

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTIRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO**

**Lotto 1: Fiumefreddo(i) -Taormina (i)**

**Effetti aerodinamici nella stazione di Taormina**

SCALA:



COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    PROGR.    REV.

**R S 2 S    0 1    D    0 9    C L    S C 0 0 0 2    0 0 1    A**

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorezzato	Data
A	Emissione esecutiva	M. MARBIERI	Marzo 2018	A. VITTOZZI	Marzo 2018	P. CARLESIMO	Marzo 2018	A. VITTOZZI	

ITALFERR S.p.A.  
 U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti  
 Dott. Ing. Angelo Vittozzi  
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Reggio Calabria  
 N° A20783

File: RS2S01D09CLSC0002001A

n. Elab.: 42-2

# Effetti aerodinamici nella stazione di Taormina

---

## Introduzione

In questo documento vengono riportati i risultati ottenuti per il calcolo della corrente generata dal passaggio di convogli all'interno della stazione sotterranea di Taormina. Tali risultati sono volti all'individuazione dei massimi valori di velocità dell'aria e di variazione di pressione raggiunti sulla banchina al fine di individuare eventuali situazioni non confortevoli.

Lo studio è stato eseguito mediante l'utilizzo di un software CFD in grado di integrare nello spazio e nel tempo le equazioni fluidodinamiche che governano il fenomeno.

## Basi teoriche del fenomeno

Un treno, durante il suo moto, è soggetto ad una resistenza all'avanzamento prodotta sia dall'attrito dell'aria che lambisce la sua superficie esterna che dallo sbilanciamento della pressione tra la testa e la coda del treno. Tale resistenza ha come effetto il trascinamento dell'aria generando una corrente nella stessa direzione del treno. All'interno di un tunnel, il fenomeno risulta più complesso in quanto aumenta la resistenza all'avanzamento del treno e le perturbazioni di pressione generate, propagandosi in avanti e indietro lungo il tunnel, interagiscono tra loro modificando le caratteristiche del flusso d'aria e generando sovrappressioni e depressioni.

## Scenari

La stazione sotterranea di Taormina è composta da un "camerone" lungo circa 423m dove, a lato dei due binari, sono disposte le banchine di attesa. Le estremità delle banchine sono inibite alla presenza dei passeggeri per una lunghezza di 35m circa. Il camerone è collegato con l'esterno attraverso una serie di condotti pedonali protetti da porte tagliafuoco. Oltre ai condotti pedonali ci sono diversi sistemi di areazione e due pozzi di equilibratura delle pressioni previsti a monte e a valle della stazione. Per valutare correttamente eventuali velocità e variazione di pressione sulla banchina sulla banchina, si è considerato il caso più gravoso a livello fluidodinamico ovvero quello in cui tutte le porte tagliafuoco sono chiuse e, sul binario adiacente a quello ove transita il treno, ci sia un altro convoglio fermo.

## Modelli

Per poter eseguire delle simulazioni fluidodinamiche 3D è necessario disporre dei modelli virtuali degli oggetti presenti nello scenario di interesse. Nel caso in esame sono stati utilizzati i modelli della stazione partendo dai progetti architettonico ed impiantistico.

## Stazione

La stazione di Taormina è stata disegnata in 3D per fini progettuali e comprende tutti gli elementi realmente presenti quali: gallerie pedonali, colonne ascensori, condotti di aerazione, impianti tecnici e pozzi di equilibratura. La figura 1 illustra il modello tridimensionale della stazione evidenziando il camerone, i pozzi di equilibratura e le sezioni di tutti gli altri tunnel e condotti che la compongono.

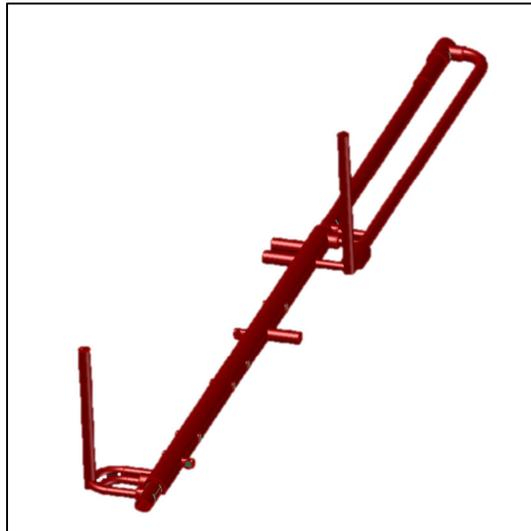


Figura 1: Modello 3D della stazione di Taormina.

La figura 2 mostra una sezione tipo del camerone riportante la posizione delle banchine, dei binari e degli impianti tecnici presenti.

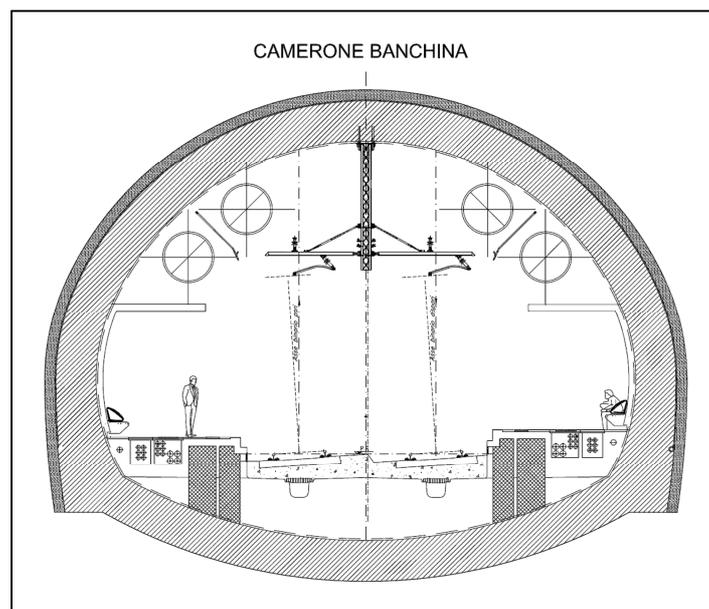


Figura 2: Sezione tipo del camerone.

