

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA
U.O. SICUREZZA, MANUTENZIONE ED INTEROPERABILITÀ**

PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i)**

Metodologia per la valutazione degli effetti degli aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina

SCALA:

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

RS2S 01 D 97 RH SC00002 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato / Data
A	Emissione definitiva		Marzo 2018		Marzo 2018		Marzo 2018	ITALFERR S.p.A. FORESTA Marzo 2018 Ing. Mario Foresta Ordine Ingegneri Roma n° 19492
		VINATTIERI		GENTILUOMO		CARLESIMO		

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	RIFERIMENTI	4
2.1	NORME, LEGGI E DOCUMENTI UE	4
2.2	DOCUMENTI ITAFERR	4
2.3	DOCUMENTI RFI	4
2.4	LETTERATURA TECNICA DI RIFERIMENTO	5
3.	METODOLOGIA	6
3.1	IDENTIFICAZIONE DEL CAMPO DELLE VERIFICHE	6
3.1.1	Effetti di trascinamento	7
3.1.2	Sovrappressioni	9
3.1.3	Effetti di turbolenza	10
4.	VERIFICHE SUPPLEMENTARI IN CASO DI ESITO NEGATIVO DELLE SIMULAZIONI ...	11
5.	RISULTATI	12



RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i)

Metodologia per la valutazione degli effetti degli aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D	97	RH	SC0002	001	A	3 di 14

1. Premessa

La normativa internazionale e nazionale non definisce in termini esaustivi le verifiche correlate agli effetti aerodinamici e sovrappressioni indotte dal transito dei treni da condurre nella progettazione delle banchine, specialmente quelle interrate.

Il presente documento, relativo alla stazione sotterranea di Taormina, ha lo scopo di analizzare i risultati ottenuti per il calcolo della corrente generata dal passaggio di convogli.

Tali risultati, 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, sono stati ottenuti mediante l'utilizzo di un software CFD in grado di integrare nello spazio e nel tempo le equazioni fluidodinamiche che governano il 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 sia dallo sbilanciamento della pressione tra la testa e la coda del treno. Tale resistenza ha come effetto il trascinamento dell'aria intorno al treno che genera 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.



RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i)

Metodologia per la valutazione degli effetti degli aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D	97	RH	SC0002	001	A	4 di 14

2. Riferimenti

2.1 Norme, Leggi e Documenti UE

- [R.1] Decreto Legislativo 08/10/2010, n. 191 – “Attuazione delle direttive 2008/57/CE e 2009/131/CE relative all’interoperabilità del sistema ferroviario comunitario”, e s.m.i.
- [R.2] REGOLAMENTO (UE) N.1302/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo a una specifica tecnica di interoperabilità per sottosistema “materiale rotabile - locomotive e materiale rotabile per il trasporto passeggeri” del sistema ferroviario dell’Unione europea
- [R.3] REGOLAMENTO (UE) N.1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell’Unione europea
- [R.4] REGOLAMENTO (UE) N.1300/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per l’accessibilità del sistema ferroviario dell’Unione per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta
- [R.5] DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 20 dicembre 2007 relativa ad una specifica tecnica di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità (2008/217/CE)

2.2 Documenti Italferr

- [R.6] PPA.0001026 Prescrizioni tecniche per la progettazione e verifica di Piani e Manuali di Manutenzione, RAM, Specifiche Tecniche di Interoperabilità
- [R.7] PP0.0000021 procedura per il controllo della progettazione
- [R.8] Raddoppio Fiumetorto – Cefalù – Castelbuono. Fermata di Cefalù – Studio degli effetti aerodinamici al transito dei treni – RS23 00 D 04 RG SZ0000 0010 A
- [R.9] RS2S 01 D 09 CL SC0002 001 A – Effetti aerodinamici nella stazione di Taormina

2.3 Documenti RFI

- [R.10] Manuale di Progettazione delle Opere Civili – RFI DTC SI MA IFS 001 B



RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i)

