

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO-BERGAMO-MONTELLO

APPALTO 2: PRG PONTE S. PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

Analisi posizionamento dispositivi di fine corsa

SCALA:

-

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

N B 1 R 0 2 D 2 6 R H M D 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	A.Parravicini A.Cimorelli	Marzo 2020	A.Parravicini A.Cimorelli	Marzo 2020	M. Bellingeri	Marzo 2020	A. Peregò Dirigente PEREGO ANDREA Settore: a) civile - ambientale b) lavori c) nell'informazione n. 432428 MISSIONE

SOMMARIO

1. PREMESSA	4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
3. DOCUMENTI REFERENZIATI.....	5
4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	6
4.1 DESCRIZIONE DELLO STATO ESISTENTE	6
4.2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO	6
5. ALLEGATO 1	9
1 SCOPO DEL DOCUMENTO.....	11
2 NORMATIVE, ISTRUZIONI E PRESCRIZIONI DI RIFERIMENTO	11
3 GEOMETRIA DEL DISPOSITIVO DI FINE CORSA.....	13
4 CONFRONTO TIPOLOGIE E CONSIDERAZIONI DI CALCOLO	14
5 MODELLAZIONE ED ANALISI.....	16
6 ANALISI E RISULTATI	19
6.1 CALCOLO DELLE AZIONI VERTICALI AGENTI SUL DISPOSITIVO DI FINE CORSA.....	19
6.2 MODELLO GEOTECNICO	20
6.3 RISULTATI.....	21
7 VERIFICHE STRUTTURALI IN CONDIZIONI DI URTO	22
7.1 DENTE DI FONDAZIONE.....	22
7.2 VERIFICA ARMATURA NELLA PLATEA DI FONDAZIONE	24
7.3 MENSOLA TOZZA DEL RESPINGENTE	25
8 CONCLUSIONI	26

SOMMARIO DELLE FIGURE

Figura 1 – Stato esistente	6
Figura 2 – Situazione di progetto	8
Figura 3 Carpenterie dispositivo di fine corsa in c.a.	13
Figura 4 Stralcio del MdP Sezione 2	14
Figura 5 Stralcio del DM 17/01/2018	14
Figura 6 Stralcio della DITCARSFAR01001A	15
Figura 7 Stralcio campo di applicazione UIC 777-2R	15
Figura 8 Stralcio della EN 1997-1	17
Figura 9 Carpenterie dispositivo di fine corsa in c.a.	19
Figura 10 Verifica dente di fondazione	23
Figura 11 Verifica platea di fondazione	25

	RADDOPPIO PONTE S. PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE S. PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
Analisi posizionamento dispositivi di fine corsa	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 4 di 26

1. PREMESSA

Scopo del presente documento è illustrare le scelte alla base della tipologia di dispositivi di fine corsa (nel seguito DFC), utilizzata nella progettazione del Raddoppio fra Bergamo e Curno e nel PRG di Ponte San Pietro, in funzione delle diverse condizioni al contorno esistenti.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Le normative di riferimento sono le seguenti:

- Normativa RFI
 - [1] Paraurti ad azione frenante DI TCAR SF AR 01 001 A dell'08.07.1999
 - [2] Nota DI/TC./AR/009/490 del 07.10.1999 "Paraurti ad assorbimento di energia "Specifica tecnica di fornitura
 - [3] Manuale di Progettazione delle Opere Civili RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.2019;
 - [4] Manuale di progettazione d'Armamento RFI DTCSI M AR 01 001 1 A del 13.09.2019.

La Specifica Tecnica [1] definisce le prestazioni di tali elementi nonché l'impiego, in particolare:

1. Tipo 1

- ✓ energia assorbita max 5700 kJ;
- ✓ atto ad arrestare convogli di massa massima di 650 t, alla velocità di 15 km/h in uno spazio massimo di 10 m con decelerazione massima del convoglio di 2m/s^2
- ✓ utilizzato alle testate dei binari tronchi adibiti alle circolazioni di trani viaggiatori (o sui tronchini di sicurezza che vi si attestino).

