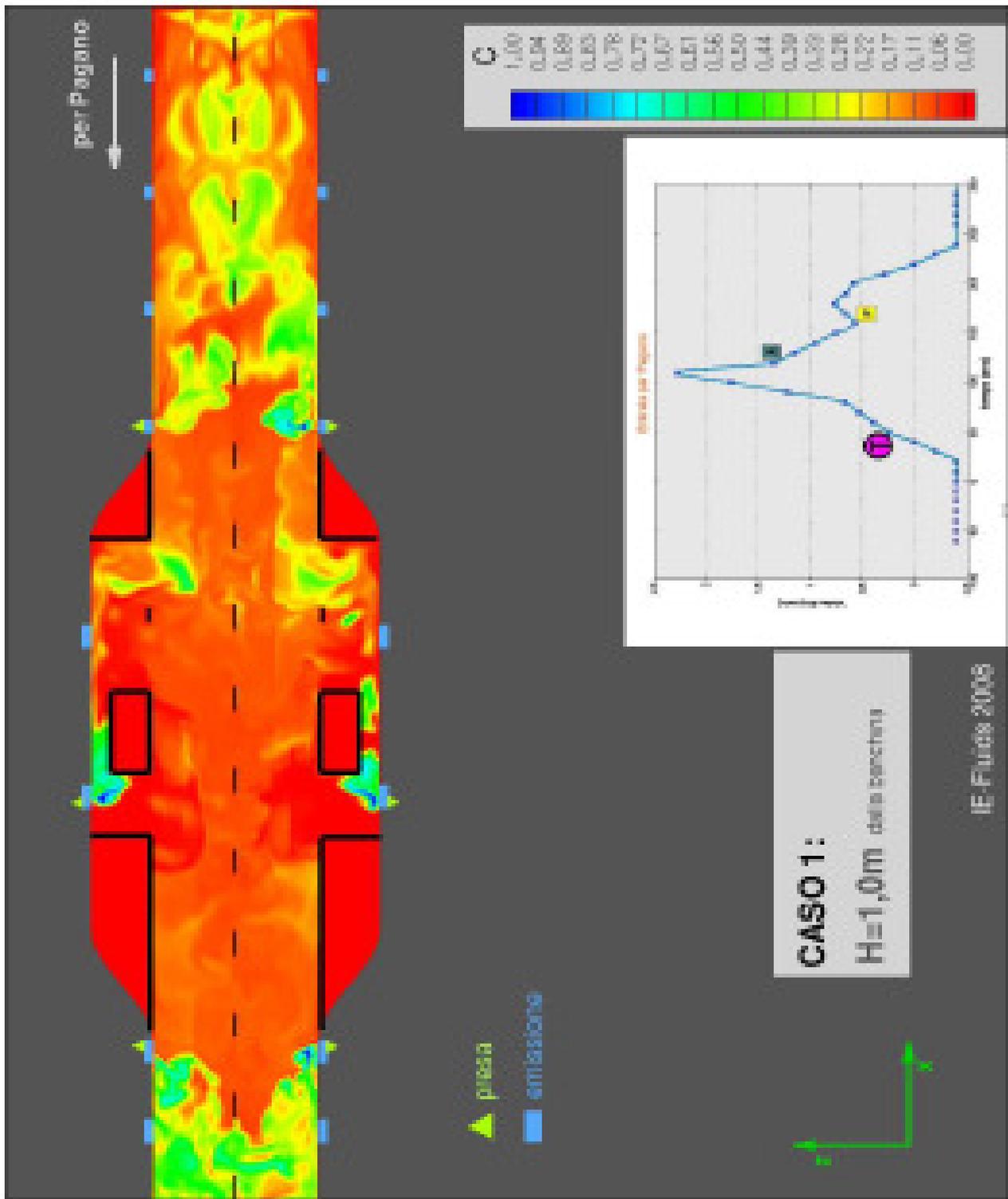


Figura 28: Caso 1: sezione orizzontale istantanea della concentrazione in volume d'aria trattata all'altezza di 1m dalla banchina. L'aria completamente depurata e quella a massima concentrazione di particelle sospese vengono contrassegnate con i valori di 1 e 0 (colori blu e rosso nella legenda), mentre le sezioni di restituzione e presa sono indicati con i rettangoli azzurri e i triangoli verdi in piccolo viene riportato il grafico della velocità al fine di individuare l'istante temporale al quale è relativo il grafico.1