Metodologia per la valutazione degli effetti degli aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D	97	RH	SC0002	001	A	5 di 14

2.4 Letteratura tecnica di riferimento

- [R.11] Italcertifer – “ITCF-C-12-135-03-ATC-RP-00001 rev. 0.0 del 5/12/2012 – Rapporto di prova misure aerodinamiche in galleria Stazione di Rebaudengo – Linea Ferroviaria Torino – Milano”
- [R.12] Wind climate and urban geometry, M. Bottema, Technische Universiteit Eindhoven, 1993



RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i)

Metodologia per la valutazione degli effetti degli aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D	97	RH	SC0002	001	A	6 di 14

3. Metodologia

Il presente documento descrive la metodologia per il calcolo della corrente generata da un treno, a seguito del suo passaggio in un tunnel ferroviario, in funzione delle caratteristiche geometriche e dinamiche del treno e dei dettagli costruttivi della galleria.

Il calcolo della corrente generata deve riferirsi al comfort dei passeggeri presenti sulla banchina di una stazione sotterranea e per quest'ultimo aspetto vanno considerati due fattori: l'intensità delle correnti indotte sulla banchina e le onde di pressione.

A tal proposito al fine di mitigare tali effetti sono previste nelle stazioni interrato delle aperture equilibratrici poste generalmente alle estremità delle banchine. Un criterio per il dimensionamento di tali aperture è indicato nella *Specifica tecnica di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità* (2008/217/CE) [R.5] al punto 4.2.16.2:

"Le variazioni di pressione che possono trasmettersi tra gli spazi in cui circolano i treni e gli altri spazi della stazione, possono provocare violente correnti d'aria, difficilmente sopportabili dai viaggiatori.

Poiché ogni stazione sotterranea costituisce un caso a sé, non esiste alcuna regola generale per valutare l'entità di questo fenomeno, che deve di conseguenza essere oggetto di uno studio mirato, salvo nel caso in cui i volumi della stazione possono essere isolati dai volumi sottoposti alle variazioni di pressione con aperture dirette sull'aria libera esterna, aventi un'area della sezione almeno pari alla metà di quella della galleria di accesso."

3.1 Identificazione del campo delle verifiche

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 sia dallo sbilanciamento della pressione tra la testa e la coda del treno. Tale resistenza ha come effetto il trascinamento dell'aria intorno al treno che genera 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.

3.1.1 Effetti di trascinamento

Per quanto riguarda l'intensità delle correnti indotte sulla banchina non esiste uno standard univocamente definito in letteratura: esistono varie raccomandazioni notevolmente differenti da nazione a nazione che definiscono tale valore in un *range* compreso tra 8 m/s (metropolitana di Londra) e 17 m/s (ferrovie tedesche e inglesi).

Gli studi condotti dall'ORE (Office de Recherches et d'Essais de l'Union Internationale des Chemins de Fer) nel corso degli anni '80 hanno individuato che il massimo valore di velocità ammissibile per la sicurezza dei passeggeri può essere fissato pari a 17 m/s, in quanto tale velocità produce sul corpo degli eventuali passeggeri presenti in banchina una spinta che può essere sopportata da un uomo di altezza e corporatura media [R.8].

La *specificata tecnica di interoperabilità per il sottosistema «Materiale rotabile — Locomotive e materiale rotabile per il trasporto di passeggeri» del sistema ferroviario dell'Unione europea* del 18 novembre 2014 [R.2] definisce al punto 4.2.6.2 i requisiti per il materiale rotabile riguardo agli effetti aerodinamici (pressione e velocità di flusso) su persone, oggetti ed edifici lungo i binari. Le velocità dell'aria causata dal transito all'aperto di un treno devono soddisfare i valori riportati nella seguente tabella (vedi punto 4.2.6.2.1 – tabella 4):