2. Tipo 2

- ✓ energia assorbita max 2000 kJ
- ✓ atto ad arrestare convogli di massa massima di 500 t, alla velocità di 10 km/h in uno spazio massimo di 5 m
- ✓ utilizzato sui binari tronchi adibiti alle manovre (o sui tronchini di sicurezza che vi si attestino).

4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

4.1 DESCRIZIONE DELLO STATO ESISTENTE

La linea esistente tra Bergamo e Ponte San Pietro è a singolo binario e nelle zone d'intervento non presenta paraurti esistenti.

L'impianto di Ponte San Pietro vede il suo deviatoio di ingresso S60U/250/0.092dx alla pk 7+519.20 (secondo il progetto di base assoluta RFI); presenta due binari di corsa (binario I linea Bergamo-Seregno e binario II linea Brescia-Lecco), un binario di precedenza ed un quarto binario di servizio. Il quarto binario presenta un paraurti FS8742.

Configurazione attuale

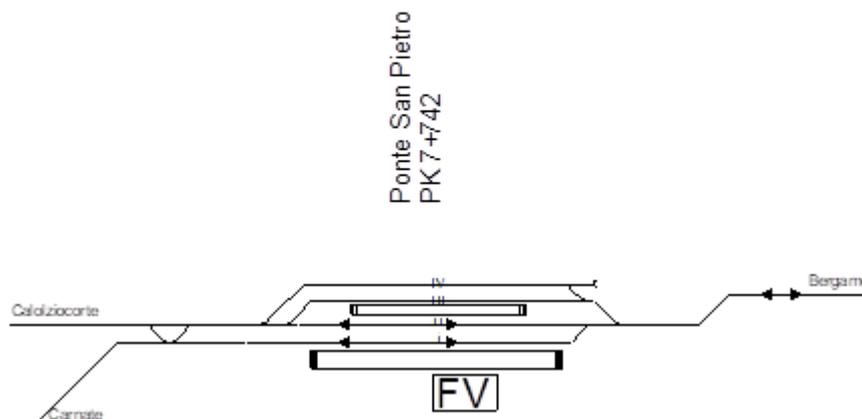


FIGURA 1 – Stato esistente

	RADDOPPIO PONTE S. PIETRO-BERGAMO-MONTELO APPALTO 2: PRG PONTE S. PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
Analisi posizionamento dispositivi di fine corsa	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 7 di 26

4.2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

In concomitanza alla progettazione definitiva del Raddoppio e del PRG di Ponte San Pietro, è stata effettuata un'analisi volta alla definizione dell'ottimale DFC da inserire, in funzione delle diverse condizioni al contorno presenti, tenendo conto che, l'inserimento di un paraurti ad azione frenante, necessita della presenza di un tratto di binario rettilineo, antecedente i respingenti, di almeno 20 m.

L'iter progettuale seguito è stato il seguente:

1. verifica della possibilità di inserire un DFC ad azione frenante, relativamente a: ingombro del dispositivo, presenza di un tratto di binario rettilineo antecedente i respingenti (di almeno 20 m) e rispetto del modulo richiesto;
2. il mancato soddisfacimento di una delle condizioni al punto 1, comporta la necessità di definire un DFC diverso, in particolare un DFC in calcestruzzo armato (CA), caratterizzato da: minor ingombro, non necessità di particolari geometrie del binario nel tratto antecedente i respingenti. Inoltre, per questo tipo di dispositivo, si ipotizza l'utilizzo di respingenti:
 - oleodinamici nel caso in cui il DFC sia posto su un itinerario di manovra;
 - tradizionali nel caso in cui il DFC sia posto su un tronchino di sicurezza.
3. In condizioni di provvisorietà, ove non fosse possibile adottare un DCF ad azione frenante, è stato proposto un DFC metallico FS8742.