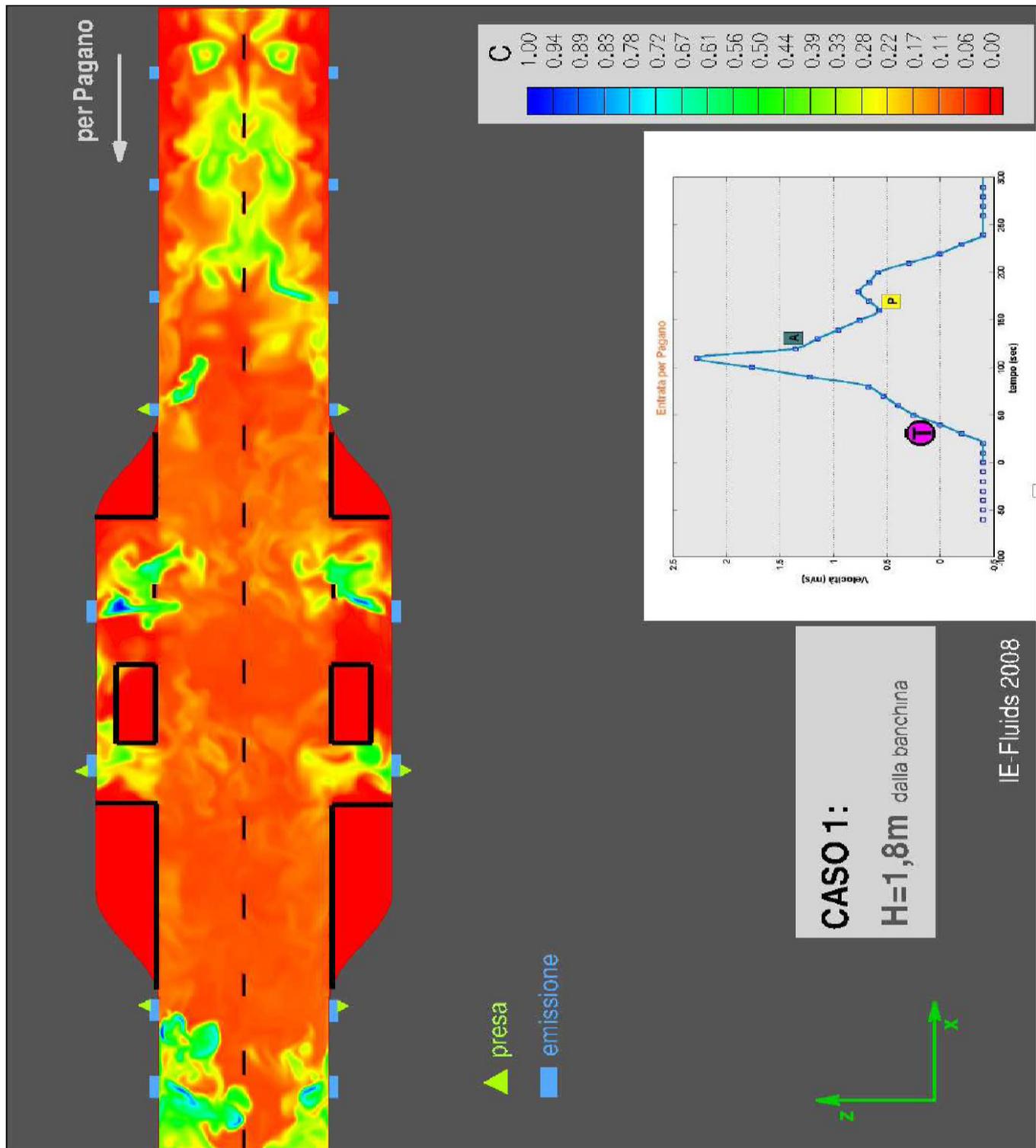


Figura 29: Caso 1: sezione orizzontale istantanea della concentrazione in volume d'aria trattata all'altezza di 1,8m dalla banchina. L'aria completamente depurata e quella a massima concentrazione di particelle sospese vengono contrassegnate con i valori di 1 e 0 (colori blu e rosso nella legenda), mentre le sezioni di restituzione e presa sono indicati con i rettangoli azzurri e i triangoli verdi in piccolo viene riportato il grafico della velocità al fine di individuare l'istante temporale al quale è relativo il grafico.18

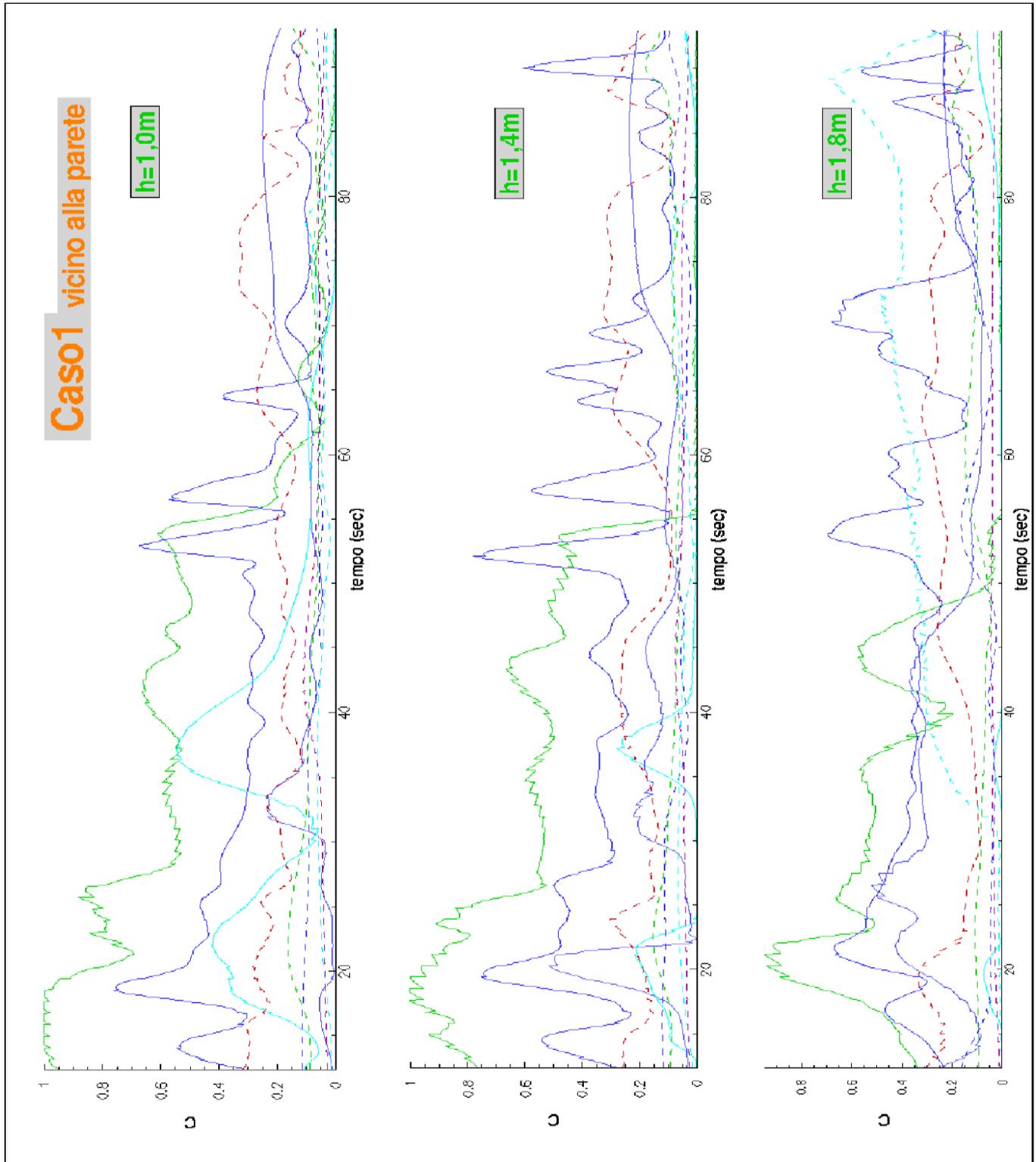


Figura 30: Caso 1: evoluzione temporale della concentrazione d'aria trattata ad una distanza di 50 cm dalla parete laterale longitudinale, in vari punti della stazione a tre altezze h diverse di 1, 1,4 ed 1,8m dalla banchina.