Velocità massima di progetto $v_{tr,max}$ (km/h)	Misurazione effettuata al di sopra del piano del ferro	Velocità massima ammissibile dell'aria sul binario (valori limite per u_{20} (m/s))	Velocità di riferimento v_{ref} (km/h)
$160 < v_{tr,max} < 250$	0,2 m	20	Velocità massima di progetto
	1,4 m	15,5	200 km/h o velocità massima di progetto, a seconda del valore più basso
$250 \leq v_{tr,max}$	0,2 m	22	300 km/h o velocità massima di progetto, a seconda del valore più basso
	1,4 m	15,5	200 km/h

Metodologia per la valutazione degli effetti degli aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D	97	RH	SC0002	001	A	8 di 14

Vale la pena evidenziare che la metodologia riportata nella STI Loc&Pass [R.2]:

- è prevista per le banchine all’aperto e prescrittiva per velocità di transito > 160 km/h;
- la conformità di quanto progettato è valutata da un Organismo Notificato (No.Bo.) in fase di Verifica CE mediante prove su scala reale (rif. § 6.2.3.13).

Qualora ricorrano le condizioni per cui applicare il presente documento, le verifiche richieste dalla STI Loc&Pass andranno estese come di seguito riferito e rappresentato nella figura 1.

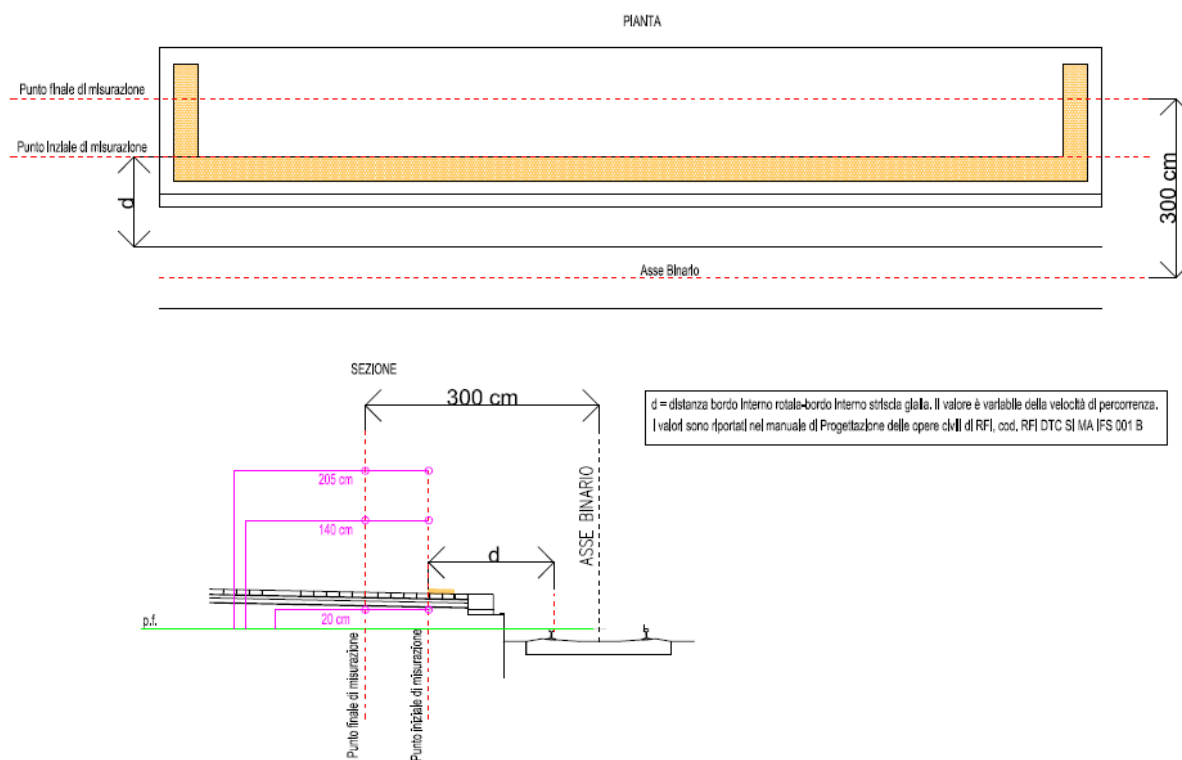


figura 1

In particolare:

- a) le verifiche andranno condotte per ogni tipologia di treno in funzione della rispettiva massima velocità di fiancata;
- b) oltre ai punti di misura indicati nella tabella 4 del § 4.2.6.2.1 andranno verificati i punti:
 - i. sulla sezione longitudinale posta a 3,00 m dall’asse del binario alla quota a 2,05 m sul piano del ferro;

- ii. sulla sezione longitudinale in corrispondenza del bordo interno della striscia gialla che delimita la fascia di sicurezza (da identificare secondo la norma nazionale – rif. [R.8]) alle quote 1,40 e 2,05 sul piano del ferro ¹.
- c) tutti i punti di verifica identificati nel precedente punto b) non devono superare il valore massimo di 15,5 m/s calcolato con filtraggio a media mobile di 1 secondo del valore rilevato [R.11].

3.1.2 Sovrappressioni

Lo sviluppo di onde di pressione è causa di variazioni di pressione repentine che, se non rimangono entro determinati range, possono determinare problemi di carattere fisiologico sulle persone in attesa in banchina. In considerazione delle caratteristiche con cui si manifestano le variazioni di pressione, l'organismo maggiormente interessato è l'orecchio.

Studi effettuati in campo nazionale e internazionale, hanno evidenziato che la sensazione di fastidio oltre che ad essere legata al livello massimo di sovrappressione o depressione raggiunto, dipende anche dal gradiente di pressione che si instaura in un intervallo temporale.

Si è definito che la variazione di pressione non debba superare i 3 kPa e l'intervallo di tempo per valutare tali variazioni sia pari a 3 secondi, intervallo di tempo corrispondente al tempo di reazione fisiologica di un individuo (con particolare riguardo all'adattamento alla pressione dell'orecchio).

In conclusione, la variazione di pressione non deve superare i 3 kPa in un tempo pari a 3 secondi e i fenomeni fluidodinamici non devono produrre gradienti temporali di pressione superiori a 1 kPa/s; in tali condizioni si può ritenere che il comfort delle persone in attesa sulla banchina non venga diminuito.

Tale condizione deve essere verificata in corrispondenza di tutte le aree di stazione ove sia prevista la presenza di persone.

¹ Per lo standard utilizzato dalla normativa italiana sui marciapiedi alti, la misura a + 0,20 sul piano del ferro risulta non applicabile.



RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i)

Metodologia per la valutazione degli effetti degli aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D	97	RH	SC0002	001	A	10 di 14

3.1.3 Effetti di turbolenza

È noto che il passaggio di un treno, oltre gli effetti di trascinamento che tipicamente si evidenziano lungo il senso di percorrenza dello stesso, genera fenomeni fluidodinamici che richiedono studi con modelli tridimensionali.

Per tali fenomeni non risultano specifiche normative di riferimento. Pertanto è opportuno, una volta noto il campo di velocità, individuare e delimitare l'area di banchina nella quale si generano moti turbolenti per i quali il valore di velocità risultasse maggiore a 15,5 m/s.

Gli effetti dei moti turbolenti saranno oggetto di analisi specifiche per verificare eventuali mitigazioni o restrizioni da adottare sull'infrastruttura.