Di seguito si presenta una valutazione degli specifici casi di progetto presenti nell'impianto.

✓ Raddoppio tra Bergamo e Curno

Nell'intervento di Raddoppio, sono stati adottati due paraurti ad azione frenante TIPO 1 in corrispondenza del passaggio singolo/doppio binario lato Bergamo (pk 1+660) e lato Ponte San Pietro (pk 5+003).

✓ PRG Ponte San Pietro

Nel PRG di Ponte San Pietro sono stati previsti:

- 3 paraurti ad assorbimento di energia tipo 1 in configurazione finale (tronchino di sicurezza, binari IV e V);
- 2 paraurti in c.a. tradizionali in configurazione finale in corrispondenza dei tronchini di sicurezza binari I e III (per contenere gli spazi e non invadere la proprietà privata);
- 1 paraurti ad assorbimento di energia tipo 2 provvisorio nelle fasi realizzative;
- 4 paraurti ad assorbimento di energia tipo 1 provvisori nelle fasi realizzative;
- 3 paraurti metallici FS8742 provvisori nelle fasi realizzative.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE S. PIETRO-BERGAMO-MONTELO					
	APPALTO 2: PRG PONTE S. PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
Analisi posizionamento dispositivi di fine corsa	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	02	D 26 RH	MD 00 00 001	A	8 di 26

In merito ai paraurti in CA

✓ DFC P1

Il DFC P1 è posizionato sul I binario, lato Bergamo, all'estremità di un tronchino di sicurezza. L'inserimento di un DFC ad azione frenante, dovendo garantire un tratto di binario rettilineo, antecedente i respingenti, di 20 m, avrebbe comportato l'occupazione di un'area privata nonché lo slittamento della radice di ingresso della stazione lato Bergamo, con ripercussioni sulle opere esistenti. Il paraurti in CA permette, invece, un contenimento degli spazi, senza espropri. Il DFC non è dotato di respingenti oleodinamici in quanto è posto su un tronchino di sicurezza.

⇒ PARAURTI IN CA CON RESPINGENTI TRADIZIONALI

✓ DFC P2

Il DFC P2 è posizionato sul III binario, lato Calolziocorte, all'estremità di un tronchino di sicurezza. L'inserimento di un DFC ad azione frenante, dovendo garantire un tratto di binario rettilineo, antecedente i respingenti, di 20 m, avrebbe comportato l'occupazione di un'area privata nonché un intervento consistente sulla radice esistente lato Calolziocorte. Il paraurti in CA permette, invece, un contenimento degli spazi, senza espropri. Il DFC non è dotato di respingenti oleodinamici in quanto è posto su un tronchino di sicurezza.

⇒ PARAURTI IN CA CON RESPINGENTI TRADIZIONALI

Si riporta lo schematico di configurazione finale del PRG di Ponte San Pietro.

Per il dettaglio delle fasi, si rimanda alle planimetrie.

