

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA FERROVIARIA ROMA – VITERBO

RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE

STAZIONI E FERMATE

Verifica capacità dissipativa banchina ferroviaria a seguito svio treno – Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

NR3J 01 D 29 CL FV0000 004 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	G. Quaceci	04.11.2020	M. Monda	05.11.2020	T. Paoletti	06.11.2020	F. Arduini 06.11.2020

ITALFERR S.p.A.
Direzione Tecnica
Infrastrutture Centro
Dipartimento Sviluppo Aziendale
Servizio Ingegneria Infrastruttura di Roma

File: NR1J01D29CLFV0000004A

n. Elab.: 433.01

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	NORMATIVE, ISTRUZIONI E PRESCRIZIONI DI RIFERIMENTO	5
3.	INQUADRAMENTO	6
3.1	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI NELLE STAZIONI	6
3.1.1	<i>Stazione di Anguillara</i>	6
3.1.2	<i>Stazione di Vigna di Valle</i>	8
3.2	CALCOLO DELLA TRAIETTORIA DI SVIO DEL CONVOGLIO	9
3.3	OPERA DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI URTO FERROVIARIO	12
3.4	TIPO DI TRENO ANALIZZATO	13
4.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	14
4.1	CALCESTRUZZO CORDOLO	14
4.2	ACCIAIO PER C.A.	14
5.	MODELLAZIONE ED ANALISI DI CALCOLO	15
5.1	COMBINAZIONE DI CALCOLO	15
5.2	MODELLO GEOTECNICO	15
5.3	SPOSTAMENTI DOVUTI ALL'IMPATTO DEL CONVOGLIO CON IL MARCIAPIEDE	15
5.3.1	<i>Energia fornita dall'urto del convoglio ferroviario</i>	16
5.3.2	<i>Energia dissipata per attrito</i>	17
5.3.3	<i>Energia dissipata per variazione di volume del terreno</i>	18
5.3.4	<i>Calcolo dello spostamento del marciapiede</i>	20
5.4	VERIFICA DI RIBALTAMENTO DEL CONVOGLIO	22
6.	ANALISI RISULTATI	24
6.1	VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI	24
6.1.1	<i>Caso v=60km/h (Stazione di Vigna di Valle)</i>	24
6.1.2	<i>Caso v=30 km/h (Stazione di Anguillara)</i>	25

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	FV0000 004	A	3 di 34

6.1.3	Caso $v=115$ km/h (Stazione di Anguillara)	26
6.1.4	Interpretazione degli spostamenti calcolati.....	28
6.2	VERIFICA DI RIBALTAMENTO	29
6.2.1	Treno leggero 80 ton.....	29
6.2.2	Treno pesante 120 ton.....	30
6.3	VERIFICA COLLEGAMENTI CONCI DEL MURO DI BANCHINA	31
7.	CONSIDERAZIONI FINALI.....	32

1. PREMESSA

Il progetto definitivo in oggetto riguarda il raddoppio della linea ferroviaria Roma – Viterbo per la tratta Cesano – Vigna di Valle; tra i vari interventi presenti in progetto, per quanto riguarda le stazioni ferroviarie, è prevista la sistemazione del PRG della stazione di Anguillara e lo spostamento della stazione di Vigna di Valle.

Nel presente documento vengono svolte delle verifiche per dimostrare che i marciapiedi alti di stazione, ovvero con altezza +55 cm dal P.F., costituiscono, in caso di urto ferroviario, un elemento sacrificale che permette di evitare l'impatto del treno sul fabbricato viaggiatori.

Le normative vigenti considerano la possibilità che un treno possa deragliare, e, conseguentemente, far nascere un rischio di collisione tra il veicolo deragliato e le strutture adiacenti la ferrovia; inoltre, si ricorda che le stesse NTC2018 al punto 3.6.3.4 indicano che la presenza di marciapiedi e controrotaie crea delle *“condizioni di impianto che possono ridurre il rischio di accadimento dell'evento”*.

Nel seguito viene riportata un'analisi in termini energetici con la quale si dimostra che, in caso di un eventuale svio del treno dal primo binario adiacente la banchina o dal binario 2, la sua energia cinetica viene totalmente assorbita dall'attrito del treno con il suolo e dalla deformazione del terreno a tergo del marciapiede sul quale urta il treno. In seguito a tale urto, il marciapiede subisce uno spostamento tale che il treno si ferma prima di poter impattare sul fabbricato viaggiatori.

2. NORMATIVE, ISTRUZIONI E PRESCRIZIONI DI RIFERIMENTO

Si espongono di seguito le norme, istruzioni, prescrizioni e note alle quali si è fatto riferimento nel presente studio.

- D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» Gazzetta Ufficiale 20/02/2017, n. 42 - Suppl. Ord. n. 8”
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7/C.S.LL.PP. “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.”
- EN 1991-1-7 - Azioni sulle strutture - Parte 1-7: Azioni in generale - Azioni eccezionali
- EN 1997-1 Progettazione geotecnica Parte 1: Regole generali.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B del 22.12.2017 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili (MdP RFI) - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture.
- RFI DTC SI CS MA IFS 001 B del 22.12.2017 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili (MdP RFI) - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale.
- UIC 777-2R “Structure built over railway line – Construction requirement in the track zone”.
- “La tecnica professionale n°1 Gennaio 2000” Editore C.I.F.I.

3. INQUADRAMENTO

3.1 Descrizione degli interventi nelle stazioni

3.1.1 Stazione di Anguillara

Gli interventi di sistemazione del PRG di Anguillara fanno sì che la configurazione finale di progetto della stazione veda la presenza di due binari di corsa, un binario di precedenza promiscuo, lato fabbricato viaggiatori, e un binario secondario centralizzato, adibito per attestamento di materiali. Le comunicazioni tra i binari di circolazione saranno tutte percorribili alla velocità massima in deviata di 60 km/h ad eccezione della comunicazione lato Bracciano del binario di precedenza che sarà percorribile alla velocità massima in deviata di 30 km/h.

Il nuovo fabbricato viaggiatori (FV01) sarà posizionato in adiacenza all'attuale fabbricato viaggiatori della fermata esistente.

I marciapiedi di stazione avranno una lunghezza totale di 250 m e una larghezza utile variabile. La distanza minima del fabbricato viaggiatori dal bordo del marciapiede 1 sarà pari a 3.60 m.

Per questa configurazione saranno analizzati nel dettaglio il caso di svio del treno in transito sul binario 1 (binario di precedenza promiscuo), lato fabbricato viaggiatori, alla velocità di percorrenza pari a 30 e 60 km/h, ed il caso di svio del treno in transito sul binario 2 (binario di corsa) alla velocità massima di progetto pari a 115 km/h.

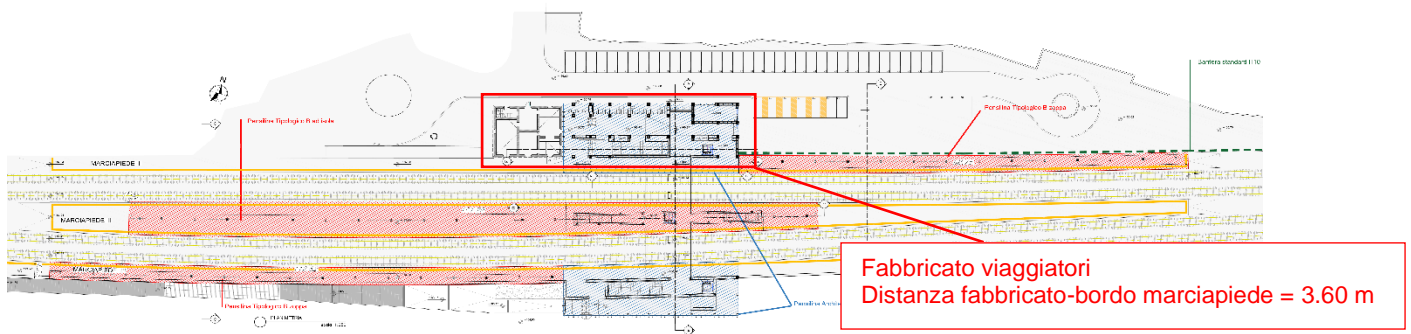


Fig. 1 – Planimetria d'insieme della stazione di Anguillara

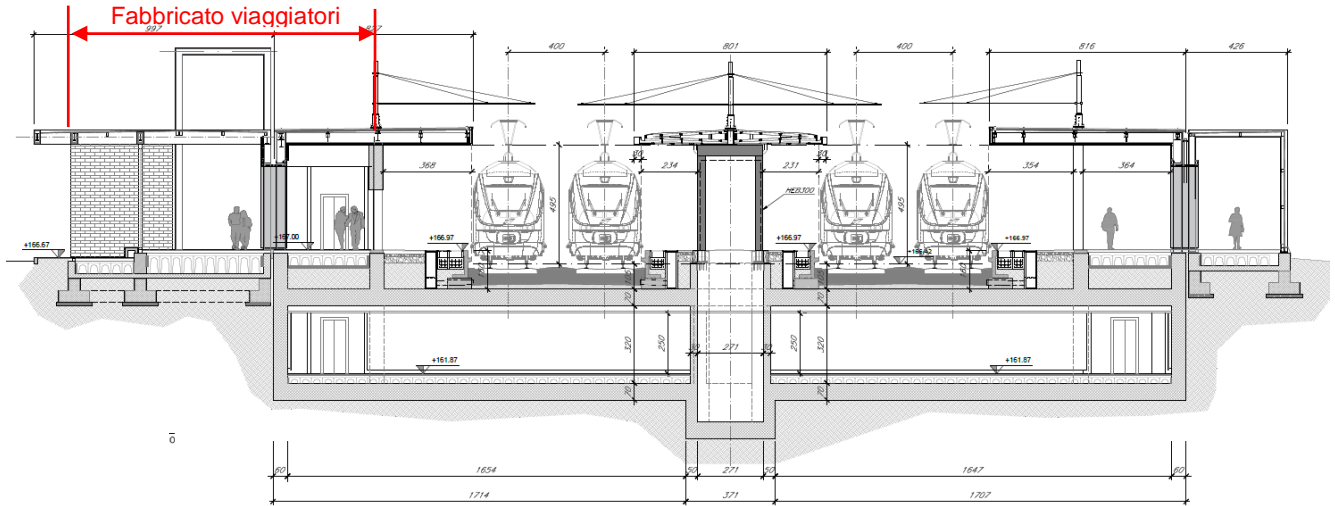


Fig. 2 – Sezione tipo stazione di Anguillara in corrispondenza del sottopasso di stazione