L'interesse del presente studio è focalizzato all'individuazione delle massime velocità dell'aria e variazioni di pressione registrate sulla banchina durante il passaggio del treno, per questo motivo tutti gli elementi architettonici e impiantistici non rilevanti ai fini fluidodinamici sono stati eliminati. Similmente tutti i condotti protetti da sistemi tagliafuoco sono stati considerati chiusi. La stazione così semplificata è costituita solo dal camerone, dai tratti di galleria di ingresso e uscita dalla stazione e dai due pozzi di equilibratura delle pressioni. Le figure seguenti illustrano il modello semplificato.

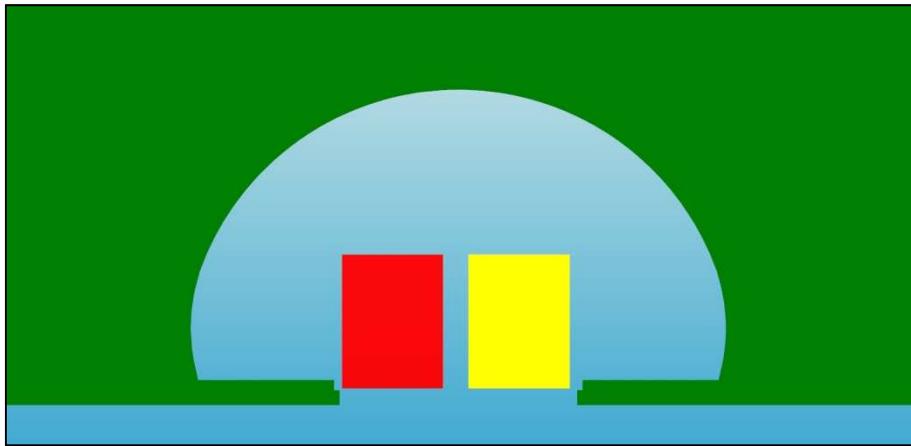


Figura 3: Sezione del camerone semplificata. In rosso il treno in movimento, in giallo il treno fermo in banchina.

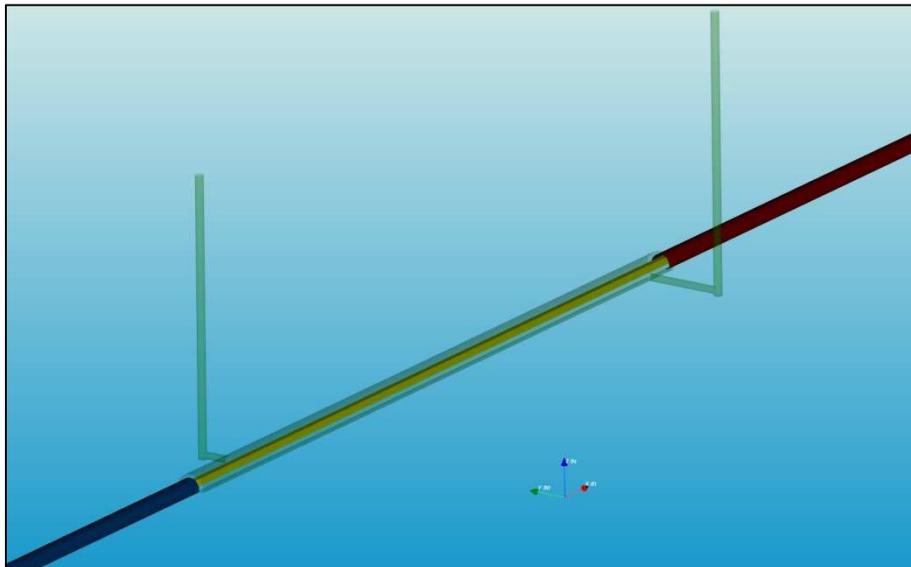


Figura 4: Modello 3D semplificato della stazione. Sono visibili i pozzi posizionati all'estremità del camerone. In rosso è rappresentato il tunnel di ingresso del treno, in blu quello di uscita. La trasparenza del camerone permette di individuare il treno fermo.

## Treni

All'interno della stazione di Taormina è prevista, ovviamente, sia la fermata che il transito dei treni. Nello studio fluidodinamico è stato tenuto conto di tale circostanza eseguendo delle prove con un modello di

	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO</b> Lotto 2: Taormina (e) - Giampilieri (e)					
<i>Effetti aerodinamici nella stazione di Taormina</i>	COMMESSA <b>RS2S</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>D 09 CL</b>	DOCUMENTO <b>SC 00 02 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>5 di 13</b>

treno generico la cui sezione interpola per eccesso (maggiore di circa il 25%) sia quella di un treno merci che quella di un treno passeggeri. Tale sagoma, formata essenzialmente da un parallelepipedo di 12m<sup>2</sup> di sezione, è più cautelativa in quanto l'assenza di rifiniture aerodinamiche genererà correnti d'aria e gradienti di pressione più severi. L'estensione del modello, pari a 525m, permette di simulare in modo ottimale un treno merci. Inoltre, l'estensione del modello, superiore alla lunghezza del camerone, permette di ridurre al massimo il volume d'aria disponibile all'interno della stazione generando delle condizioni più gravose.