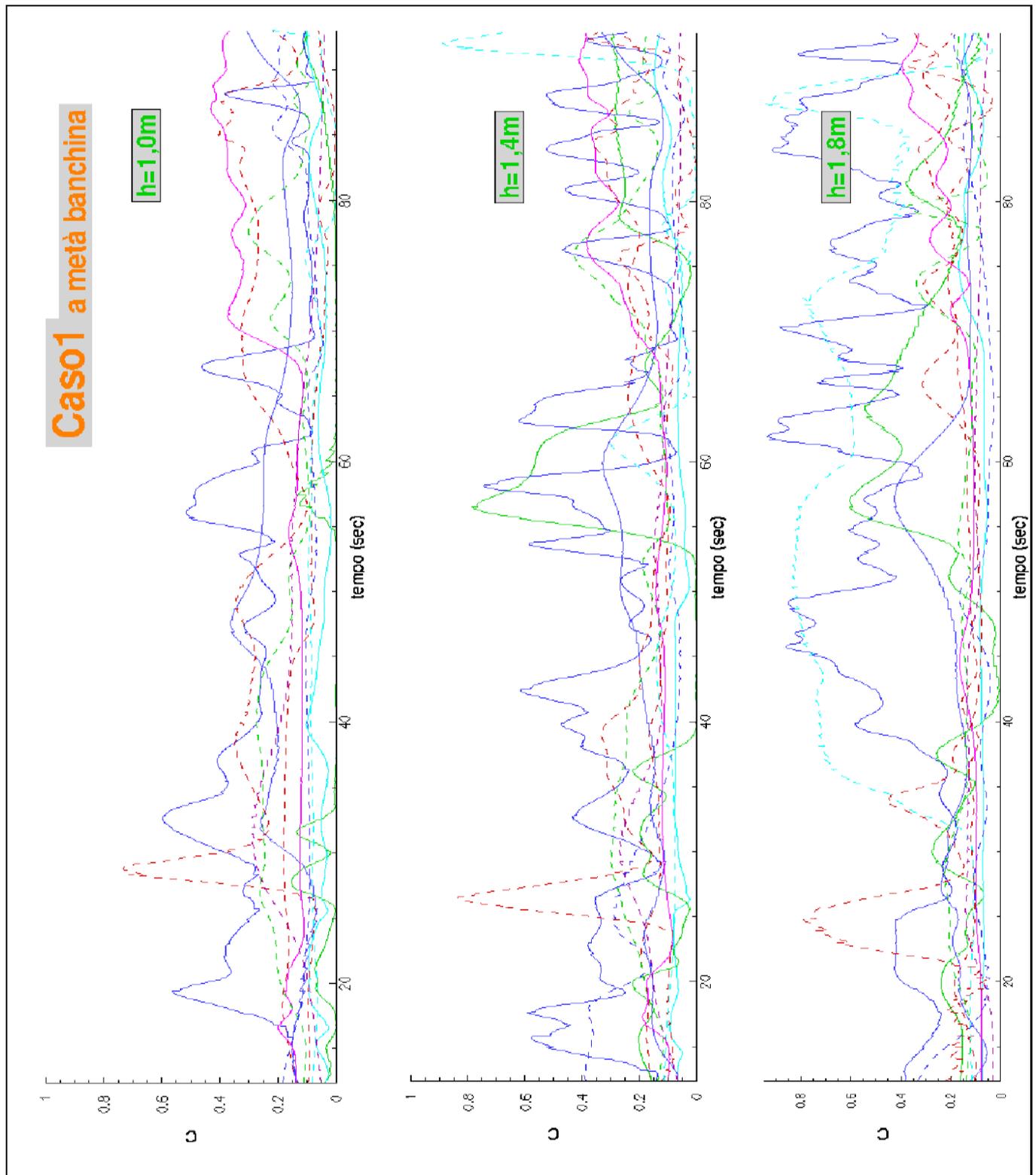
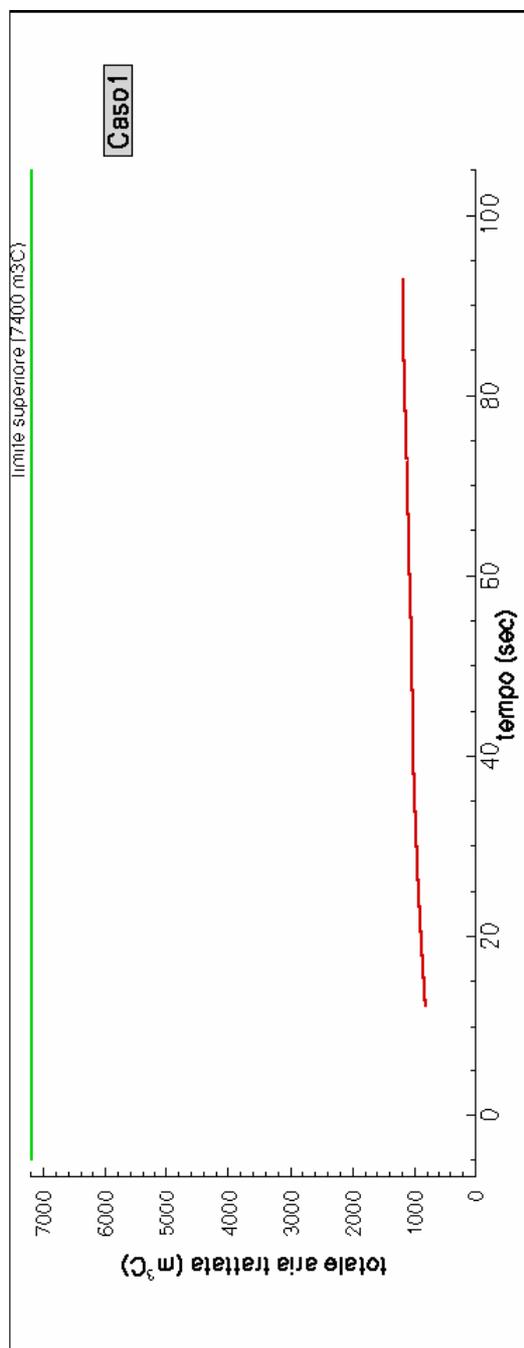


Figura 31: Caso 1: evoluzione temporale della concentrazione d'aria trattata ad una distanza di 1,5m dalla parete laterale longitudinale, in vari punti della stazione a tre altezze h diverse di 1, 1,4 ed 1,8m dalla banchina.

Figura 32: Caso 1: evoluzione temporale della quantit`a totale d'aria trattata all'interno della stazione. Viene segnato il limite massimo di 7400m3C. banchina si hanno valori di concentrazione d'aria trattata elevati.



La figura 32 riporta il grafico dell'andamento temporale in un intervallo dell'aria totale depurata all'interno della stazione.