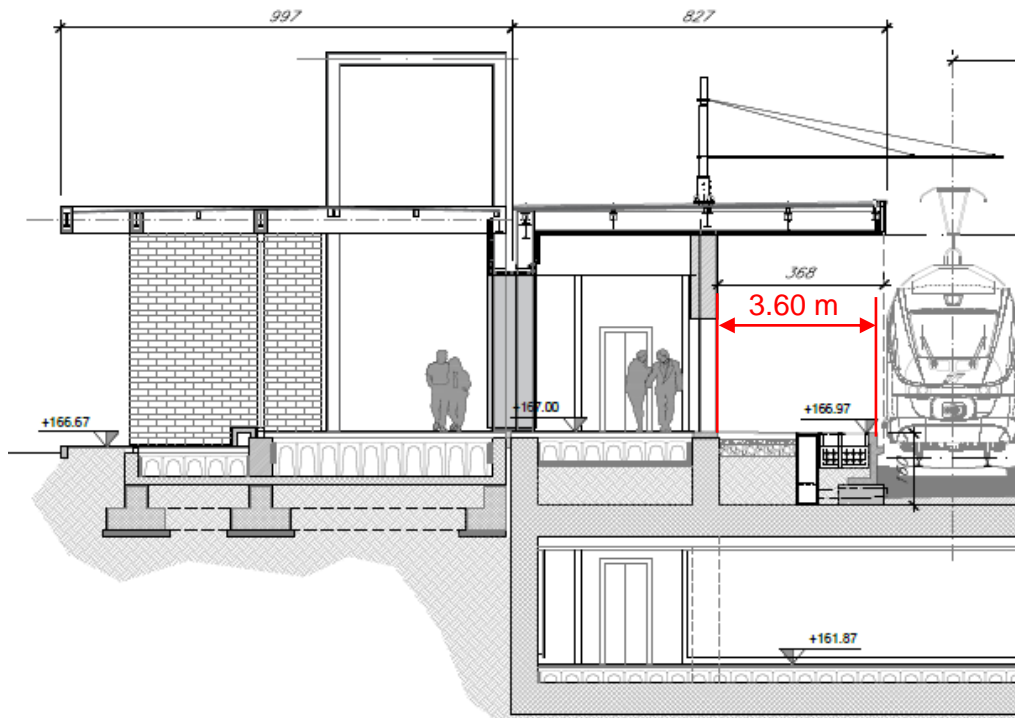


Fig. 3 – Sezione tipo stazione di Anguillara zoom su lato fabbricato viaggiatori

3.1.2 Stazione di Vigna di Valle

La nuova stazione di Vigna di Valle sarà posizionata al km 38+500, a circa 780 m dalla fermata attuale (km 39+280 L.S.) che verrà dismessa.

La nuova stazione sarà dotata di quattro binari di circolazione e un binario secondario centralizzato adibito per attestamento di materiali. Le comunicazioni tra i binari di circolazione saranno tutte percorribili alla velocità massima in deviata di 60 km/h.

I 4 marciapiedi di progetto avranno una lunghezza totale di 250 m e una larghezza variabile. La distanza minima del fabbricato viaggiatori dal bordo del marciapiede 1 sarà pari a 3.34 m.

Per questa configurazione sarà analizzato nel dettaglio il caso di svio del treno in transito sul binario 1 (binario di precedenza), lato fabbricato viaggiatori, alla velocità di 60 km/h. Non risulta necessario approfondire il caso di svio del treno in transito sul binario 2 (binario di corsa) alla velocità massima di progetto pari a 115 km/h poiché, come riportato nel seguito (par. 3.2), la distanza trasversale (13.3 m) che dovrebbe percorrere il treno in svio da tale binario prima di urtare sul fabbricato viaggiatori è circa pari alla distanza trasversale di arresto del treno per tale velocità; inoltre, considerando la configurazione di progetto della stazione in esame, che vede la presenza di un secondo marciapiede tra il binario 1 ed il binario 2, in caso di un eventuale svio del treno dal binario 2, l'urto del treno si avrebbe prima contro il marciapiede 2, quindi l'energia cinetica del treno in svio sarebbe dissipata molto prima di giungere a ridosso del fabbricato viaggiatori.

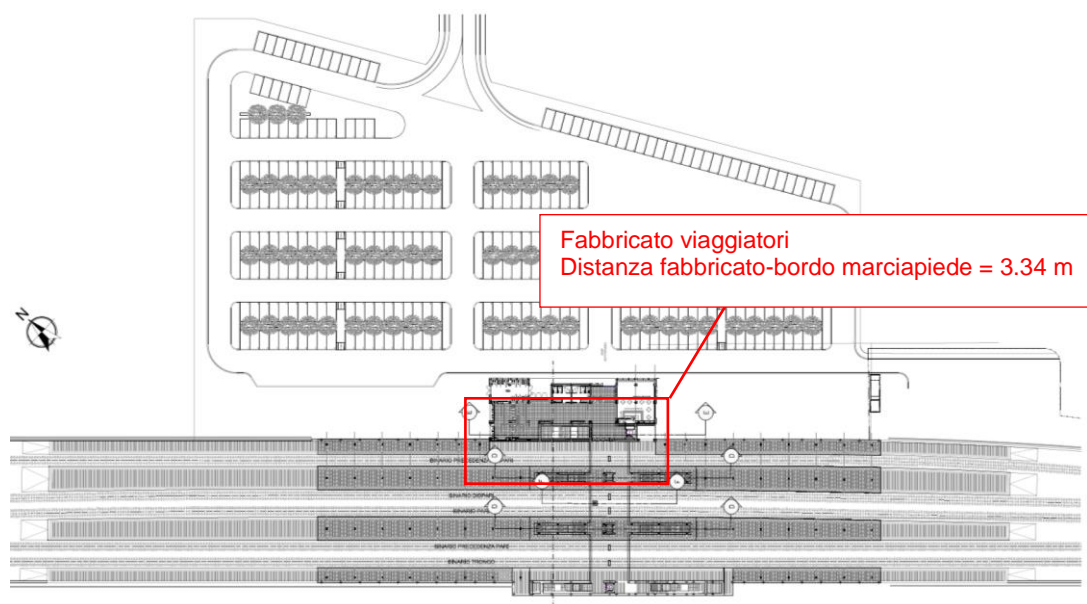


Fig. 4 – Planimetria d'insieme della stazione e parcheggio di Vigna di Valle

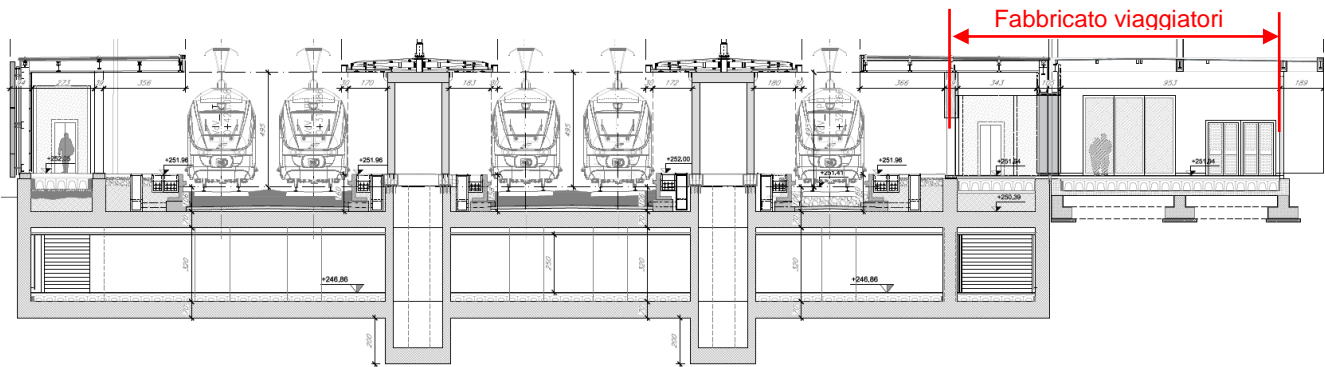


Fig. 5 – Sezione tipo stazione di Vigna di Valle in corrispondenza del sottopasso di stazione