La stessa sagoma è stata utilizzata per il treno fermo in banchina.

## Simulazione

Per simulare i flussi d'aria e l'andamento delle pressioni lungo la banchina si è fatto ricorso ad un programma di fluidodinamica computazionale (CFD) che, una volta discretizzato l'intero dominio di calcolo, composto da camerone, pozzi di equilibratura, tunnel di ingresso e uscita e ambiente esterno, in volumi finiti provvede ad integrare le equazioni differenziali che governano il fenomeno. La discretizzazione del dominio in volumi finiti è stata effettuata cercando di ottimizzare il più possibile i tempi di calcolo, rendendo la suddivisione più fitta sia nelle zone ove i gradienti di pressione e velocità sono plausibilmente più elevati che lungo le banchine dove dovranno essere valutati i risultati. Tale ottimizzazione è necessaria per contenere i tempi di calcolo entro limiti ingegneristicamente accettabili. Il software infatti, per garantire la soluzione, deve risolvere un sistema di equazioni non lineari, composto da almeno 5 equazioni per ogni volume finito, per ogni time-step di calcolo. A riferimento, il nostro dominio, composto da circa 4 milioni di elementi.

Le simulazioni sono state eseguite per due diverse velocità del treno in transito: 120 km/h e 80km/h.

## Risultati

I risultati delle simulazioni sono stati valutati in termini di velocità dell'aria e di variazione temporale della pressione. Le immagini riportate in figura 5 mostrano il campo di velocità all'interno del camerone in diversi istanti di tempo per la simulazione con treno in transito a 120km/h.

Data la complessità del campo di velocità – similmente accade per la pressione – sono stati presi in considerazione dei punti di misura univoci, indicati dal documento *“Metodologia per la valutazione degli effetti aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina”* – RS2S 01 D 97 RH SC0002 001 A, dai quali estrarre i dati di velocità e pressione per tutta l'estensione della banchina. Ovviamente, come accennato in precedenza, le estremità della banchina, per una lunghezza di 35m, non essendo accessibili da passeggeri sono state escluse dall'analisi dei risultati.

I punti di lettura definiti sono i seguenti:

- **Punto A:** a quota 1.4m dal PF e distanza di 3m dall'asse binario;
- **Punto B:** in corrispondenza della linea gialla (2.5m dall'asse binario) e alla quota di 1.4m dal PF;
- **Punto C:** a 3m dall'asse binario e alla quota di 2.05m dal PF;
- **Punto D:** alla quota di 2.05m e 2.5m dall'asse binario (linea gialla).

La figura 6 raffigura le zone di lettura all'interno della sezione del camerone.