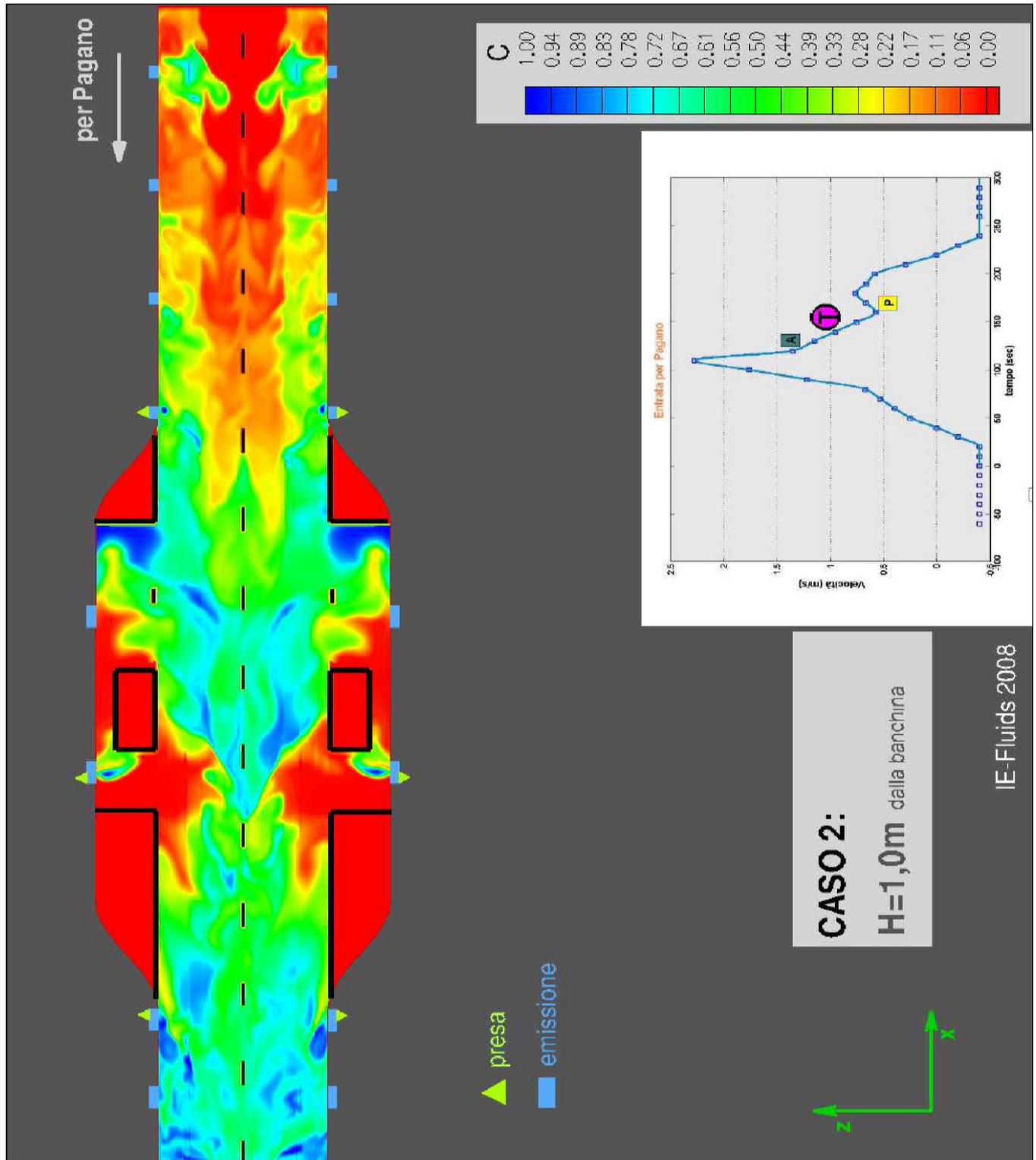


Figura 33: Caso 2: sezione orizzontale istantanea della concentrazione in volume d'aria trattata all'altezza di 1m dalla banchina. L'aria completamente depurata e quella a massima concentrazione di particelle sospese vengono contrassegnate con i valori di 1 e 0 (colori blu e rosso nella legenda), mentre le sezioni di restituzione e presa sono indicati con i rettangoli azzurri e i triangoli verdi in piccolo viene riportato il grafico della velocità al fine di individuare l'istante temporale al quale è relativo il grafico.2

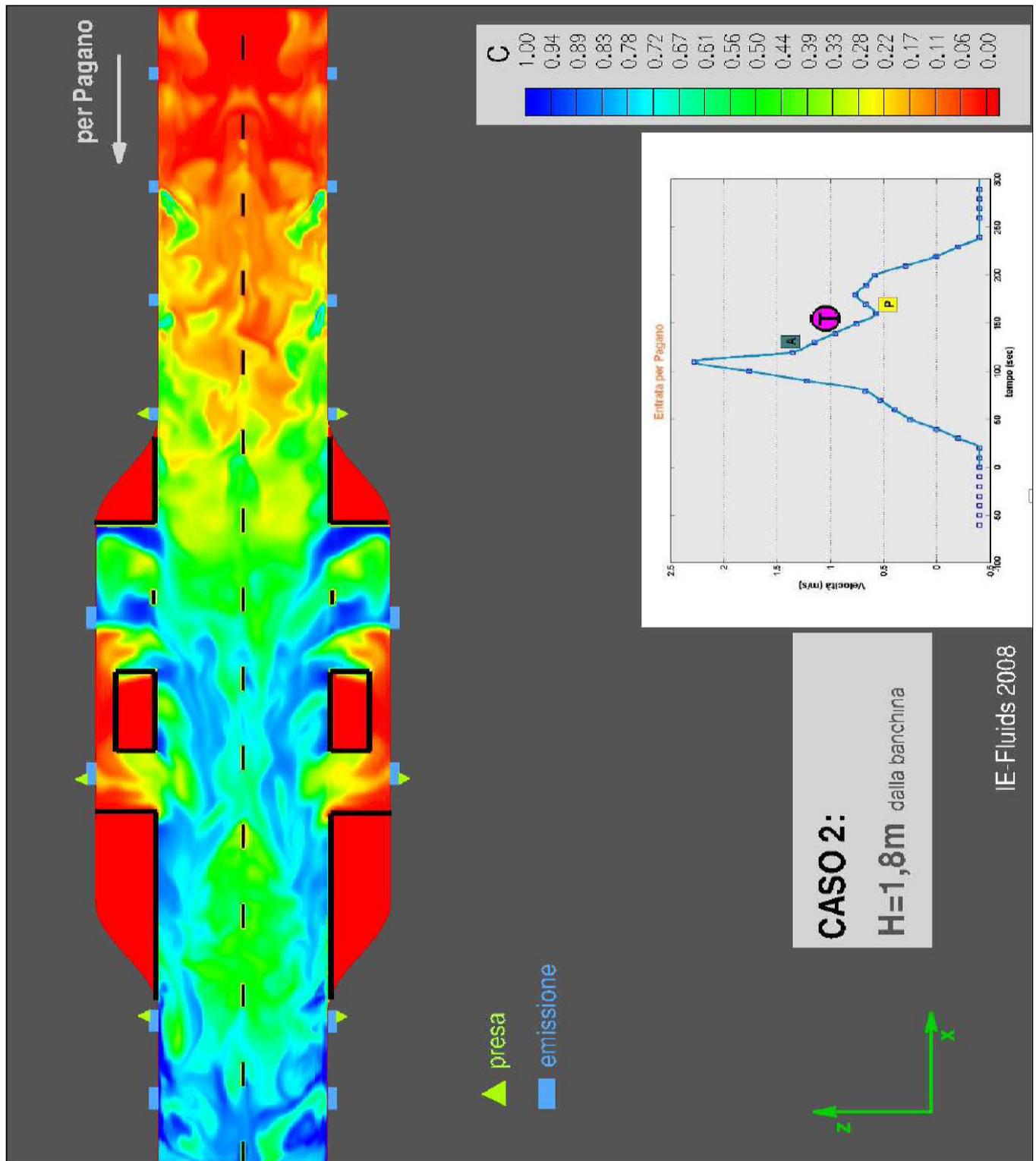


Figura 34: Caso 2: sezione orizzontale istantanea della concentrazione in volume d'aria trattata all'altezza di 1,8m dalla banchina. L'aria completamente depurata e quella a massima concentrazione di particelle sospese vengono contrassegnate con i valori di 1 e 0 (colori blu e rosso nella legenda), mentre le sezioni di restituzione e presa sono indicati con i rettangoli azzurri e i triangoli verdi. in piccolo viene riportato il grafico della velocità al fine di individuare l'istante temporale al quale è relativo il grafico.23