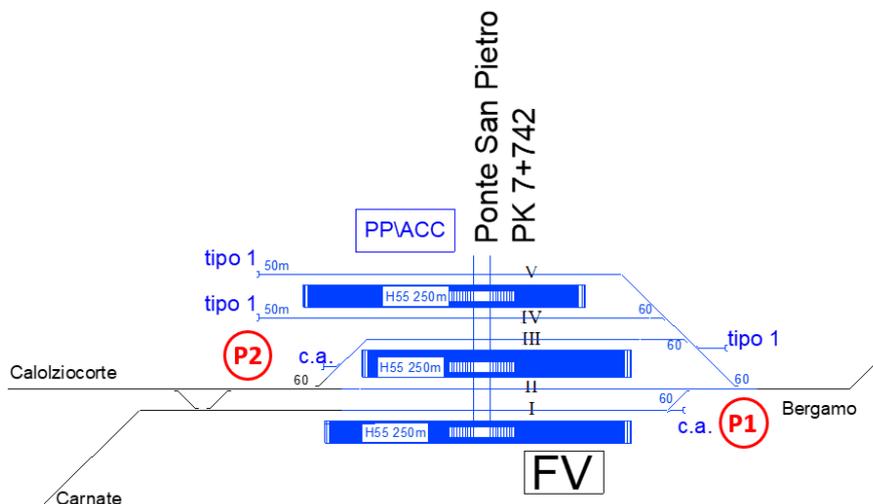


FIGURA 2 – Situazione di progetto

Analisi posizionamento dispositivi di fine corsa

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26 RH	MD 00 00 001	A	9 di 26

5. ALLEGATO 1

DIMENSIONAMENTO DISPOSITIVO DI FINE CORSA IN C.A. – Relazione di inquadramento

SOMMARIO

1	SCOPO DEL DOCUMENTO	11
2	NORMATIVE, ISTRUZIONI E PRESCRIZIONI DI RIFERIMENTO	11
3	GEOMETRIA DEL DISPOSITIVO DI FINE CORSA.....	13
4	CONFRONTO TIPOLOGIE E CONSIDERAZIONI DI CALCOLO	14
5	MODELLAZIONE ED ANALISI	16
6	ANALISI E RISULTATI.....	19
6.1	CALCOLO DELLE AZIONI VERTICALI AGENTI SUL DISPOSITIVO DI FINE CORSA	19
6.2	MODELLO GEOTECNICO	20
6.3	RISULTATI.....	21
7	VERIFICHE STRUTTURALI IN CONDIZIONI DI URTO	22
7.1	DENTE DI FONDAZIONE	22
7.2	VERIFICA ARMATURA NELLA PLATEA DI FONDAZIONE.....	24
7.3	MENSOLA TOZZA DEL RESPINGENTE	25
8	CONCLUSIONI	26

1 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione è relativa alla problematica della posa in opera dei dispositivi di fine corsa in c.a. gettato in opera.

Tale problematica sorge nei casi in cui non sia possibile l'installazione dei dispositivi di fine corsa ad assorbimento di energia omologati di Tipo 2 a causa dei limitati spazi d'arresto e/o di installazione del succitato respingente omologato.

Tali dispositivi sono stati realizzati in passato nell'ambito del progetto esecutivo del 2002 "LINEA FERROVIARIA BOLOGNA-PISTOIA Lavori di armamento e TE da P.le Ovest a Porgo Panigale (E) compreso opere civili a Piazzale Ovest (LOTTO 10)" e del progetto AS BUILT del 2009 "INTERVENTI DI ADEGUAMENTO/POTENZIAMENTO DELLA STAZIONE DI TORRILE SAN POLO DELLA LINEA PARMA-BRESCIA PROPEDEUTICO ALL'INTERRUZIONE DELLA LINEA AV". Ai fini del dimensionamento, saranno evidenziate le ripercussioni che gli aggiornamenti normativi, dettati dall'introduzione prima dalle NTC2008 e successivamente dalle NTC2018 hanno introdotto sulla problematica rispetto le opere citate, tenendo conto anche degli sviluppi delle normative ferroviarie di RFI.

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".
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 C "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI PARTE II - SEZIONE 2 PONTI E STRUTTURE".
- UIC 777-2R "Structure built over railway line – Construction requirement in the track zone".
- EN1991-7 Azioni sulle strutture.
- EN 1997-1 Progettazione geotecnica Parte 1: Regole generali.

Con riferimento alla tipologia di respingente da adottare la norma presa a riferimento è la SPECIFICA TECNICA DI FORNITURA cod. DITCARSFAR01001A del 08/07/99 emessa dalla Divisione Infrastruttura con nota DI/TC/AR/009/490 del 07/10/99.