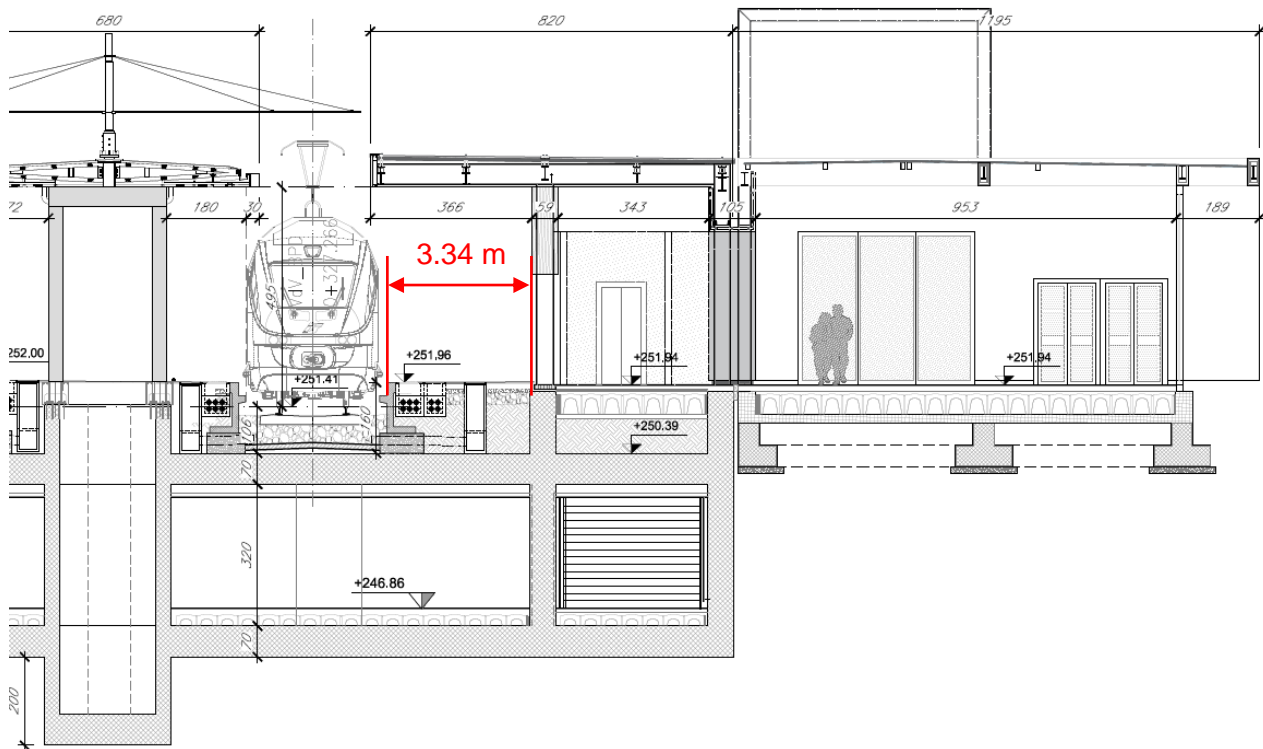


Fig. 6 – Sezione tipo stazione di Vigna di Valle zoom su lato fabbricato viaggiatori

3.2 Calcolo della traiettoria di svio del convoglio

Sia le norme NTC2018 che il MdP delle opere civili di RFI prendono in considerazione la possibilità che un treno possa deragliare, e, conseguentemente, far nascere un rischio di collisione tra il veicolo deragliato e le strutture adiacenti la ferrovia.

Le NTC2018 al p.to 3.6.3.4 “Urti da Traffico ferroviario” (Azioni eccezionali) dichiarano che la presenza di marciapiedi e controrotaie crea delle “condizioni di impianto che possono ridurre il rischio di accadimento dell’evento”.

Il MdP RFI (p.to 3.12.3.5 – Parte II – Sezione 3) definisce il percorso che il treno potrebbe avere nel caso di un eventuale deragliamento, individuando la massima distanza longitudinale e trasversale percorsa da un convoglio in svio in funzione della velocità di progetto (rimando ai criteri presenti nella Fiche UIC 777-2 - Appendix F – F2 parametro “b” e “d”).

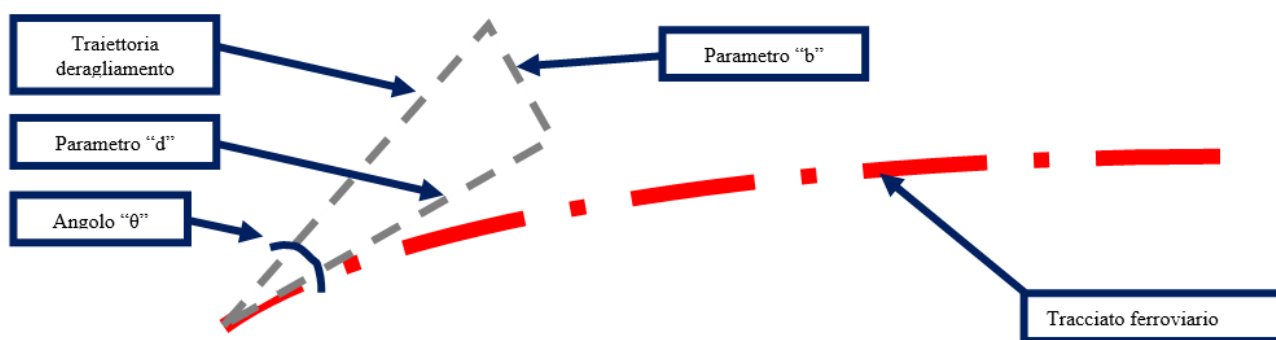


Fig. 7 – Schema deragliamento treno secondo UIC 772-R

La traiettoria di deragliamento è da intendersi a partire dal filo esterno della sagoma del treno.

Le correlazioni dei parametri b e d sono di seguito riportate:

- $b = V^{0.55}$ [m]
- $d = V^2/80$ [m]

Nei casi in esame, per i binari adiacenti ai fabbricati viaggiatori, la velocità di progetto considerata è pari a 60 km/h per la stazione di Vigna di Valle e 30 km/h per quella di Anguillara; pertanto i valori di b e d sono rispettivamente pari a:

- Vigna di Valle: $b = 9.51$ m, $d = 45.00$ m;
- Anguillara: $b = 6.49$ m, $d = 11.25$ m.

Si riporta inoltre l’angolo θ della traiettoria di svio, calcolato come segue:

- Vigna di Valle: $\theta = \arctan(b/d) = \arctan(9.51/45.00) = 11.93^\circ$;
- Anguillara: $\theta = \arctan(b/d) = \arctan(6.49/11.25) = 29.99^\circ$.

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	FV0000 004	A	11 di 34

Si precisa che, per la stazione di Anguillara, si considera direttamente la velocità di 30 km/h in quanto questa risulta essere la condizione peggiore rispetto alle due velocità di progetto di percorrenza del binario di precedenza promiscuo.

Poiché, sia per la stazione di Anguillara che per quella di Vigna di Valle, la distanza del fabbricato viaggiatori dal bordo del marciapiede è inferiore al parametro b su riportato, è necessario condurre delle verifiche integrative per dimostrare che il rischio dell'urto ferroviario viene annullato dalla presenza del marciapiede alto che, fungendo da elemento sacrificale, in caso di un eventuale svio del treno dal binario adiacente la banchina, subisce uno spostamento tale che il treno si fermi prima di poter impattare sul fabbricato viaggiatori.

Relativamente alla stazione di Anguillara si studia inoltre il caso in cui il treno in svio sia quello del binario 2 (binario di corsa) transitante con velocità di 115 km/h.

I parametri della traiettoria di svio sono:

- $b = 13.60 \text{ m}$; $d = 163.31 \text{ m}$; $\theta = 4.70^\circ$

In questo caso, prima di urtare il marciapiede, il treno deve percorrere una distanza trasversale di 4.00 m. Considerando, come proposto da UIC 777-2R, una decelerazione di 3m/s^2 si ha:

$a = 3 \text{ m/s}^2$	decelerazione
$a_T = a \cdot \sin\theta = 0.25 \text{ m/s}^2$	decelerazione in direzione trasversale
$t = \sqrt{(2 \cdot d_T / a_T)} = 5.65 \text{ s}$	tempo tra svio e urto
$v_T = v \cdot \sin\theta - a_T \cdot t = 1.37 \text{ m/s} = 4.9 \text{ km/h}$	velocità trasv. all'istante dell'impatto con il cordolo
$v = v_T / \sin\theta = 16.7 \text{ m/s} = 60.1 \text{ km/h}$	velocità all'istante dell'impatto con il cordolo

3.3 Opera di mitigazione del rischio di urto ferroviario

Per le stazioni in progetto di Anguillara e Vigna di Valle si prevede di utilizzare un muro di banchina con le seguenti caratteristiche geometriche.

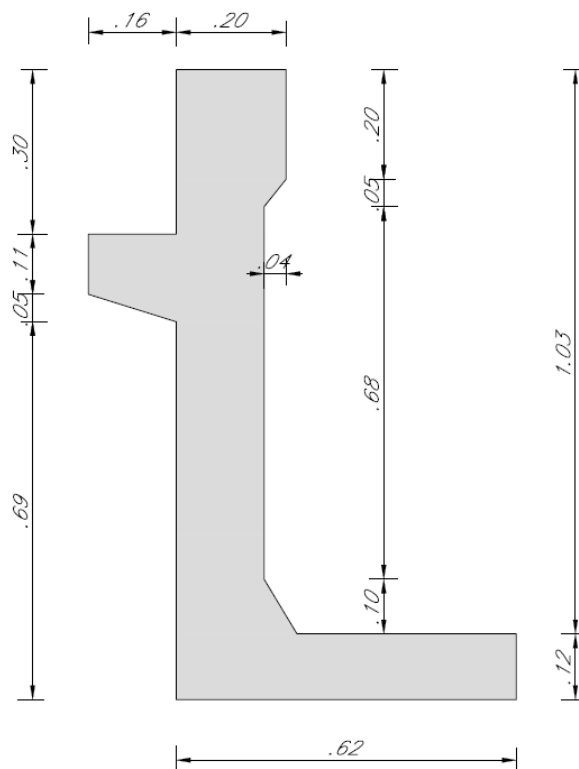


Fig. 8 – Carpenteria marciapiede

Il muro, con un'altezza complessiva di 115 cm dalla fondazione alla sommità, sarà realizzato mediante conci in c.a. prefabbricato di lunghezza massima di 3 m ciascuno.

Per far sì che, in seguito ad un eventuale urto del treno sul marciapiede di stazione, i conci adiacenti collaborino tra di loro, è necessario che gli stessi siano dotati di chiavi di taglio.