4. Verifiche supplementari in caso di esito negativo delle simulazioni

Qualora i calcoli condotti nei punti caratteristici identificati nel § 3.1.1 non rientrino nei parametri indicati è necessario reiterare i calcoli con le seguenti indicazioni:

- a) verifiche correlate alla velocità massima di transito
 - i. la velocità massima di transito viene ridotta con *step* di 5 km/h fino a che ogni punto di misura restituisca valori rientranti nei limiti di accettabilità;
 - ii. la documentazione tecnica prodotta riporta le risultanze sia dei punti caratteristici di cui al § 3.1.1, sia quelli della presente sezione.
- b) verifiche correlate al posizionamento della striscia gialla che individua il limite dell'area di pericolo
 - i. mantenendo costante la velocità massima del treno, vengono ripetuti i calcoli aumentando progressivamente l'ampiezza dell'area di pericolo (la striscia gialla viene arretrata rispetto al bordo del marciapiede). Gli step di allontanamento potranno essere definiti dal Progettista a seconda dei risultati del calcolo. L'obiettivo è quello garantire che tutti i punti di misura così come identificati al precedente § 3.1.1 restituiscano valori rientranti nei limiti di accettabilità;
 - ii. deve essere messo in evidenza se l'arretramento della striscia gialla riduca gli spazi disponibili in banchina oltre il limite imposto dalle STI PMR [R.4] o dalle indicazioni di dimensionamento minimo per un corretto servizio viaggiatori;
 - iii. la documentazione tecnica prodotta riporta le risultanze sia dei punti caratteristici di cui al § 3.1.1, sia quelli della presente sezione.
- c) verifiche combinate correlate alla velocità massima di transito e al posizionamento della striscia gialla che individua il limite dell'area di pericolo.

5. Risultati

Nel documento [R.9] sono stati analizzati i valori massimi di velocità, in funzione del tempo, raggiunti lungo tutta la banchina nei seguenti punti:

- A: alla quota di 1,40 m dal piano del ferro e ad una distanza di 3,00 m dall'asse binario
- B: alla quota di 1,40 m dal piano del ferro in corrispondenza della linea gialla (2,50 m dall'asse binario)
- C: alla quota di 2,05 m dal piano del ferro e a 3,00 m dall'asse binario
- D: alla quota di 2,05 m dal piano del ferro in corrispondenza della linea gialla (2,50 m dall'asse binario)