Si riporta di seguito il testo della citata specifica tecnica:

Nell'ambito dell'aggiornamento degli impianti, allo scopo di migliorarne le condizioni di operatività e di sicurezza, questa Sede ha inteso dare nuovo e maggiore impulso all'utilizzazione di paraurti in grado di assorbire e frenare con maggior gradualità, rispetto ai convenzionali paraurti fissi FS, la marcia di colonne che non abbiano rispettato le condizioni di arresto al termine di binari tronchi.

Allo scopo è stata sviluppata l'unità Specifica Tecnica di Fornitura (class. DI.TCAR.SF.AR.01.001.A Ed. 8.7.99) che dovrà essere applicata fin dai prossimi approvvigionamenti e posta in opera di paraurti. In sintesi, tale prescrizione si sostanzia nella formulazione di due possibili tipi di paraurti:

- **Tipo 1**, da installare alle testate di binari tronchi adibiti alle circolazioni dei treni viaggiatori (o sui tronchini di sicurezza che vi si attestano), richiede uno spazio di frenatura di 10 metri e consente di arrestare convogli di massa massima di 650 t alla velocità di 15 km/h.
- **Tipo 2**, da installare sui binari tronchi adibiti alle manovre (o sui tronchini di sicurezza che vi si attestano) richiede uno spazio di frenatura di 5 metri e consente di arrestare convogli di massa massima di 500 t alla velocità di 10 km/h.

Poiché, come è anche da attendersi, non sempre sono disponibili gli spazi d'arresto succitati e talvolta la realizzazione degli stessi spazi risulterebbe eccessivamente onerosa, e, d'altro canto, non in tutti i casi le condizioni di frequenza dei binari tronchi sono tali da giustificare la maggior spesa che i paraurti innovativi in oggetto presuppongono (alcune decine di milioni contro i pochi milioni di lire dei paraurti FS convenzionali), codeste Sedi possono, nei particolari casi suddetti, riconfermare l'impiego dei convenzionali paraurti FS fissi.

Le Sedi in indirizzo sono pertanto interessate a tener conto di dette due tipologie nella formulazione dei propri fabbisogni; parimenti dovrà essere trasmessa comunicazione delle presenti indicazioni, unitamente alle allegate STF, ai Referenti di Progetto nonché a tutte le Strutture interessate alla progettazione e/o realizzazione di opere che implicano l'installazione di paraurti.

A tale ultimo riguardo resta inteso che, qualora per l'avanzato stato di realizzazione e/o progettazione delle opere, non risultasse economicamente agibile l'adeguamento alle linee guida d'impiego sopra emenate, sarà possibile, dopo attenta valutazione del caso, riconfermare la scelta eventualmente già operata dei convenzionali paraurti fissi FS.

Nel caso specifico si assume come tipologia di riferimento da adottare la "Tipo 2", la quale è in grado di arrestare un convoglio di massa massima 500t, alla velocità di 10 km/h in uno spazio di 5 m con energia massima assorbita par a 2000 kJ.

Non risulta essere presente una specifica RFI di riferimento per dispositivo di fine corsa diversi dalla tipologia ad attrito di cui alla citata specifica.

3 GEOMETRIA DEL DISPOSITIVO DI FINE CORSA

Il dispositivo di finecorsa è composto da una platea di fondazione di dimensioni 8.2x3 m ed uno spessore pari a 1.75m. Ad un estremo della fondazione è posto un dente di fondazione ad una profondità massima di 3.1 m e di spessore di 2.2m. All'estremo opposto del dente di fondazione è presente un blocco emergente di c.a. di dimensioni pari a 2.7m e di altezza emergente dalla soletta pari a 2.15m.

Su tale blocco sono installi due dispositivi di tipo fermacarro. Tali dispositivi sono previsti collegati al blocco emergente tramite una flangia posta sul paramento frontale.