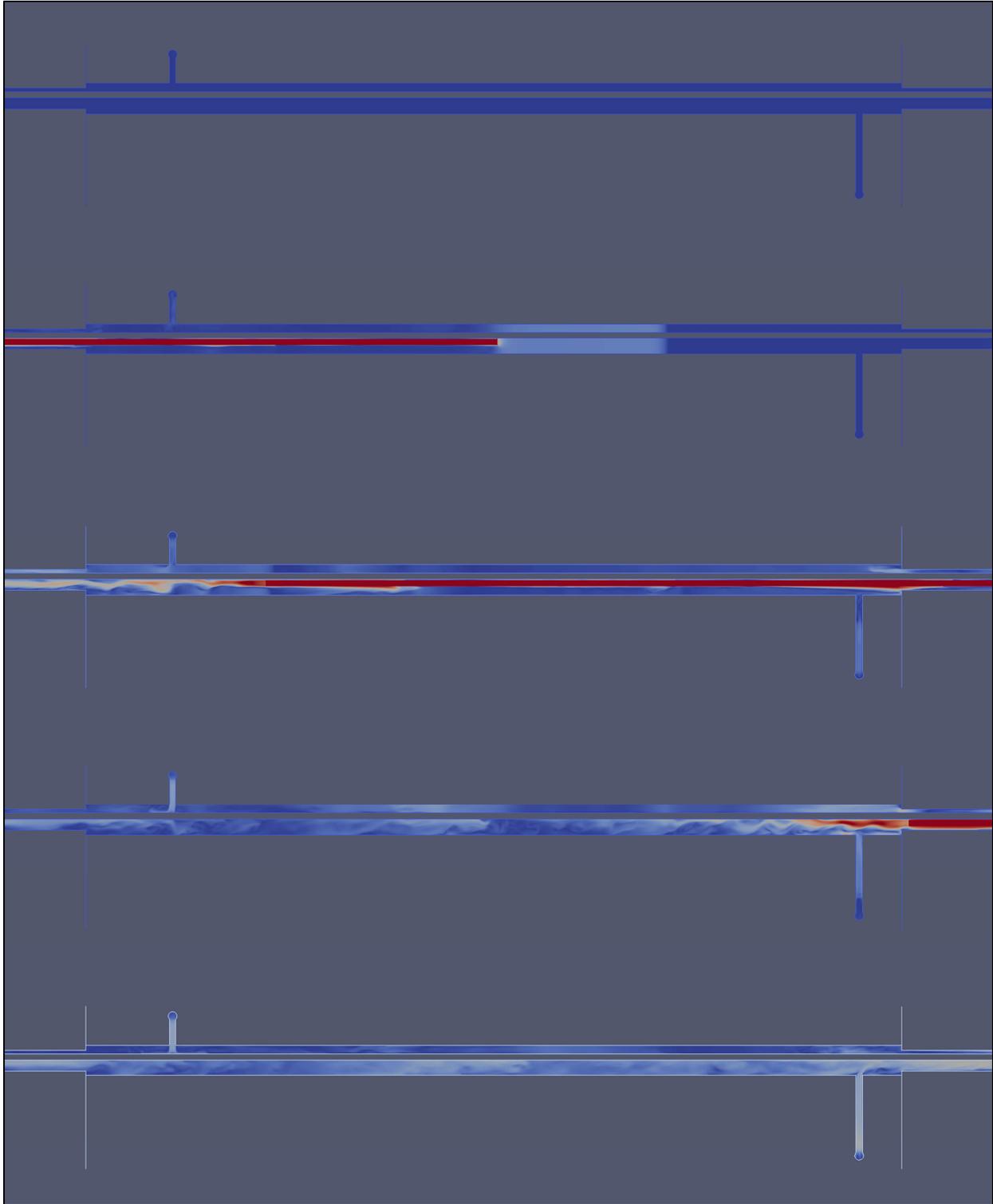
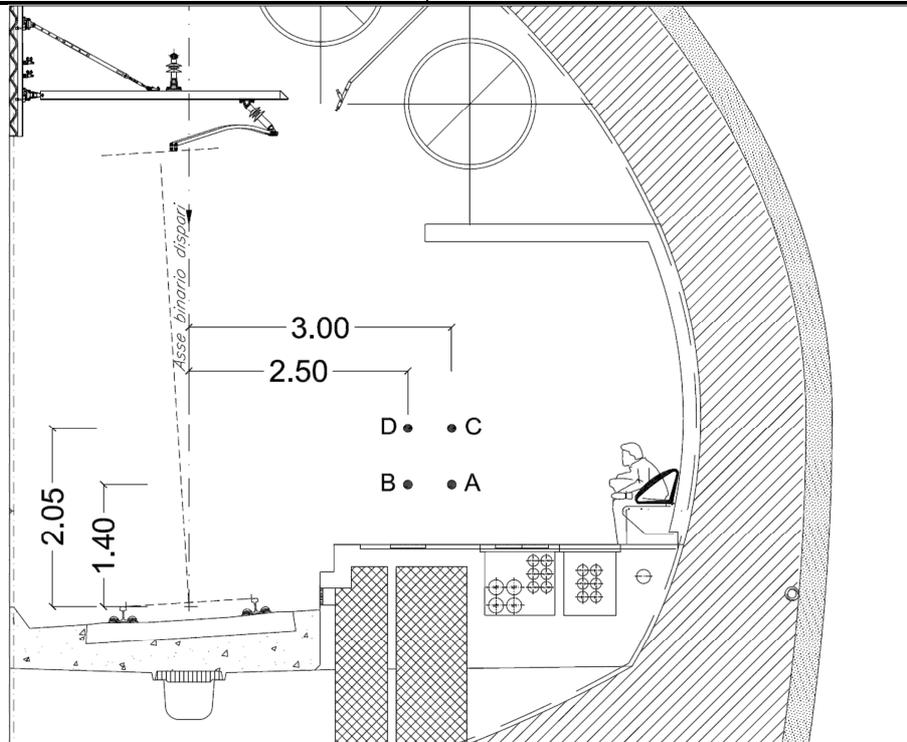
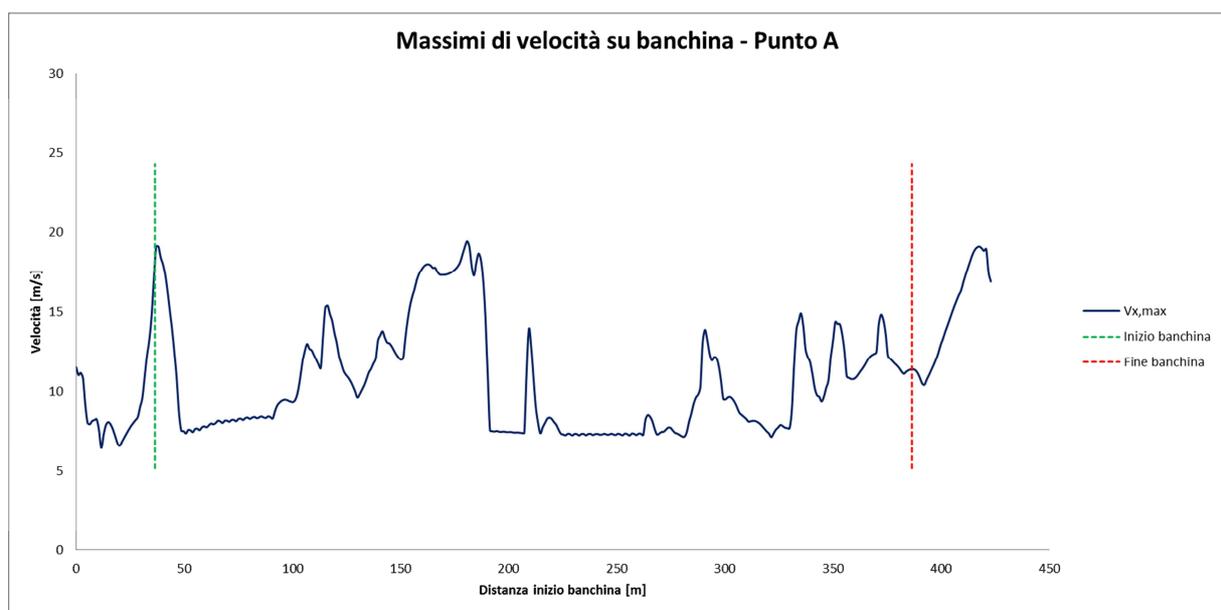