Caso2 vicino la parete

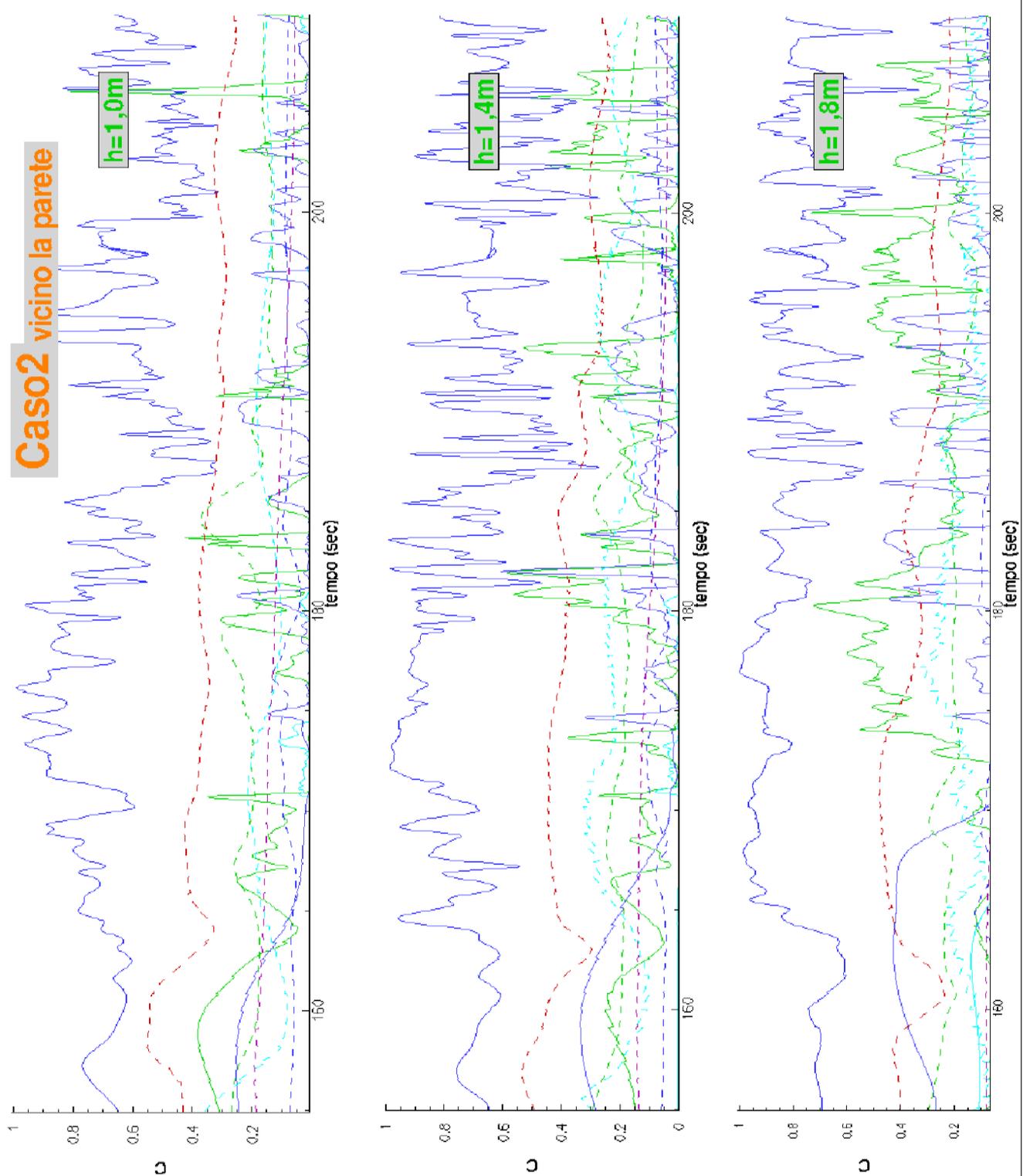


Figura 35: Caso 2: evoluzione temporale della concentrazione d'aria trattata ad una distanza di 50 cm dalla parete laterale longitudinale, in vari punti della stazione a tre altezze h diverse di 1, 1,4 ed 1,8m dalla banchina.