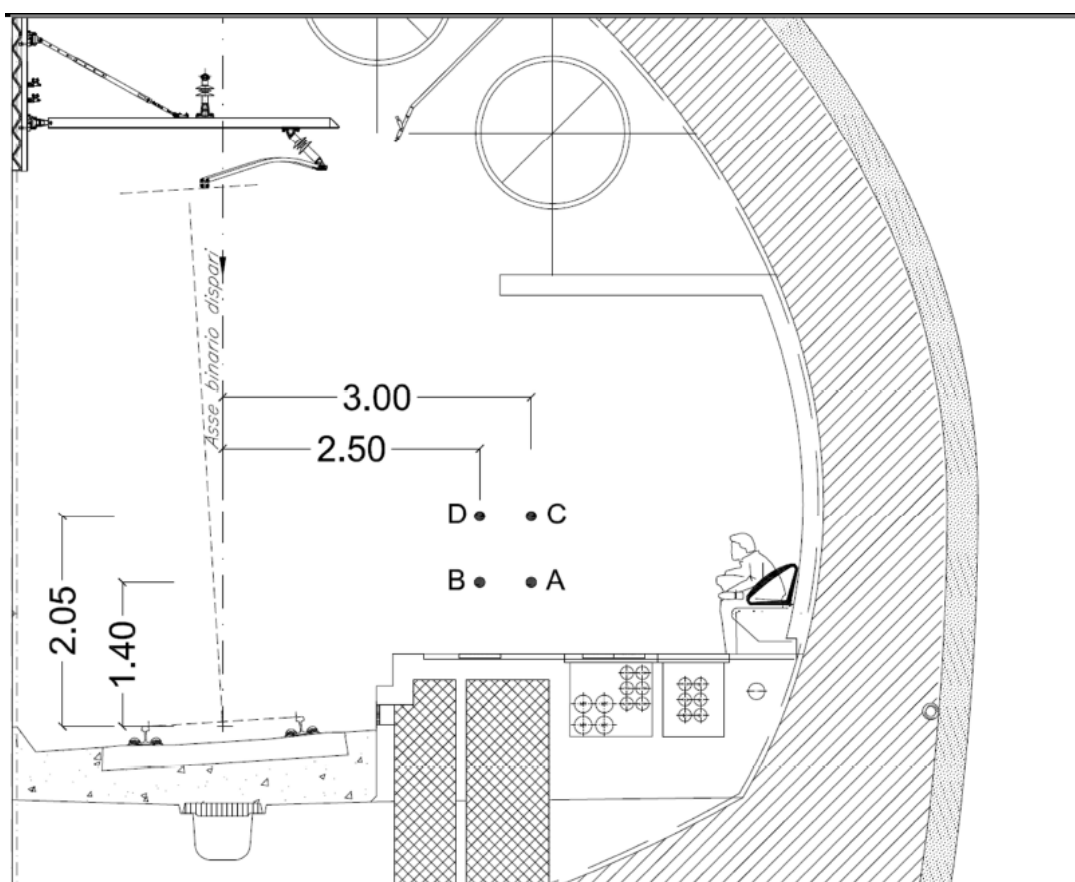


figura 2

Metodologia per la valutazione degli effetti degli aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D	97	RH	SC0002	001	A	13 di 14

Ipotizzando una velocità di transito del treno pari a 120 km/h, nella tabella seguente sono riportati i valori di velocità massima, velocità di raffica mediate con finestra di 1 s e andamento temporale della pressione:

Punto	Velocità massima (m/s)	Velocità di raffica finestra 1 s (m/s)	$\Delta p/\Delta t$ massimo (Pa/s)
A	19,43	11,30	529
B	24,30	18,36	539
C	25,18	17,88	446
D	29,52	22,47	475

 tabella 1 – $V_{\text{treno}} = 120$ km/h

Visti i valori della velocità dell'aria riportati nella tabella precedente, superiori ai limiti consentiti, la velocità di transito che consente di registrare valori ammissibili è pari a 80 km/h. I risultati ottenuti sono i seguenti:

Punto	Velocità massima (m/s)	Velocità di raffica finestra 1 s (m/s)	$\Delta p/\Delta t$ massimo (Pa/s)
A	15,78	11,82	224
B	20,02	15,41	226
C	15,62	14,98	281
D	17,44	15,47	223

 tabella 2 – $V_{\text{treno}} = 80$ km/h

Per una velocità di transito pari a 80 km/h, i valori di velocità dell'aria e di pressione in banchina si mantengono al disotto dei limiti riportati nei paragrafi 3.1.1 e 3.1.2.

È da sottolineare che i valori di velocità superiori ai limiti consentiti che si registrano durante



RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i)

Metodologia per la valutazione degli effetti degli aerodinamici e delle sovrappressioni generate dal passaggio di un treno nella Stazione di Taormina

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D	97	RH	SC0002	001	A	14 di 14

il passaggio dei treni sono localizzati alle estremità del camerone di stazione oltre le zone consentite allo stazionamento dei viaggiatori [R.9].

Nelle successive fasi progettuali tali simulazioni fluidodinamiche dovranno essere nuovamente condotte al fine di tener conto degli affinamenti del progetto rispetto al progetto definitivo della Stazione di Taormina. Inoltre ai fini di una completa accettabilità dei risultati ottenuti è comunque necessario, prima dell'apertura all'esercizio ferroviario, che l'Appaltatore conduca una campagna di sperimentazione, valutata da un Organismo Notificato (No.Bo.) in fase di Verifica CE, mediante prove su scala reale, che registri i valori di velocità dell'aria e pressione in banchina a seguito del transito delle diverse tipologie di materiale rotabile ammesso a circolare sulla linea [R.2].

Tale campagna di sperimentazione potrà eventualmente modificare, sempre nel rispetto della sicurezza e del comfort dei passeggeri e del personale, il valore di velocità di transito inizialmente stabilito nelle simulazioni.