Figura 5: Campi di velocità nel camerone in diversi istanti di tempo al passaggio del treno –  $V_{\text{treno}}=120\text{km/h}$



**Figura 6: Punti di misura**

Per ogni punto individuato sono stati analizzati i valori massimi di velocità, in funzione del tempo, raggiunti lungo tutta la banchina. Tali risultati, relativi al transito del treno a 120 km/h, sono riportati nei grafici seguenti:



**Figura 7: Andamento dei massimi valori di velocità registrati lungo la banchina in corrispondenza del "punto A".**

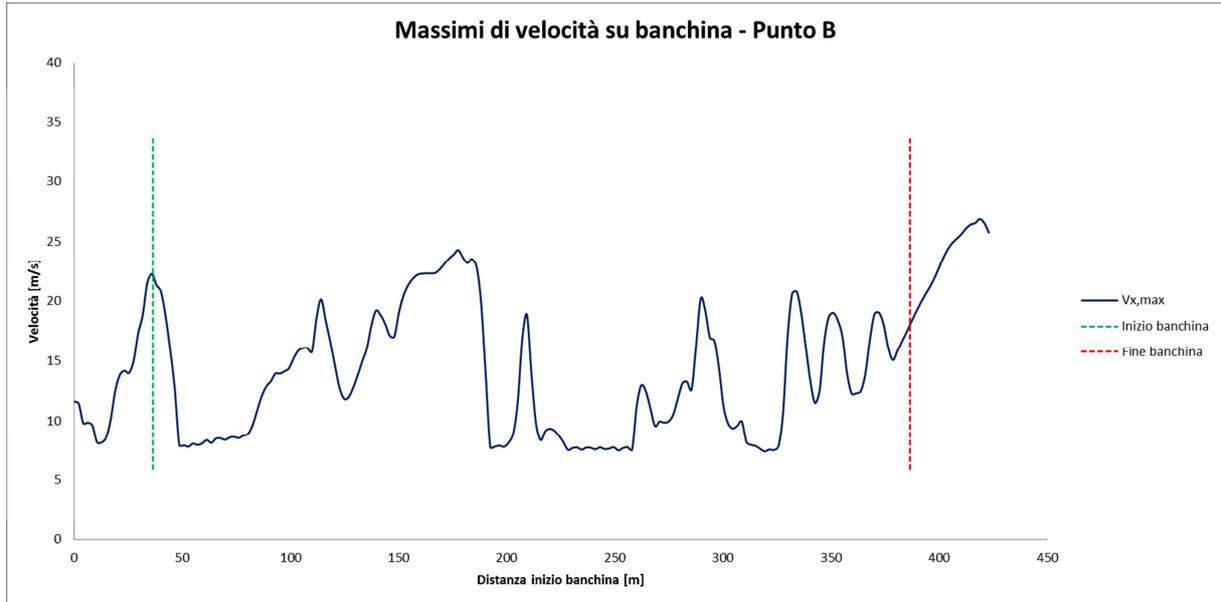


Figura 8: Andamento dei massimi valori di velocità registrati lungo la banchina in corrispondenza del "punto B".

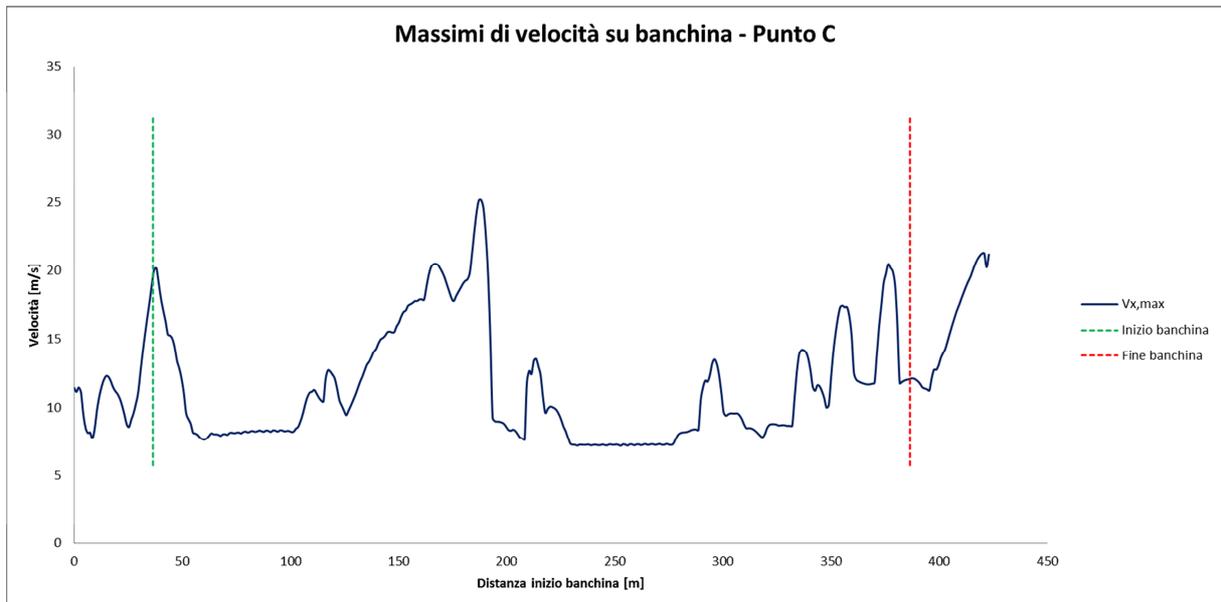


Figura 9: Andamento dei massimi valori di velocità registrati lungo la banchina in corrispondenza del "punto C".