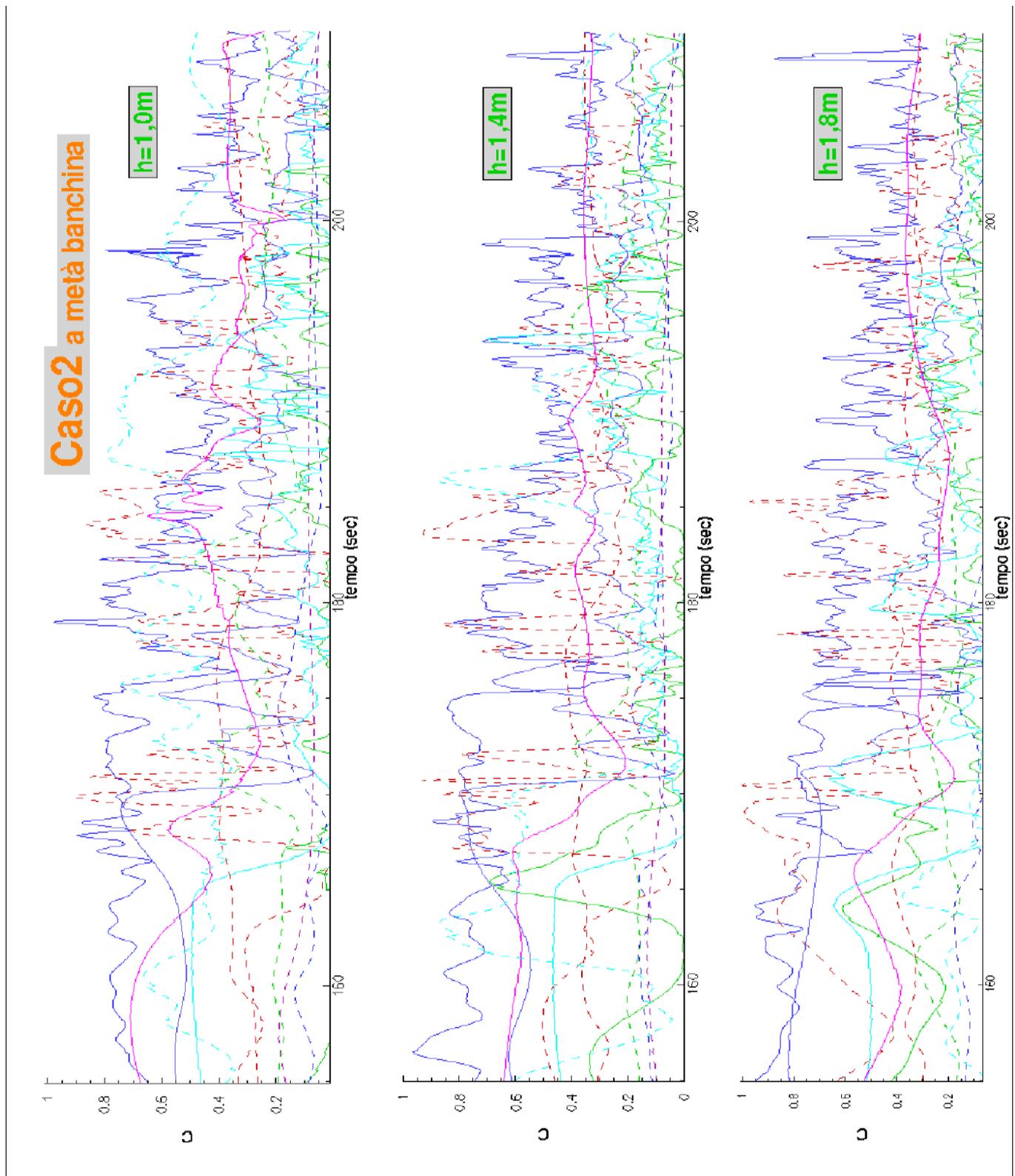


Figura 36: Caso 2: evoluzione temporale della concentrazione d'aria trattata ad una distanza di 1,5m dalla parete laterale longitudinale, in vari punti della stazione a tre altezze h diverse di 1, 1,4 ed 1,8m dalla banchina.

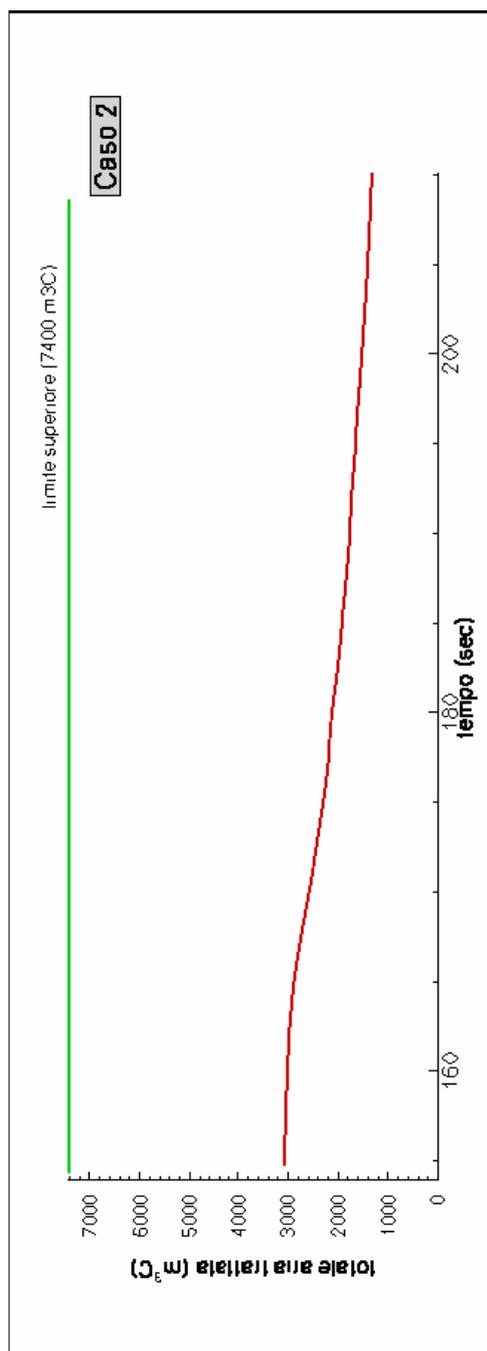


Figura 37: Caso 2: evoluzione temporale della quantità totale d'aria trattata all'interno della stazione. Viene segnato il limite massimo di 7400m³/C.

CONCLUSIONI

Risultati parziali della simulazione numerica

Sono state eseguite simulazioni numeriche di due condizioni iniziali di qualità dell'aria, considerando un ciclo completo di movimentazione aria dovuto all'arrivo/stazionamento/partenza di un treno proveniente da Pagano.

La simulazione è relativa ad un unico ciclo. Nel Caso 1, relativo a macchine messe in funzione in un ambiente con aria non trattata, si è considerato un tempo di funzionamento molto breve, dell'ordine dei 4 minuti, pari ad un ciclo di passaggio di un treno. Il tempo di simulazione è molto breve e quindi, c'è da aspettarsi che con un funzionamento a regime delle macchine (per esempio dopo un'ora di funzionamento in continuo) la percentuale d'aria trattata presente all'interno della stazione sia ben superiore a quella mostrata nella presente relazione. I risultati mostrati sono quindi conservativi, nel senso che le condizioni di funzionamento sono molto sfavorevoli. Il caso di condizione iniziale con aria completamente trattata, ottenibile azionando le macchine circa 10 minuti prima dell'inizio del ciclo di funzionamento giornaliero (inizio servizio), tenendo spenti durante le ore di sospensione del servizio gli estrattori di galleria in modo che non venga aspirata aria inquinata dall'esterno tramite i vani scala, costituisce una condizione molto favorevole di inizio prova.

E' stato considerato un numero di 6 macchine con portata da 7 200m³/h, con presa posta in basso e velocità pari a 4 m/s, e restituzione posta oltre i 2 metri d'altezza, con velocità pari a 1m/s con sezioni d'emissione distribuite in larghezza. Il posizionamento delle macchine è stato effettuato cercando di considerare differenti situazioni nelle varie parti della stazione, al fine di comprendere come effettuare il posizionamento finale. In particolare riguardo alla macchina contrassegnata con A è stata considerata un'emissione da due singole bocche di larghezza pari a 2 metri poste nella parte terminale sinistra della banchina.

Riguardo alla macchina contrassegnata con B è stata considerata un'emissione da due singole bocche di larghezza pari a 2 metri poste dietro al vano scale, mentre la macchina contrassegnata con C è stata posta nella parte destra della banchina con 4 bocche d'emissione, di larghezza pari ad 1 metro e distribuite lungo tutta la parte sinistra della banchina.

Le simulazioni hanno mostrato che:

- la quantità d'aria che entra dai vani scale è notevole e date le caratteristiche geometriche del sito, tende a scivolare in basso negli strati inferiori. L'aria trattata dalla macchina B tende a disporsi ad altezza uomo nella zona delle scale ed a confluire nell'area banchine.