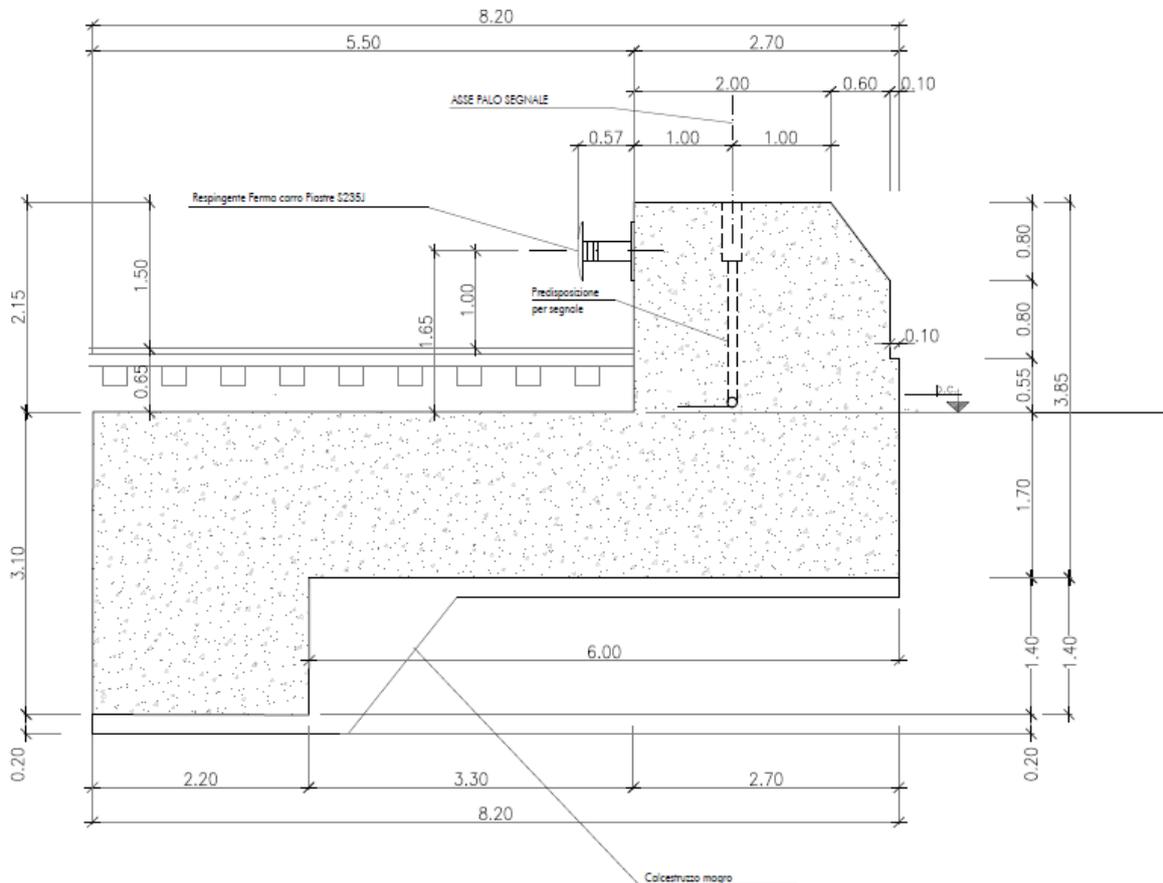


FIGURA 3 CARPENTERIE DISPOSITIVO DI FINE CORSA IN C.A.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE S. PIETRO-BERGAMO-MONTELO					
	APPALTO 2: PRG PONTE S. PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
Analisi posizionamento dispositivi di fine corsa	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	02	D 26 RH	MD 00 00 001	A	14 di 26

4 CONFRONTO TIPOLOGIE E CONSIDERAZIONI DI CALCOLO

Calcolo e verifica del dispositivo di fine corsa nella progettazione del nuovo dispositivo di fine corsa in c.a.