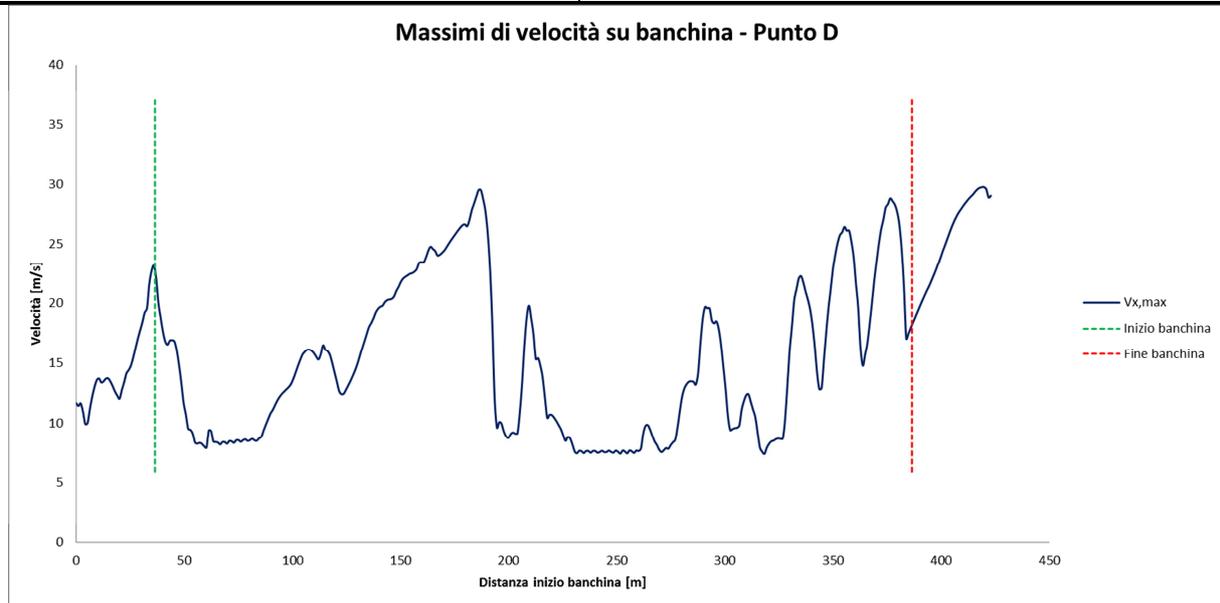


Figura 10: Andamento dei massimi valori di velocità registrati lungo la banchina in corrispondenza del "punto D".

I valori numerici relativi ai massimi assoluti sono riportati nella seguente tabella:

Punto	Velocità massima <i>m/s</i>	Posizione da inizio banchina <i>m</i>
A	19.43	180.8
B	24.30	177.7
C	25.18	188.2
D	29.52	186.1

La valutazione della variazione temporale della pressione (mediata con un filtro a media mobile di 1s) è stata analizzata in quattro punti significativi lungo la banchina: inizio, centro e fine banchina e nella zona di lettura della velocità massima.

I risultati di queste letture (relative al punto A) sono riportate nella seguente tabella. Come prevedibile le variazioni temporali della pressione non mostrano variazioni significative lungo la banchina. Pertanto il punto in cui si ha la velocità massima è rappresentativo anche per quanto riguarda la pressione.

Distanza da inizio banchina <i>m</i>	$\Delta p/\Delta t$ massimo <i>Pa/s</i>
36	282
180	529
211	458
385	552

Considerazioni analoghe possono essere fatte per i punti B, C e D.

Nei punti dove sono stati registrati i massimi assoluti è stato valutato anche l'andamento temporale della velocità con i relativi valori di raffica mediate con finestra di 1s. I grafici riportati di seguito mostrano tali andamenti ( $V_{\text{treno}}=120\text{km/h}$ ).