- la movimentazione dell'aria dovuta al tiraggio continuo dei ventilatori posti all'interno delle gallerie e soprattutto al passaggio del treno tende a risucchiare verso le gallerie l'aria trattata. Ciò è particolarmente vero per la macchina A, che si trova ad emettere aria da due sole bocche poste verso la zona finale della stazione.
- la macchina C che emette da 4 bocche di 1 metro di larghezza è in grado di assicurare un abbattimento tra il 40 e il 60% lungo tutta la parte destra della banchina.

Le conclusioni di cui sopra sono ancora in fase di verifica finale. Sulla base dei risultati completi delle simulazioni e di una dettagliata analisi dei risultati si suggerirà una disposizione finale di macchine tale da garantire una distribuzione d'aria trattata diffusa nelle zone banchine e scale, con un abbattimento delle concentrazioni dell'ordine del 50% .

Progetto di fattibilità:

La simulazione numerica effettuata attraverso calcolatore ha valutato un numero di macchine attualmente a disposizione con i relativi volumi d'aria. In particolare sono state prese in considerazione i modelli già installati a piazzale Loreto e pensati appositamente per interni, seppure coadiuvati da una canalizzazione per la distribuzione uniforme dell'aria trattata sulle aree di attesa dei passeggeri ovvero sulle banchine.

Seppure in attesa dei risultati finali derivanti dal calcolo e verifica finale effettuati attraverso modelli numerici, i tecnici della systemlife hanno già valutato un progetto di fattibilità che prevede la realizzazione di un numero inferiore di macchinari seppure con le stesse caratteristiche e portata di quelle richieste dallo studio di simulazione.

L'obiettivo è quello di contenere i consumi energetici e al contempo consentire il trattamento degli stessi volumi d'aria necessari per contrastare efficacemente l'effetto delle turbolenze generate dall'arrivo e partenza dei treni.

Ipotesi preliminare di progetto

L'ipotesi iniziale di progetto inserita per la simulazione numerica ed elaborata dal calcolatore prevede la realizzazione di un sistema di filtrazione dell'aria composto da :

- N° 6 macchine modello aria
- bocchette di aspirazione al momento calcolate a 4m/s ma la cui velocità di aspirazione è ininfluente e pertanto potrebbe anche essere ridotta aumentando la sezione di aspirazione.
- Bocchette di espulsione dell'aria ad 1 m/s uniformemente distribuite lungo la banchina e comunque omeopaticamente posizionate in base ai dati del calcolatore di simulazione.

Rispetto a questi dati qualora fosse realizzata detta ipotesi avremmo i seguenti dati economici e di consumi

- N° 6 macchine modello aria dotate di relativo impianto di distribuzione aria trattata
- Caratteristiche di ogni macchina di filtrazione: 7.000 m³h aria trattata e potenza 3 kWh e potenza effettiva assorbita di circa 2,4 kWh per ogni ora di funzionamento
- Quantità di aria trattata totale pari a 42.000 m³h
- Consumi totali valutati ipotizzando l'attivazione delle macchine per circa 14 ore al giorno
 $2,4 \times 6 = 14,4 \text{ kWh}$ $14,4 \text{ kWh} \times 14 \text{ h} = 202 \text{ kWh/g}$ $202 \text{ kWh/g} \times 365 \text{ g/anno} = 73.730 \text{ kWh/anno}$

Valutando una concentrazione media, per tutto l'arco dell'anno, lungo le banchine di attesa, pari a circa 150 µg/m³ rispetto all'esterno considerato con una concentrazione media di circa 100 µg/m³, si può affermare che all'interno dell'area metropolitana si avrebbe una riduzione del 50 % delle concentrazioni di polveri che in questo caso risulterebbero inferiori al 30% rispetto a quelle esterne.

Inoltre per effetto degli estrattori l'aria depurata verrebbe immessa nell'ambiente urbano con una concentrazione inferiore rispetto alla media urbana.

Il valore economico dell'intero sistema in questo caso corrisponderebbe al valore di ogni singola macchina a cui andrebbe aggiunta la parte di canalizzazione e aggiunta di dispositivi speciali.



Ore	Minuti																				
6	28	32	38	41	43	48	52	55	58												
7	1	4	7	9	13	17	20	24	26	29	32	35	38	40	42	44	46	48	50	53	
8	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
9	0	2	4	6	9	11	13	16	18	21	23	26	28	31	34	37	40	43	46	49	
10	1	5	8	12	15	19	22	26	29	33	36	40	44	47	51	54	58				
11	1	5	8	12	15	19	23	26	30	33	37	40	44	47	51	54	58				
12	2	5	9	12	16	19	23	26	30	33	37	41	44	48	51	55	58				
13	2	5	9	12	16	20	23	27	30	34	37	41	44	48	51	55	59				
14	2	6	9	13	16	20	23	27	30	34	38	41	45	48	52	55	59				
15	2	6	9	13	16	20	24	27	31	34	38	41	45	48	52	56	59				
16	3	6	10	13	15	18	20	23	26	29	32	35	38	41	43	46	48	50	53	56	
17	0	2	4	7	9	11	13	15	17	20	22	24	26	28	30	33	35	37	39	42	
18	1	3	5	8	10	12	14	16	18	21	23	25	27	29	31	34	36	38	40	42	
19	2	4	7	9	12	15	18	20	23	25	28	31	35	38	42	44	47	50	53	55	
20	2	5	8	11	15	18	21	25	30	35	40	45	50	56							
21	3	11	18	26	33	41	48	56													
22	3	11	18	26	33	41	48	56													
23	3	11	18	26	33	41	48	56													
0	3	11	18	26																	

Orario 3 : stazione lima

Per il dimensionamento si è valutato il numero dei passaggi dei treni su ambo i lati dalle banchine ovvero Direzione Bisceglie e direzione Rho Fiera Milano rispettivamente 167 treni nell’arco della giornata e 158 treni giorno nell’altra direzione per un valore medio di 162 transiti che richiedono l’attivazione di tutte le macchine che fornisce i seguenti valori :

162 transiti x 4m = 648 m/giorno → 648m : 60 m = 10,48 ore

Calcolando l’attivazione delle macchine 1 ora prima dell’apertura della stazione della metropolitana, con gli estrattori di galleria fermi durante la sospensione del servizio per evitare il reintegro di aria inquinata dall’esterno, possiamo valutare l’attivazione per una durata complessiva di 12 ore .