Il peso per metro lineare di tale cordolo è pari a 6.8 kN/m, mentre il peso del terreno a tergo del cordolo gravante sulla soletta di fondazione è pari a 8.2 kN/m.

3.4 Tipo di treno analizzato

Data la natura dell'urto, in accostamento del marciapiede è stata considerata una sola vettura. In particolare, è stato considerato un locomotore di peso 120 ton con baricentro delle masse posto a 1,80 m dal piano di rotolamento, sala montata di larghezza pari a 2.00 m, avente le ruote di diametro pari a 0.89 m. Per il ribaltamento, invece, è stata considerata anche una condizione di massa di 80 ton in quanto maggiormente gravosa.

Locomotive elettriche monotensione a 3000 V corrente continua - Unità in esercizio = 1766 (giugno 1999)																
	E.402 001-005	E.402 006-045	E.424 001-158	E.424 201-358 navetta	E.428	E.444	E.464	E.626	E.632	E.633	E.636	E.645	E.646	E.652	E.656	E.656 551-608 navetta
Anni di costruzione	1988	1994-1996	1943-1951	1943-1951	1934-1938 1940-1943	1970-1976	1997...	1928-1939	1982-1987	1979-1988	1940-1962	1958-1960 1963-1965	1961-1967	1989-1996	1975-1987	1988-1989
Anni di trasformazione	1996...	-	-	1986-1993	-	1989-1996	-	-	-	-	1990 (Cabine 284)	1978-1980 [101-105]	1975-1986	-	-	-
Rodiggio	Bo - Bo	Bo - Bo	Bo - Bo	Bo - Bo	2Bo - Bo-2	Bo - Bo	Bo - Bo	Bo - Bo - Bo	B - B - B	B - B - B	Bo - Bo - Bo	Bo - Bo - Bo	Bo - Bo - Bo	B - B - B	Bo - Bo - Bo	Bo - Bo - Bo
Massa totale e aderente [t]	86	87	72,4	72,4	135 (78 massa aderente)	84	72	93	103	103	101	112	110	106	120	120
Rapporto di trasmissione	22 / 79	22 / 79	16 / 65 (*)	19 / 65	29 / 103 31 / 101	40 / 77	1 / 5,012	21 / 76 24 / 73	36 / 64	29 / 64	21 / 65	21 / 68	25 / 64	36 / 64	28 / 61	28 / 61
Azionamento	chopper inverter	chopper inverter	reatato	reatato	reatato	reatato	inverter	reatato	chopper	chopper	reatato	reatato	reatato	chopper	reatato	reatato
Quantità e tipo di motori	4 trifasi asincroni	4 trifasi asincroni	4 corrente continua	4 corrente continua	8 corrente continua	4 corrente continua	4 trifasi asincroni	6 corrente continua	3 corrente continua	3 corrente continua	6 corrente continua	12 corrente continua	12 corrente continua	3 corrente continua	12 corrente continua	12 corrente continua
Potenza oraria al cerchione (kW)	6000 (per 20')	6200 (per 20')	1445	1445	2650	4020	3500	1925	4310	4310	1865	3850	3940	5000	4350	4350
Potenza continua al cerchione (kW)	5000	5200	1300	1300	2360	3690	3000	1760	3830	3830	1690	3270	3455	4780	3850	3850
Velocità max (km/h)	220	220	100 (*)	120	100	200	160	95	160	130	110	120	140	160	150	150
Lunghezza totale (mm)	18440	18860	15500	15500	19000	17120	15750	14950	17800	17800	18250	18250 18290	18290	17800	18290	18290
Telecomando	TCN	TCN	NO	78 poli	NO	NO	NO	TCN / 78 poli	NO	78 poli	78 poli	NO	NO	78 poli	78 poli	NO
Comando multiplo	TCN	TCN	NO	NO	NO	NO	TCN	NO	NO	NO	13 poli (la serie 2000)	NO	NO	NO	13 poli	NO
Unità in esercizio	2	40	20	105	3	113	0	8	65	144	339	96	198	175	400	58

(*) Le E.424 014, 025 e 060 hanno rapporto di trasmissione 19/65 e velocità massima di 120 km/h.

Fig. 9 – Estratto da "La Tecnica Professionale" edito CIFI N°1/2000

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

4.1 Calcestruzzo cordolo

Classe	C35/45		
$R_{ck} =$	45	N/mm^2	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	35	N/mm^2	resistenza caratteristica cilindrica
$\gamma_M =$	1.00	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU per azioni eccezionali
$f_{cd} =$	35	N/mm^2	resistenza di progetto a compressione
$c =$	40	mm	copriferro minimo
	XC3	-	classe di esposizione

4.2 Acciaio per c.a.

B 450 C	controllato in stabilimento		
$f_{yk} \geq$	450	N/mm^2	tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_M =$	1.00	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU per azioni eccezionali
$f_{yd} =$	450	N/mm^2	resistenza di progetto
$E_s =$	200000	N/mm^2	modulo elastico

	LINEA FERROVIARIA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE. STAZIONI E FERMATE PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV0000 004	REV. A	FOGLIO 15 di 34

5. MODELLAZIONE ED ANALISI DI CALCOLO

5.1 Combinazione di calcolo

L'azione da urto ferroviario è classificata come azione eccezionale. In accordo con le NTC2018 la combinazione di calcolo da considerare è:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{21} \cdot Q_{k2} + \dots$$

dove A_d è l'azione eccezionale da urto ferroviario.

Le NTC2018 chiariscono che i coefficienti parziali di sicurezza sui materiali γ_M per le verifiche strutturali sono da considerarsi con valori unitari. Nulla è detto nei riguardi dei coefficienti parziali di sicurezza γ_φ e γ_R relativi alle verifiche geotecniche.

Tenendo conto del carattere eccezionale dell'azione e, visto che l'elemento che stiamo verificando è considerato un elemento sacrificale, si utilizzeranno dei valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_φ e γ_R unitari.

5.2 Modello geotecnico

Ai fini delle analisi svolte si trascura la coesione e si tiene conto unicamente del contributo alla resistenza dato dall'angolo di attrito.

Per garantire il corretto funzionamento del sistema, ed un corretto bilanciamento spostamento-azioni derivanti dall'urto, è prescritto un terreno che abbia le seguenti caratteristiche:

- $\varphi = 32^\circ$ angolo di attrito;
- $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ massa volumetrica.

5.3 Spostamenti dovuti all'impatto del convoglio con il marciapiede

La valutazione dello spostamento trasversale del muro di banchina a seguito dell'urto di un treno in svio è stata effettuata tramite l'analisi limite imponendo il bilancio energetico tra l'energia in ingresso (E_{est}), fornita dall'urto di un convoglio ferroviario, e la capacità dissipativa (E_{int}) del sistema terreno-fondazione.

Assumendo cautelativamente coesione nulla nel terreno a contatto con l'opera, il lavoro esterno delle forze sarà dissipato principalmente dalla variazione del potenziale energetico ottenuto attraverso lo slittamento della fondazione sul terreno e la deformazione (variazione di volume) nel terreno stesso.

Sotto l'ulteriore ipotesi cautelativa che nel sistema studiato struttura – terreno non concorrano altri elementi di dissipazione di energia, e che il marciapiede abbia un comportamento di tipo rigido, si può affermare che il lavoro totale compiuto dalle forze esterne (urto) sia uguale al lavoro totale compiuto dalla deformazione interna del sistema (struttura-terreno), in accordo con quanto affermato dal Teorema dei Lavori Virtuali. Si è inoltre, come ulteriore ipotesi semplificativa e cautelativa, trascurata la deformazione del marciapiede, di ordine trascurabile rispetto a quanto manifestato nel terreno e nel treno.

Si può quindi scrivere il bilancio energetico, come:

$$E_{est} = D_{\mu} + D_P = E_{int}$$

Dove:

- E_{est} energia fornita dall'urto del convoglio ferroviario;
- E_{int} capacità dissipativa del sistema terreno-fondazione;
- D_{μ} energia dissipata per attrito;
- D_P energia dissipata nella variazione di volume del terreno.

5.3.1 Energia fornita dall'urto del convoglio ferroviario.

L'energia fornita dall'urto è quindi calcolata considerando la tipologia di "Urto Morbido" (struttura elastica e oggetto collidente rigido) in accordo con il paragrafo C.2.2 del EC 1991-1-7, riportato di seguito per semplicità di consultazione.

C.2.2

Urto Morbido

- (1) Se si assume che la struttura sia elastica e che l'oggetto che collide sia rigido, valgono le espressioni date in C.2.1 e si raccomanda che siano utilizzate considerando k la rigidità della struttura.
- (2) Se la struttura è progettata per assorbire l'energia d'urto attraverso deformazioni plastiche, si raccomanda che siano definite prescrizioni affinché la sua duttilità sia sufficiente ad assorbire l'energia cinetica totale $1/2 m v_t^2$ dell'oggetto che collide.
- (3) Nel caso limite di risposta rigido-plastica della struttura, il requisito suddetto è soddisfatto dalla condizione nell'espressione (C.5):

$$1/2 m v_t^2 \leq F_o y_o \quad (C.5)$$

dove:

F_o è la resistenza plastica della struttura, cioè il valore limite della forza statica F ;

y_o è la sua capacità di deformazione, cioè lo spostamento del punto di impatto che la struttura può sopportare.

Fig. 10 – Stralcio della EN 1991-1-7

L'energia cinetica che concorre agli spostamenti dei muri di banchina è pertanto:

$$E_{est} = \frac{1}{2} * m * v_t^2$$

Dove:

- m è la massa del treno;
- $v_t = v \cdot \sin\theta$ è la velocità del treno in direzione trasversale.