Non sono presenti nel MdP RFI vigente riferimenti in merito alle azioni da considerare per il calcolo dei dispositivi di fine corsa ma unicamente in merito all'urto ferroviario. Il manuale di progettazione vigente di RFI delle opere civili parte 2 – sezione 2 Ponti e strutture, richiama il DM del 17/01/2018 al 3.6.3.4.

2.6.2 AZIONI E CRITERI DI VERIFICA

2.6.2.1 AZIONI

Le azioni da considerare per il dimensionamento degli elementi strutturali sono quelle stabilite dal DM 17.01.2018 relative ai ponti stradali.

Si rappresenta l'obbligo di progettare le pile dei cavalcavia tenendo conto delle azioni di urto da traffico ferroviario come indicato al p.to 3.6.3.4 del DM del 17.01.2018.

FIGURA 4 STRALCIO DEL MDP SEZIONE 2

3.6.3.4 URTI DA TRAFFICO FERROVIARIO

Al verificarsi di un deragliamento può esservi il rischio di collisione fra i veicoli deragliati e le strutture adiacenti la ferrovia. Queste ultime dovranno essere progettate in modo da resistere alle azioni conseguenti ad una tale evenienza.

Dette azioni devono determinarsi sulla base di una specifica analisi di rischio, tenendo conto della presenza di eventuali elementi protettivi o sacrificali (respingenti) oppure di condizioni di impianto che possano ridurre il rischio di accadimento dell'evento (marciapiedi, controrotaie, ecc.). Queste azioni non si applicano sui sostegni di tettoie o di pensiline di impianti ferroviari.

In mancanza di specifiche analisi di rischio possono assumersi le seguenti azioni statiche equivalenti, in funzione della distanza d degli elementi esposti dall'asse del binario:

- per $d \leq 5$ m:
 - 4000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
 - 1500 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- per $5 \text{ m} < d \leq 15$ m:
 - 2000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
 - 750 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- per $d > 15$ m pari a zero in entrambe le direzioni.

Queste forze dovranno essere applicate a 1,80 m dal piano del ferro e non dovranno essere considerate agenti simultaneamente.

FIGURA 5 STRALCIO DEL DM 17/01/2018

Un'analisi maggiormente dettagliata del rischio provocato dal deragliamento dei treni è fornita dalla UIC 777-2R.

Tale normativa, come riportato nello stralcio in basso, è applicabile alle strutture adiacenti la ferrovia escludendo pertanto i respingenti, in quanto intesi come oggetti sacrificali atti a limitare le azioni indicate.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE S. PIETRO-BERGAMO-MONTELO					
	APPALTO 2: PRG PONTE S. PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO					
Analisi posizionamento dispositivi di fine corsa	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	02	D 26 RH	MD 00 00 001	A	15 di 26

Per il dimensionamento del dispositivo di fine corsa si farà quindi riferimento alla specifica tecnica DITCARSFAR01001A, la quale fornisce per il dispositivo di fine corsa TIPO 2 l'energia massima assorbita.

IL3.2. PRESCRITTI DI BASE, DIMENSIONI E TOLLERANZE

I paraurti devono essere del tipo scorrevole frenante per attrito, formati da una slitta d'acciaio zincato e verniciato, provvista al traverso superiore di idonei respingenti per organi di repulsione normali (e per sistemi d'attacco automatico, solo per paraurti tipo 1) ed alla base di una serie di elementi frenanti costituiti da coppie di ganasce d'acciaio zincato, pattini avvolgenti in idonea lega metallica premuti contro le rotaie del binario per mezzo di chivarde d'acciaio a serraggio prestabilito.

Le prestazioni saranno le seguenti:

Paraurti tipo 1 * (energia assorbita max 5.700 kJ) atto ad arrestare convogli di massa massima di 650 t, alla velocità di 15 km/h in uno spazio massimo di 10 m con decelerazione massima del convoglio di 2 m/s²; tale paraurti richiede di esercitare forze frenanti a gradini mediante installazione di elementi frenanti aggiuntivi posti lungo lo spazio di frenatura.