Progetto di fattibilità

Ipotesi di progetto composto da 4 motori che alimentano n°4 macchine di filtrazione delle polveri aventi le medesime caratteristiche di filtrazione dei modelli “Aria “ con le seguenti caratteristiche:

- N° 4 motori speciali dotati di inverter per l'alimentazione di 4 sistemi di filtrazione poste 2 su ogni banchina dotate di relativo impianto di distribuzione d'aria trattata
- Bocchette di aspirazione calcolate a circa 2 m/s
- Bocchette di espulsione dell'aria ad 1 m/s uniformemente distribuite lungo la banchina e comunque omeopaticamente posizionate in base ai dati del calcolatore di simulazione.
- Quantità totale di aria filtrata pari a 42.000 m³h
- Potenza dei motori pari a 3kWh ma effettiva potenza assorbita pari a 2,5 kWh ovvero 10 kWh totali
- Consumi totali rivalutati considerando l'effettivo transito dei treni e l'attivazione valutati ipotizzando l'attivazione continua delle macchine per circa 12 ore al giorno

$$10 \text{ kWh} \times 12\text{h} = 120 \text{ kWh/g} \quad 120 \text{ kWh/giorno} \times 365\text{g} = 43.800 \text{ kWh /anno}$$

Considerando una media che valuti anche i giorni feriali e prefestivi si può valutare un consumo giornaliero pari a :

$$120 \text{ kWh/giorno}$$

Calcolando che durante la notte, per ridurre seppure solo del 5% l'inquinamento interno, vengono comunque mantenuti in attività almeno n°2 camere di ventilazione per una potenza totale installata pari a circa 36 kWh, per ottimizzare l'azione delle macchine di filtrazione d'aria e i consumi si potrebbe ipotizzare quanto segue:

- spegnimento N°2 camere di ventilazione dalle ore 1.00 alle ore 06.00 della mattina
- riduzione dei consumi per mancato funzionamento degli estrattori pari a :

$$36 \text{ kW} \times 5 \text{ h} = 180 \text{ kWh}$$

Energia consumata dal sistema di filtrazione = 120 kWh/giorno

Energia risparmiata per spegnimento estrattori = 180 kWh/giorno

Con bilancio minimo di riduzione dei consumi pari a 60kWh/giorno

Nel caso in cui fosse comunque installato un impianto fotovoltaico pari a circa 37. kWp con una resa di circa 1200 kwh/anno pari a su una superficie di circa 259 mq a fronte dell'investimento per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico di circa 203.500 € si potrebbe avere una rendita annua di circa il 9% per 20 anni.

Inoltre attivando il sistema filtrante un ora prima dell'apertura della metropolitana, con le camere di ventilazione ferme durante il periodo di sospensione del servizio notturno, si avrebbe la depurazione dell'aria di circa l'85% dalle polveri sottili presenti all'interno della banchina della stazione metropolitana.

Da tenere in considerazione l'azione sinergica da parte degli estrattori collegati quella specifica stazione che proprio nelle prime ore della mattina potrebbero immettere aria depurata del 85% nel contesto urbano esterno contribuendo all'azione di mitigazione delle polveri sottili e inquinamento urbano., invece di espellere aria con elevate concentrazioni di polveri durante le ore notturne senza tuttavia poter fornire un valido contributo alla riduzione delle polveri in ambiente metropolitano

Valutando quindi una concentrazione media nelle stazioni della metropolitana, per tutto l'arco dell'anno, pari a circa 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, attivando il sistema di filtrazione, si avrebbe nelle prime ore del mattino una concentrazione di polveri pari a 22,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ che immessa all'esterno nell'abito urbano (considerato con una concentrazione media di circa 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), potrebbe corrispondere ad un abbattimento di circa 80%.

L'intero sistema inoltre richiede un estremo dettaglio e l'utilizzo di motori e dispositivi in grado di ottimizzare l'applicazione e i risultati attesi così come configurati dallo studio di simulazione fluidodinamica.

Per tale ragione si preferisce non riportare nel presente documento, alcun riferimento al valore economico del sistema di filtrazione che al momento potrebbe essere valutato solo approssimativamente, ovvero in maniera errata, senza un progetto di massima in grado di definire le apparecchiature e dispositivi principali per ottenere una maggiore compattazione delle macchine e la sincronizzazione con le attività interne alla metropolitana; che sarà approntato qualora l'ATM sottoscriverà un accordo d'interesse per lo sviluppo del nostro sistema di filtrazione .

Ovviamente e previo condivisione degli intenti da parte del soggetto interessato il costo della prima stazione filtrante sarà valutato anche in relazione alla quantità globale degli interventi da realizzare seppure diluiti in un arco temporale a medio termine.

PROPOSTA

Tenuto conto che systemlife è azienda leader nel settore della depurazione delle polveri sottili in ambito urbano e semiconfinato; che ha altresì sviluppato una conoscenza specifica e scientifica di tutte le problematiche connesse al trattamento dell'aria anche in ambiente metropolitano; che ha finanziato uno studio specifico delle problematiche connesse all'ambiente metropolitano di Milano avviando rapporti di collaborazione con studiosi del settore ed in particolare ha incaricato l'università di Trieste dipartimento di Chimica e dipartimento di Ingegneria per un accurata indagine conoscitiva e cognitiva di tutte le componenti che determinano elevate concentrazioni di polveri sottili all'interno delle stazioni metropolitane e ha altresì commissionato uno studio per l'elaborazione di un modello numerico in grado di delineare esattamente la tipologia di sistema filtrante in grado di produrre benefici con significativa riduzione delle polveri sottili proprio nei luoghi di attesa dei passeggeri per salvaguardare la salute dei fruitori ma anche del personale; tutto ciò considerato e valutando che ad oggi gli importi di spesa ammontano a circa 60.000 € per le varie attività di seguito descritte :

- trasporto e installazione sistema filtrante nella stazione di Piazzale Loreto
- verifica e rilevazioni per la durata di 4 giorni con n°4 tecnici
- prime elaborazioni dei dati con relativo impegno di 2 tecnici
- prelievo e trasporto in sede della prima stazione filtrante
- rilievi della durata di n°2 giorni presso le stazioni metropolitane di Loreto/ Venezia / Lima
- incarico per la definizione di procedure per rilievi strumentali, metrici e fluidodinamici
- indagini in loco della durata di 4 giorni.
- Elaborazione dei dati strumentali, elaborazione del modello tridimensionale della stazione Lima

- Elaborazione fluidodinamica con calcolatore per definire tutte le circostanze al contorno e l'andamento delle turbolenze generate dal passaggio dei treni e dell'ingresso dell'aria esterna.
- Incontri e confronti con tavoli trasversali tra gli esperti incaricati .
- Attività di coordinamento

Tutto ciò considerando

Si propone un incontro congiunto con i tecnici e amministratori ATM per proporre e sottoscrivere un contratto tra le parti per la realizzazione di un primo progetto sperimentale da realizzarsi proprio nel caso studio della “stazione Lima “ con il quale systemlife si impegna a presentare un progetto fondato sul modello numerico che verrà esattamente definito negli obiettivi e nei costi, realizzato inizialmente a totale suo carico e a fornire tutta la strumentazione necessaria per le verifiche dei risultati, mentre ATM dal conto suo oltre ad impegnarsi a corrispondere quanto definito come importo di spesa per la realizzazione del primo caso studio solo a raggiungimento degli obiettivi fissati dal modello numerico, si impegna anche (sempre a verifica dei risultati attesi) a replicare e commissionare a systemlife sistemi di depurazione dell'aria in almeno ¼ delle stazioni della metropolitana di Milano in un arco temporale variabile .

Data 23 gennaio 2009

systemlife S.r.l.
Dir. Comunicazione e marketing
Arch. Paola Basso