5.3.2 Energia dissipata per attrito

L'energia dissipata per attrito terreno-fondazione è calcolata mediante la seguente relazione:

$$D_\mu = \frac{2}{3} * \tan(\varphi) * N_b * \delta_{fin}$$


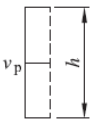

Dove:

- φ è l'angolo di attrito interno del terreno;
- N_b è l'azione verticale che provoca l'attrito terreno-fondazione (peso proprio del marciapiede e del terreno, soletta posa pavimentazione);
- δ_{fin} è lo spostamento finale del tratto di marciapiede interessato all'urto.

5.3.3 Energia dissipata per variazione di volume del terreno

L'energia dissipata per variazione di volume del terreno D_p è calcolata in funzione della sola componente di attivazione della spinta passiva agente sul paramento posteriore del marciapiede. Il legame tra deformazione del terreno e mobilitazione di spinta passiva in terreni non coesivi è fornito dal EC7-1 Annex C, il quale, nel prospetto C.2., fornisce il valore di spostamento necessario ad attivare la spinta passiva ed il 50% della spinta passiva in funzione dei cinematismi, della tipologia di terreno (se sciolto o denso) e degli spostamenti, espressi in percentuale come rapporto tra spostamento e altezza della fondazione (vedi Fig. 12).

prospetto C.2 Rapporti v_p/h e v/h per $0,5\sigma_p$; per terreni non coesivi

Tipo di cinematismo della parete		v_p/h terreno sciolto %	v_p/h terreno denso %
a)		da 7 (1,5) a 25 (4,0)	da 5 (1,1) a 10 (2,0)
b)		da 5 (0,9) a 10 (1,5)	da 3 (0,5) a 6 (1,0)
c)		da 6 (1,0) a 15 (1,5)	da 5 (0,5) a 6 (1,3)

dove:
 v è lo spostamento della parete;
 v_p è lo spostamento della parete necessario a mobilitare la spinta passiva del terreno;
 h è l'altezza della parete;
 σ_p è la spinta del terreno passivo completamente mobilitata.

Fig. 11 – Stralcio della EN 1997-1

figura C.4 Mobilizzazione della spinta passiva efficace del terreno in terreni non coesivi, in funzione dello spostamento normalizzato della parete v/v_p (v : spostamento; v_p : spostamento richiesto per la mobilitazione completa della spinta passiva del terreno)

Legenda

- 1 Valori ricavati dal prospetto C.2
- 2 Non in scala

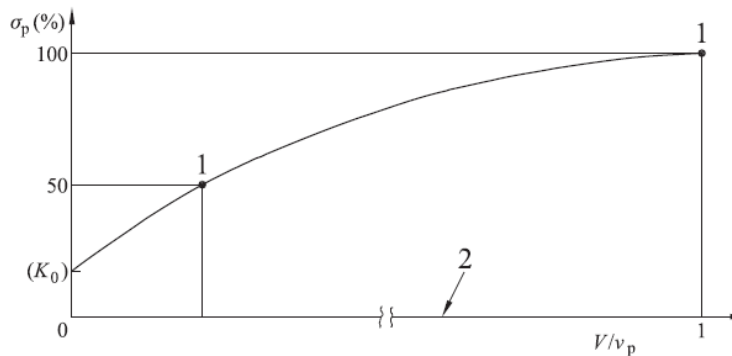


Fig. 12 – Stralcio della EN 1997-1

Nel caso in esame è stato assunto un cinematiso di tipo *b*, il quale rispecchia maggiormente l'assunzione di scorrimento rigido del marciapiede.

I valori di riferimento, desunti dal prospetto sopra riportato, sono:

- $v_p/h = 10\%$ attivazione 100% spinta passiva;
- $v_p/h = 1.5\%$ attivazione 50% spinta attiva.

Conoscendo il massimo valore di spinta passiva attivabile ed il percorso di spinta è possibile calcolare l'energia dissipata durante la deformazione del terreno. In via cautelativa, ai fini del bilancio energetico, è stato assunto che, raggiunto il massimo valore di spinta passiva attivabile, essa resti costante all'aumentare degli spostamenti.

Dunque, si ottengono le seguenti relazioni:

$$F_p = \frac{\sigma_p * H_{fond} * L}{2}$$

$$F_{p,50} = \frac{F_p}{2}$$

$$\sigma_p = k_p * \gamma_t * H_{fond}$$

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	FV0000 004	A	20 di 34

$$D_{p,50} = \int F_p(\delta_{50}) d\delta = (F_0 + F_{p,50}) * \frac{\delta_{50}}{2}$$

$$D_{p,100} = \int F_p(\delta_{100}) d\delta = (F_{p,50} + F_p) * \frac{\delta_{100} - \delta_{50}}{2}$$

$$D_p = D_{p,50} + D_{p,100} + F_p * (\delta_{calc} - \delta_{100})$$

dove:

- γ_t è peso del terreno.
- k_p è il valore del coefficiente di spinta passiva calcolata con la teoria di Rankine.
- k_0 è il coefficiente di spinta a riposo.
- L è la larghezza reagente del muro
- F_0 è la risultante della spinta a riposo.
- F_p è la risultante della spinta passiva.
- $F_{p,50}$ è il 50% della risultante della spinta passiva.
- $D_{p,50}$ è l'energia dissipata dalla condizione di riposo fino la condizione di attivazione del 50% della spinta passiva.
- $D_{p,100}$ è l'energia dissipata dalla condizione di 50% di spinta passiva fino la condizione di attivazione completa della spinta passiva.

Nel modello di calcolo saranno trascurati i primi 0.10 m relativi alla soletta per la posa della pavimentazione usualmente presente in sommità del cordolo. L'altezza di calcolo del muro sarà quindi di 1,05 m.

La larghezza reagente del muro L , coinvolta nella dissipazione di energia, è assunta pari al valore massimo tra il parametro d (così come definito al paragrafo 3.2) e alla lunghezza della locomotiva, assunta pari a 20m.

5.3.4 Calcolo dello spostamento del marciapiede

Sostituendo i valori di D_μ e D_p all'interno dell'equazione del bilancio energetico si ottiene la seguente relazione:

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	FV0000 004	A	21 di 34

$$\delta_{calc} = \frac{E_{est} - D_{p,50} - D_{p,100} + F_p * \delta_{100}}{F_p + N_b * \frac{2}{3} * \tan(\varphi)}$$

Sarà quindi valutato lo spostamento δ_{calc} necessario a dissipare l'intera energia in ingresso provocata dall'urto.

Lo spostamento così calcolato rappresenta il valore massimo con l'assunzione che durante la durata dello svio sarà coinvolto in egual misura tutto il percorso dissipativo longitudinale. Tuttavia, tale ipotesi non risulta essere cautelativa in quanto è ragionevole assumere che durante il percorso dissipativo i primi conci di marciapiede alto siano chiamati a dissipare una quota maggiore di energia rispetto ai conci successivi. Si assumerà quindi una distribuzione triangolare della capacità dissipativa lungo il percorso di svio "d" con il cateto minore posto nel punto urtato ed il vertice opposto a distanza L . Imponendo l'equivalenza delle aree dissipative (rettangolare di calcolo e triangolare realistico) è stato quindi determinato il massimo spostamento orizzontale raddoppiando lo spostamento di calcolo.

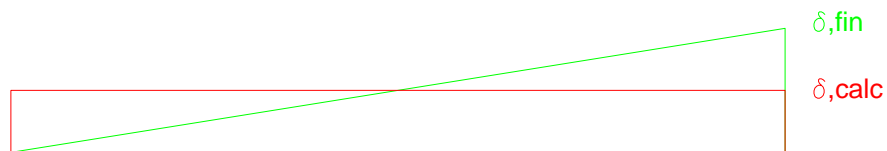


Fig. 13 – Equivalenza aree dissipative

5.4 Verifica di ribaltamento del convoglio

La verifica a ribaltamento è stata svolta attorno al punto di contatto della ruota prossima al marciapiede, considerando la massa concentrata cautelativamente ad un'altezza di 1,8 m dal piano di rotolamento. Di seguito è riportata un'immagine esemplificativa del problema analizzato.

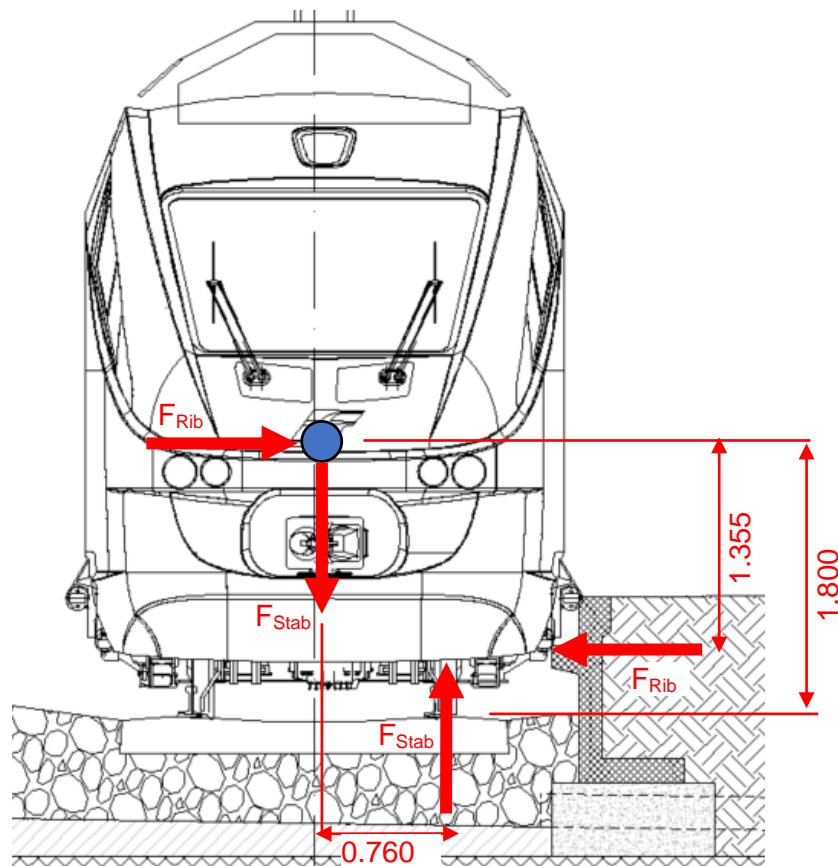


Fig. 14 – Schema ribaltamento analizzato

La forza stabilizzante è la forza peso della locomotiva coinvolta nell'urto.