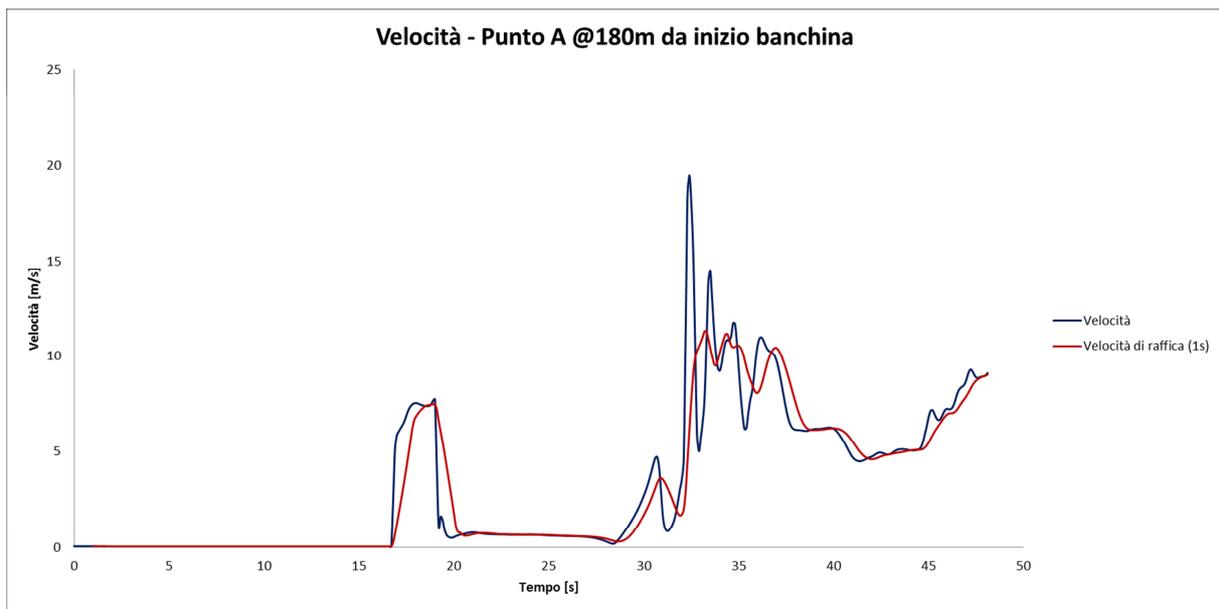


Figura 11: Velocità nel punto A a distanza di 180m dall'inizio della banchina

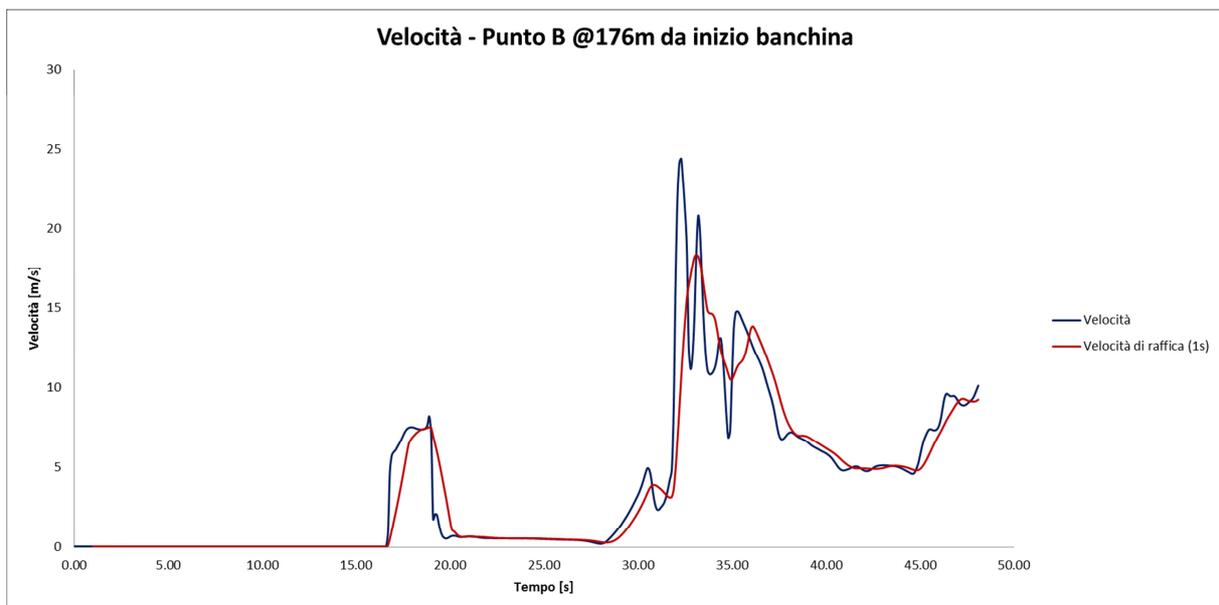
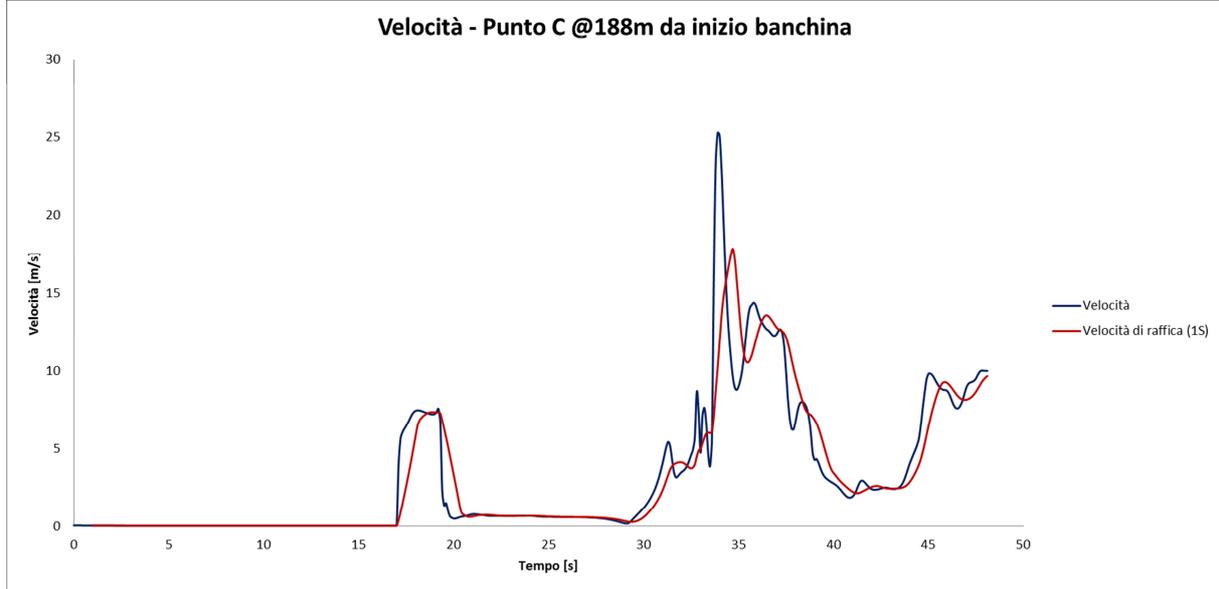
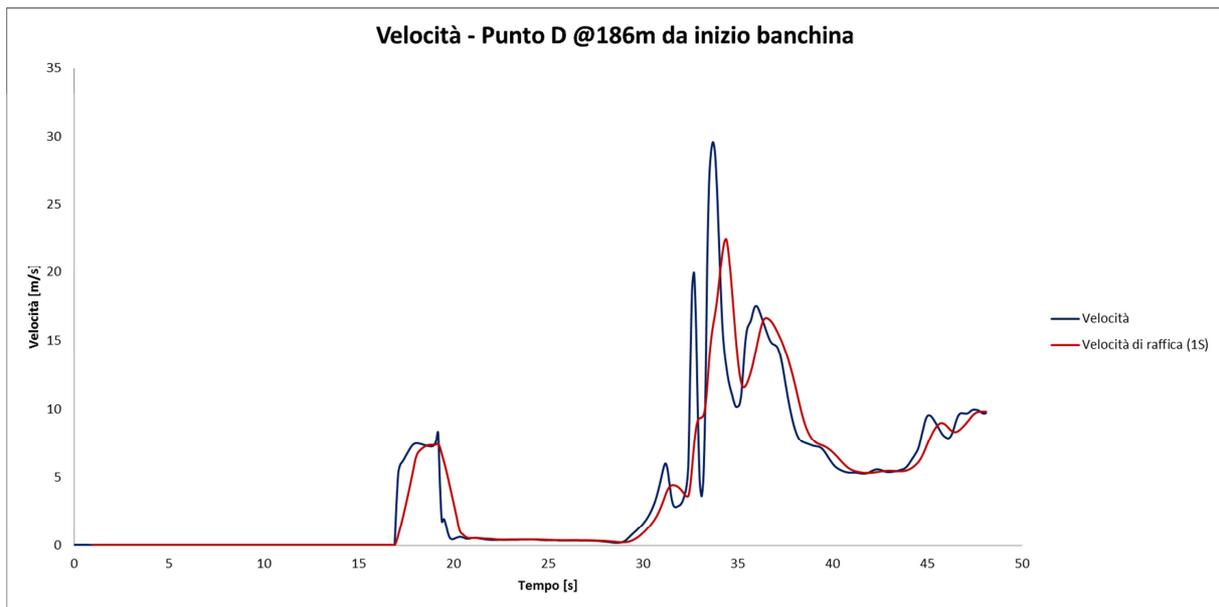