La forza ribaltante è la reazione passiva opposta dal cordolo di stazione.

Per la verifica a ribaltamento è stato quindi assunto che la porzione di terreno reagente sia unicamente la porzione a tergo della sala montata, in quanto in seguito all'urto ciascuna sala montata del convoglio interessa porzioni diverse di marciapiede. La sala montata è composta da 2 assi posti ad una distanza, generalmente, pari a 2,5 m, pertanto interessano al massimo due conci di marciapiede prefabbricato. I conci sono previsti realizzati per una lunghezza massima di 3 m ciascuno, per una lunghezza complessiva di impatto pari a 6 m.

Si noti che il valore riportato sopra della lunghezza reagente del muro non è in contrasto con quanto usato per il calcolo degli spostamenti del muro. La verifica a ribaltamento infatti tiene conto di un meccanismo non dissipativo che si sviluppa in maniera repentina al momento dell'urto del treno e pertanto mobilita la reazione di una porzione limitata di muro.

Per la verifica a ribaltamento la reazione opposta dal muro di banchina risulta una forza ribaltante.

Si rimarca che le prescrizioni sulle caratteristiche del terreno sono quelle riportate nel paragrafo 5.2. Tuttavia, a vantaggio di sicurezza e per tenere conto di una possibile sovra resistenza locale del terreno che comporta l'aumentare della forza ribaltante, la spinta passiva opposta dal terreno a tergo del cordolo si calcolerà tenendo conto di un angolo di attrito di calcolo incrementato e posto pari a 35°.

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	FV0000 004	A	24 di 34

6. ANALISI RISULTATI

6.1 Verifica degli spostamenti

6.1.1 Caso $v=60\text{km/h}$ (Stazione di Vigna di Valle)

PARAMETRI ENERGIA IMPATTO

m_T	120 ton	massa treno	
v	60 km/h	velocità treno	
b	9,51 m	dimensione trasversale di svio secondo UIC 777-2R	$\sqrt{0,55}$
d	45,00 m	dimensione longitudinale di svio secondo UIC 777-2R	$\sqrt{2}/80$
θ	11,9 °	angolo di svio	$\arctan(b/d)$
v_T	12,4 km/h	componente trasversale della velocità	
E_{est}	712 kJ	energia urto in direzione trasversale	$0,5 * m_T * v_T^2$

PARAMETRI TERRENO

γ	19 kN/m ³	peso terreno	
ϕ	32 °	angolo di attrito	
k_0	0,47 -	coeff. di spinta a riposo	$(1 - \sin\phi)$
k_p	3,25 -	coeff. di spinta passiva	$(1 + \sin\phi)/(1 - \sin\phi)$

PARAMETRI CORDOLO

L	45,00 m	lunghezza cordolo efficace	$\max(d ; 20 \text{ m})$
H	1,05 m	altezza cordolo	
w_C	15,0 kN/m	peso unitario cordolo + terreno	
W_C	677 kN	peso cordolo	$w_C * L$

PARAMETRI DI REAZIONE DEL TERRENO

F_0	222 kN	spinta a riposo	$0,5 * \gamma * k_0 * H^2 * L$
$F_{p,50}$	767 kN	50% spinta passiva	$0,5 * (0,5 * \gamma * k_p * H^2 * L)$
d_{50}	0,016 m	spostamento di attivazione 50% spinta passiva	$0,015 * H$
$F_{p,100}$	1534 kN	100% spinta passiva	$0,5 * \gamma * k_p * H^2 * L$
d_{100}	0,105 m	spostamento di attivazione 100% spinta passiva	$0,100 * H$
F_{attr}	282 kN	forza di attrito	$w_C * (2/3) * \tan\phi$
$D_{p,50}$	8 kJ	energia dissipata da spinta a riposo a 50% spinta passiva	$(F_0 + F_{p,50}) * d_{50}$
$D_{p,100}$	103 kJ	energia dissipata da 50% a 100% della spinta a riposo	$(F_{p,50} + F_{p,100}) * (d_{100} - d_{50}) / 2$

RISULTATI

d_{calc}	0,42 m	spostamento previsto	vedi par. 5.3.4
d_{prog}	0,84 m	spostamento di progetto	$2 * d_{calc}$

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	FV0000 004	A	25 di 34

6.1.2 Caso v=30 km/h (Stazione di Anguillara)

PARAMETRI ENERGIA IMPATTO

m_T	120 ton	massa treno	
v	30 km/h	velocità treno	
b	6,49 m	dimensione trasversale di svio secondo UIC 777-2R	$v^{0,55}$
d	11,25 m	dimensione longitudinale di svio secondo UIC 777-2R	$v^2/80$
θ	30,0 °	angolo di svio	$\arctan(b/d)$
v_T	15,0 km/h	componente trasversale della velocità	
E_{est}	1041 kJ	energia urto in direzione trasversale	$0,5 * m_T * v_T^2$

PARAMETRI TERRENO

γ	19 kN/m ³	peso terreno	
ϕ	32 °	angolo di attrito	
k_0	0,47 -	coeff. di spinta a riposo	$(1 - \text{sen}\phi)$
k_p	3,25 -	coeff. di spinta passiva	$(1 + \text{sen}\phi)/(1 - \text{sen}\phi)$

PARAMETRI CORDOLO

L	20,00 m	lunghezza cordolo efficace	$\max(d ; 20 \text{ m})$
H	1,05 m	altezza cordolo	
w_C	15,0 kN/m	peso unitario cordolo + terreno	
W_C	301 kN	peso cordolo	$w_C * L$

PARAMETRI DI REAZIONE DEL TERRENO

F_0	98 kN	spinta a riposo	$0,5 * \gamma * k_0 * H^2 * L$
$F_{p,50}$	341 kN	50% spinta passiva	$0,5 * (0,5 * \gamma * k_p * H^2 * L)$
d_{50}	0,016 m	spostamento di attivazione 50% spinta passiva	$0,015 * H$
$F_{p,100}$	682 kN	100% spinta passiva	$0,5 * \gamma * k_p * H^2 * L$
d_{100}	0,105 m	spostamento di attivazione 100% spinta passiva	$0,100 * H$
F_{attr}	125 kN	forza di attrito	$w_C * (2/3) * \tan\phi$
$D_{p,50}$	3 kJ	energia dissipata da spinta a riposo a 50% spinta passiva	$(F_0 + F_{p,50}) * d_{50}$
$D_{p,100}$	46 kJ	energia dissipata da 50% a 100% della spinta a riposo	$(F_{p,50} + F_{p,100}) * (d_{100} - d_{50}) / 2$

RISULTATI

d_{calc}	1,32 m	spostamento previsto	vedi par. 5.3.4
d_{prog}	2,64 m	spostamento di progetto	$2 * d_{calc}$

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	FV0000 004	A	26 di 34

6.1.3 Caso $v=115$ km/h (Stazione di Anguillara)

Il caso in analisi è quello relativo allo svio del treno in transito sul binario 2 (binario di corsa).

Differentemente dai casi precedenti, in questo caso il treno sconta una perdita di velocità dovuta alla distanza percorsa dal momento in cui svia, dal binario 2, al momento in cui urta sul marciapiede 1; nella configurazione in esame, tale distanza è pari a circa 4 m. I parametri relativi alla traiettoria del treno sono definiti in maniera estesa al paragrafo 3.2.

PARAMETRI ENERGIA IMPATTO

m_T	120 ton	massa treno	
v	115 km/h	velocità treno ad inizio svio	
b	13,60 m	dimensione trasversale di svio secondo UIC 777-2R	$v^{0,55}$
d	165,31 m	dimensione longitudinale di svio secondo UIC 777-2R	$v^2/80$
θ	4,7 °	angolo di svio	$\arctan(b/d)$
d_T	4,0 m	distanza trasversale tra binario e cordolo	vedi par.3,2
d_L	48,8 m	distanza longitudinale percorsa prima di urtare il cordolo	vedi par.3,2
b^*	9,6 m	dimensione trasversale di svio residua	$b - d_T$
d^*	116,5 m	dimensione longitudinale di svio residua	$d - d_L$
v_T	4,9 km/h	componente trasversale della velocità all'istante dell'urto	vedi par.3,2
E_{est}	111 kJ	energia urto in direzione trasversale	$0,5 * m_T * v_T^2$

PARAMETRI TERRENO

γ	19 kN/m ³	peso terreno	
ϕ	32 °	angolo di attrito	
k_0	0,47 -	coeff. di spinta a riposo	$(1 - \text{sen}\phi)$
k_p	3,25 -	coeff. di spinta passiva	$(1 + \text{sen}\phi)/(1 - \text{sen}\phi)$

PARAMETRI CORDOLO

L	116,5 m	lunghezza cordolo efficace	$\max(d^* ; 20 \text{ m})$
H	1,05 m	altezza cordolo	
w_C	15,0 kN/m	peso unitario cordolo + terreno	
W_C	1752 kN	peso cordolo	$w_C * L$

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	FV0000 004	A	27 di 34

PARAMETRI DI REAZIONE DEL TERRENO

F_0	574 kN	spinta a riposo	$0,5 \cdot \gamma \cdot k_0 \cdot H^2 \cdot L$
$F_{p,50}$	1986 kN	50% spinta passiva	$0,5 \cdot (0,5 \cdot \gamma \cdot k_p \cdot H^2 \cdot L)$
d_{50}	0,016 m	spostamento di attivazione 50% spinta passiva	$0,015 \cdot H$
$F_{p,100}$	3972 kN	100% spinta passiva	$0,5 \cdot \gamma \cdot k_p \cdot H^2 \cdot L$
d_{100}	0,105 m	spostamento di attivazione 100% spinta passiva	$0,100 \cdot H$
F_{attr}	730 kN	forza di attrito	$w_C \cdot (2/3) \cdot \tan \phi$
$D_{p,50}$	20 kJ	energia dissipata da spinta a riposo a 50% spinta passiva	$(F_0 + F_{p,50}) \cdot d_{50}$
$D_{p,100}$	266 kJ	energia dissipata da 50% a 100% della spinta a riposo	$(F_{p,50} + F_{p,100}) \cdot (d_{100} - d_{50}) / 2$

RISULTATI

d_{calc}	0,05 m	spostamento previsto	vedi par. 5.3.4
d_{prog}	0,10 m	spostamento di progetto	$2 \cdot d_{calc}$

6.1.4 Interpretazione degli spostamenti calcolati

Di seguito si diagrammano i risultati ottenuti in termini di spostamento del muro di banchina in funzione della velocità di transito del treno sul binario adiacente la stessa banchina, a seguito di un'eventuale svio.

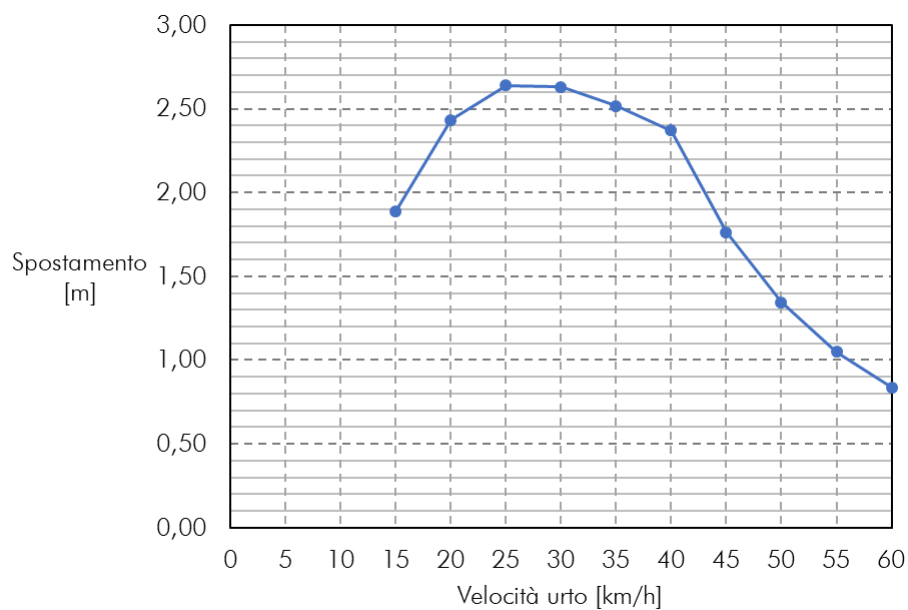


Fig. 15– Spostamento trasversale vs velocità treno

Lo spostamento massimo che si ottiene (2.64 m) è minore della distanza minima di progetto tra muro di banchina e fabbricato viaggiatori (3.34 m). Pertanto, i fabbricati viaggiatori di progetto risultano protetti ai fini dell'urto ferroviario. Per quanto riguarda l'eventuale svio del treno dal binario 2, come visto ai paragrafi precedenti, si ottengono degli spostamenti del muro di banchina minori rispetto allo svio dal binario 1.

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	FV0000 004	A	29 di 34

6.2 Verifica di ribaltamento

6.2.1 Treno leggero 80 ton

DATI URTO

m 80 ton massa locomotore

GEOMETRIA CORDOLO

H 1,15 m altezza cordolo
L 6,00 m lunghezza conchi interessati dall'urto

PARAMETRI TERRENO

γ 19 kN/m³ peso terreno
 ϕ 35 ° angolo di attrito
 k_p 3,69 - coeff. di spinta passiva $(1 + \text{sen}\phi)/(1 - \text{sen}\phi)$

VERIFICA DI RIBALTAMENTO

F_{rib}	278 kN	forza ribaltante: massima reazione cordolo	$0,5 \cdot \gamma \cdot k_p \cdot H^2 \cdot L$
B_y	1,355 m	braccio della forza ribaltante	vedi par. 4.4
F_{stab}	784,8 kN	forza stabilizzante: peso locomotore	$m \cdot g$
B_x	0,76 m	braccio della forza stabilizzante	vedi par. 4.4
M_{rib}	376,93 [kN m]	momento ribaltante	$F_{rib} \cdot B_{rib}$
M_{stab}	596,45 [kN m]	momento stabilizzante	$F_{stab} \cdot B_{stab}$
F.S.	1,58 -	fattore di sicurezza	F_{stab}/F_{rib}

Il fattore di sicurezza F.S. = 1.58 > 1.00. Pertanto, la verifica di ribaltamento risulta soddisfatta.

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	FV0000 004	A	30 di 34

6.2.2 Treno pesante 120 ton

DATI URTO

m 120 ton massa locomotore

GEOMETRIA CORDOLO

H 1,15 m altezza cordolo

L 6,00 m lunghezza conci interessati dall'urto

PARAMETRI TERRENO

γ 19 kN/m³ peso terreno

ϕ 35 ° angolo di attrito

k_p 3,69 - coeff. di spinta passiva $(1 + \text{sen}\phi)/(1 - \text{sen}\phi)$

VERIFICA DI RIBALTAMENTO

F_{rib} 278 kN forza ribaltante: massima reazione cordolo $0,5 \cdot \gamma \cdot k_p \cdot H^2 \cdot L$

B_y 1,355 m braccio della forza ribaltante vedi par. 4.4

F_{stab} 1177,2 kN forza stabilizzante: peso locomotore $m \cdot g$

B_x 0,76 m braccio della forza stabilizzante vedi par. 4.4

M_{rib} 376,93 [kN m] momento ribaltante $F_{rib} \cdot B_{rib}$

M_{stab} 894,67 [kN m] momento stabilizzante $F_{stab} \cdot B_{stab}$

F.S. **2,37 -** fattore di sicurezza F_{stab}/F_{rib}

Il fattore di sicurezza F.S. = 2.37 > 1.00. Pertanto, la verifica di ribaltamento risulta soddisfatta.

6.3 Verifica collegamenti conci del muro di banchina

Il carico di progetto delle chiavi di taglio sarà pari alla spinta passiva che si riesce a sviluppare a tergo di un concio diviso il numero di chiavi di taglio disposto su un lato del concio.

Ricordando che nel caso in esame si ha:

$n_c = 2$	numero di chiavi di taglio su un lato del concio
$\varphi_{\text{calc.}} = 35^\circ$	angolo di attrito di calcolo (maggiorato a vantaggio di sicurezza);
$k_p = 3.69$	coefficiente spinta passiva;
$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso unitario del terreno;
$H = 1.15 \text{ m}$	altezza muro banchina;
$L = 3.00 \text{ m}$	lunghezza concio.

Si useranno delle chiavi di taglio in grado di trasferire il seguente carico:

$$V_{Ed} = (0.5 \cdot k_p \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot L) / n_c = 70 \text{ kN}$$

Nell'ipotesi di chiavi di taglio costituite da barre $\varphi 32$ in acciaio S355 si ha una resistenza a taglio di:

$$V_{Rd} = f_{yk} \cdot A_v / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 105 \text{ kN} \quad \text{resistenza a taglio}$$

Dove:

$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$	tensione caratteristica di snervamento
$A_v = 2A/\pi = 512 \text{ mm}^2$	area resistente a taglio
$A = 804 \text{ mm}^2$	area resistente
$\gamma_{M0} = 1.00$	fattore parziale di sicurezza per SLU (azioni eccezionali)

7. CONSIDERAZIONI FINALI

Si riportano di seguito degli stralci planimetrici delle due stazioni in progetto nei quali vengono rappresentate tutte le possibili traiettorie di svio che si potrebbero verificare in corrispondenza dei fabbricati di stazione. In particolare, tali traiettorie sono riconducibili a due casistiche:

1. Treno in svio in corrispondenza del marciapiede alto di stazione

Questo è il caso studiato nei paragrafi precedenti in cui la componente di spostamento longitudinale è pari al parametro d così come valutato al par. 3.2, mentre la componente di spostamento trasversale è quella calcolata nei paragrafi 6.1.1 , 6.1.2 e 6.1.3.

2. Treno in svio prima dell'inizio del marciapiede alto di stazione, in corrispondenza della rampa di inizio/fine marciapiede.

Questo è il caso in cui, in presenza di svio, il treno sale sul marciapiede attraverso la rampa. La componente di spostamento longitudinale d e la componente trasversale b da considerarsi sono quelle valutate al par. 3.2.