Figura 12: Velocità nel punto B a distanza di 176m dall'inizio della banchina



**Figura 13: Velocità nel punto C a distanza di 188m dall'inizio della banchina**



**Figura 14: Velocità nel punto D a distanza di 186m dall'inizio della banchina**

La tabella seguente fornisce un riepilogo dei risultati ottenuti per velocità di transito a 120km/h:

Punto	Velocità massima	Velocità di raffica	$\Delta p/\Delta t$ massimo
	<i>m/s</i>	Finestra 1s <i>m/s</i>	
A @ 180m	19.43	11.30	529
B @ 176m	24.30	18.36	539
C @ 188m	25.18	17.88	446
D @ 186m	29.52	22.47	475

Le stesse analisi dei risultati sono state eseguite anche per la velocità di transito pari a 80km/h. Gli andamenti di velocità e pressione sono analoghi a quelli appena presentati per  $V_{\text{treno}}=120\text{km/h}$ .

Di seguito i risultati ottenuti:

Punto	Velocità massima	Velocità di raffica	$\Delta p/\Delta t$ massimo
	<i>m/s</i>	Finestra 1s <i>m/s</i>	
A @ 137m	15.78	11.82	224
B @ 135m	20.02	15.41	226
C @ 216m	15.62	14.98	281
D @ 137m	17.44	15.47	223

## Conclusioni

In accordo con quanto riportato dal documento “*Metodologia per la valutazione degli effetti aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina*” – RS2S 01 D 97 RH SC0002 001 A, sono stati valutati, mediante simulazioni CFD tridimensionali, gli effetti causati dal passaggio di un convoglio all’interno della Stazione di Taormina in termini di velocità dell’aria e gradiente di pressione sulla banchina.

Il modello di stazione utilizzato è basato sui progetti architettonico e impiantistico semplificato di tutti gli elementi inessenziali alla simulazione. Al contrario, il treno utilizzato per le prove non corrisponde ad uno specifico convoglio reale ma è un modello che involupa per eccesso tutte le tipologie di treni in termini di sezione, inoltre, non presentando accorgimenti aerodinamici, è in grado di rappresentare correttamente anche un treno merci.

Per la valutazione delle correnti d’aria in banchina e dei gradienti di pressione è stata scelta la configurazione della stazione ragionevolmente più gravosa ovvero quella in cui tutte le aperture tagliafuoco sono chiuse e sull’altro binario è presente un altro treno fermo in banchina della stessa tipologia di quello in movimento.

Le simulazioni condotte con velocità di transito a 120km/h hanno mostrato come la velocità dell’aria lungo la banchina, mediata con media mobile di 1s, superi il limite di 15.5m/s, registrando un massimo pari a

*Effetti aerodinamici nella stazione di Taormina*

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	SC 00 02 001	A	13 di 13

22.47m/s. Al contrario, non sussistono problemi relativi al gradiente temporale di pressione che presenta dei massimi dell'ordine di 500Pa/s.

Riducendo la velocità del convoglio ad 80km/h è possibile rientrare nei limiti di velocità indicati dal documento sopracitato. In tal modo infatti la corrente raggiunge il massimo di 15.47m/s nel punto D (fine linea gialla a +2.05m sul PF) ad una distanza di circa 137m dall'inizio della banchina (in senso longitudinale). Le pressioni, logicamente, si mantengono molto al di sotto del limite.