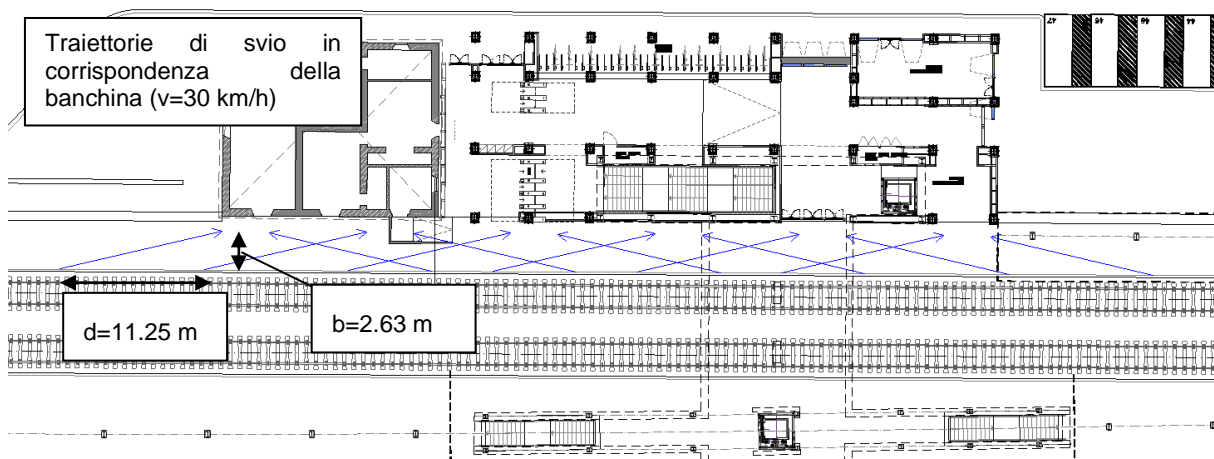


Fig. 16 – Grafico traiettoria di svio in corrispondenza della banchina ferroviaria – Stazione di Anguillara – Zoom fabbricato viaggiatori

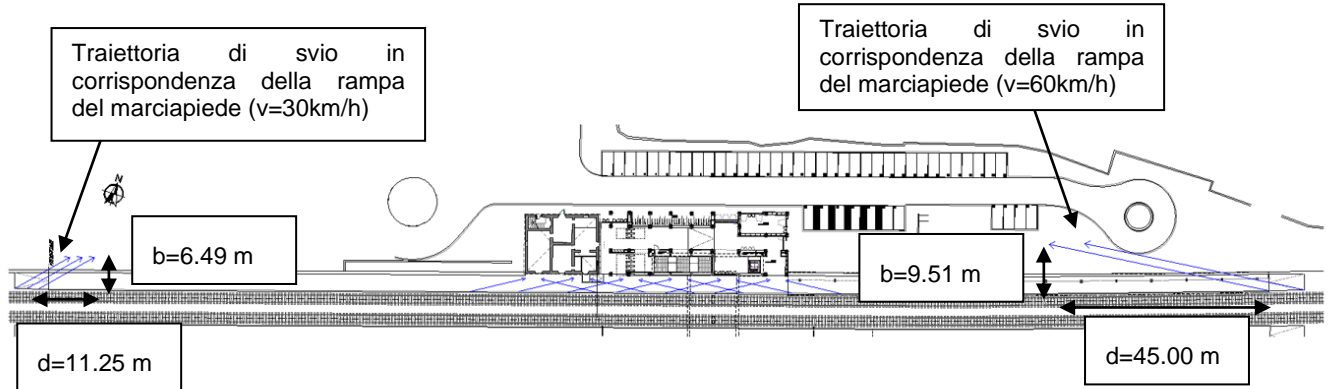


Fig. 17 – Grafico traiettoria di svio in corrispondenza della rampa del marciapiede – Stazione di Anguillara

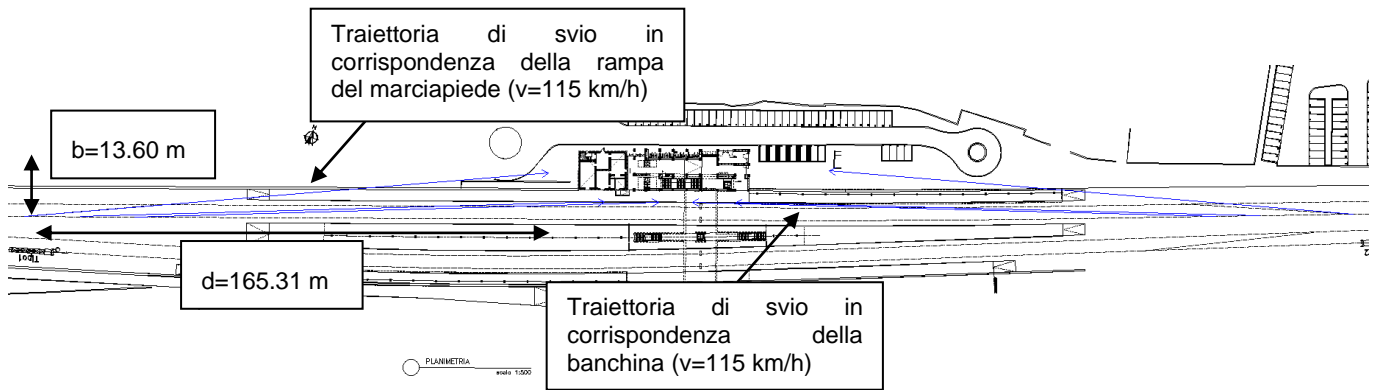


Fig. 18 – Grafico traiettoria di svio dal binario 2 – Stazione di Anguillara

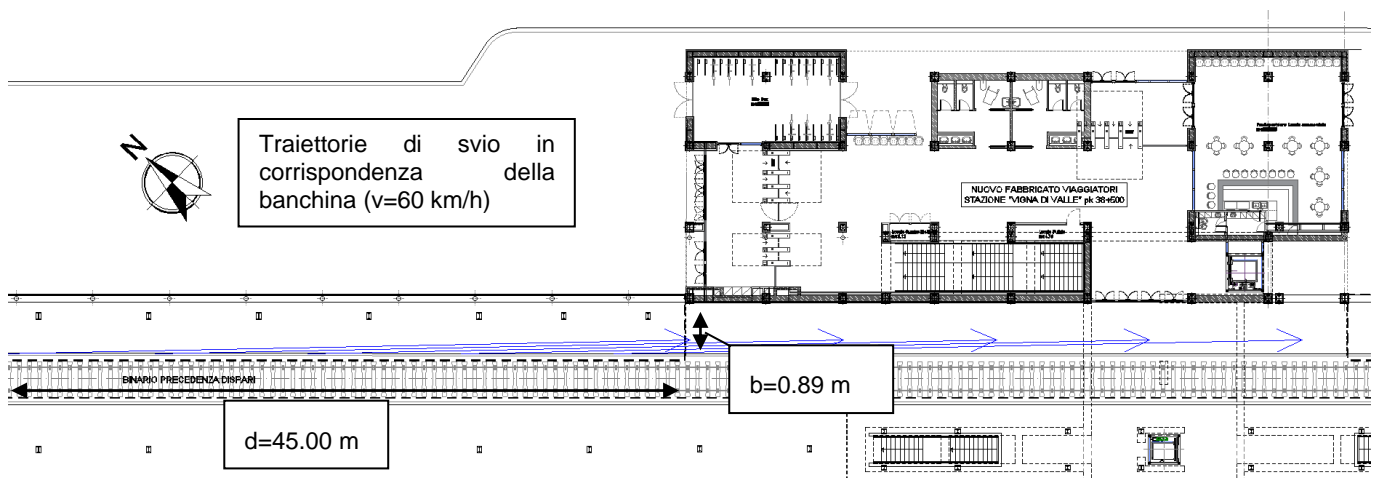


Fig. 19 – Grafico traiettoria di svio in corrispondenza della banchina ferroviaria – Stazione di Vigna di Valle – Zoom fabbricato viaggiatori

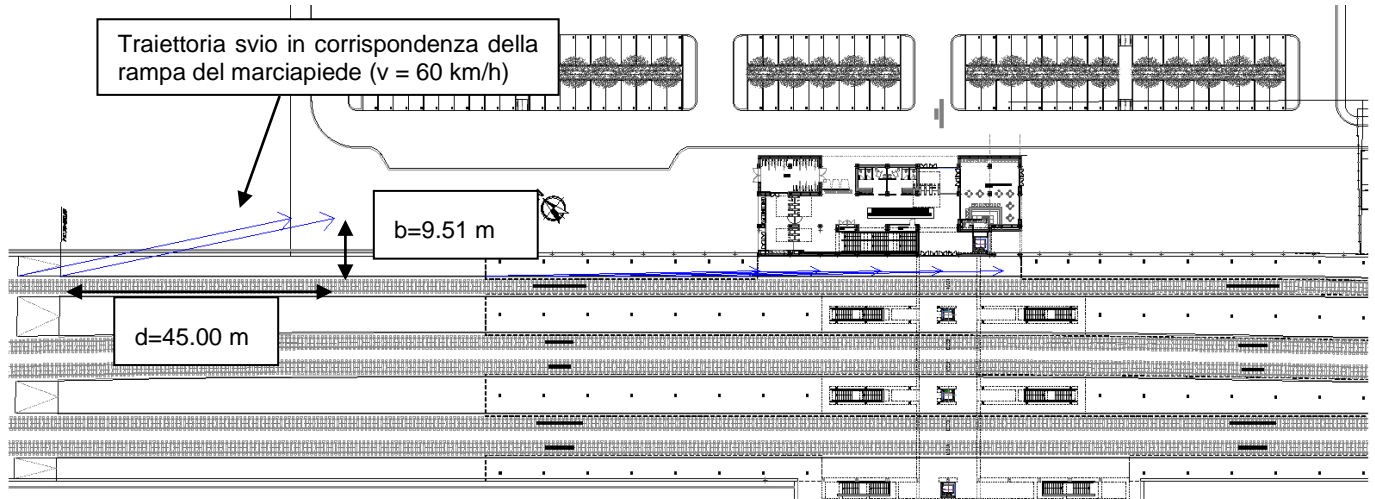


Fig. 20 – Grafico traiettoria di svio in corrispondenza della rampa del marciapiede – Stazione di Vigna di Valle

Come si evince dalle figure precedenti, per i due fabbricati viaggiatori in progetto, in entrambe le casistiche analizzate, il treno si ferma, e quindi esaurisce tutta la sua energia cinetica, senza urtare contro i fabbricati. In conclusione, con le condizioni al contorno previste in progetto, i fabbricati viaggiatori risultano protetti da un eventuale svio del treno.