Paraurti tipo 2 ** (come per il tipo 1 ma con energia assorbita max 2000 kJ) atto ad arrestare convogli di massa massima di 500 t, alla velocità di 10 km/h in uno spazio di 5 m.

FIGURA 6 STRALCIO DELLA DITCARSFAR01001A

1 - General

The object of this leaflet is to recommend suitable measures to reduce as far as is reasonably practicable the effects of an accidental impact from a derailed vehicle against the supports of structures located above tracks and supports carrying superstructures. This leaflet refers to both preventative and protective measures (including static design measures).

The recommendations apply to the following:

- Class A structures over lines where trains travel at speeds up to and including 120 km/h,
- Class B structures over lines where passenger trains travel at speeds up to and including 300 km/h,
- Class B structures over lines where freight trains travel at speeds up to and including 160 km/h.

FIGURA 7 STRALCIO CAMPO DI APPLICAZIONE UIC 777-2R

5 MODELLAZIONE ED ANALISI

Il dimensionamento dell'opera è stato effettuato tramite l'analisi limite imponendo il bilancio energetico tra l'energia in ingresso (E), fornita dall'urto dei convogli ferroviari, e la capacità dissipativa (D), 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 respingente 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 blocco, 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_{ext} è l'energia fornita dall'urto dei convogli ferroviari;
- D_{μ} è l'energia dissipata per attrito;
- D_p è l'energia dissipata nella variazione di volume del terreno.

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

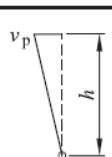
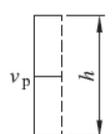
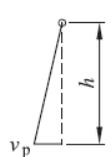
$$D_{\mu} = \tan(\varphi) * N_b * \delta_{fin}$$

Dove φ è l'angolo di attrito interno del terreno, N_b è l'azione verticale la quale provoca l'attrito terreno-fondazione (peso proprio del respingente, armamento, e convoglio sovrastante), δ_{fin} è lo spostamento finale del respingente.

L'energia dissipata per variazione di volume del terreno D_p è invece calcolata in funzione della sola componente di attivazione della spinta passiva agente sul dente di fondazione e sul paramento frontale del respingente. 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 Figura 8).

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.

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

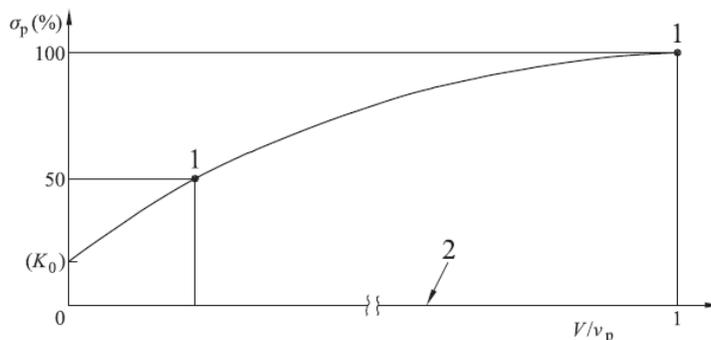


FIGURA 8 STRALCIO DELLA EN 1997-1

Nel presente caso è assunto un cinematismo di tipo *b*, il quale rispecchia maggiormente l'assunzione di scorrimento rigido della fondazione.

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

Dunque, si ottengono le seguenti relazioni:

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

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

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

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

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

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

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.
- B è la larghezza del blocco di fondazione al di sotto del piano campagna.
- 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.

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

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

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

6 ANALISI E RISULTATI

6.1 CALCOLO DELLE AZIONI VERTICALI AGENTI SUL DISPOSITIVO DI FINE CORSA

Di seguito si riporta la carpenteria del dispositivo di fine corsa in prospettiva oggetto di studio. Il blocco ha larghezza costante pari a 3 m.

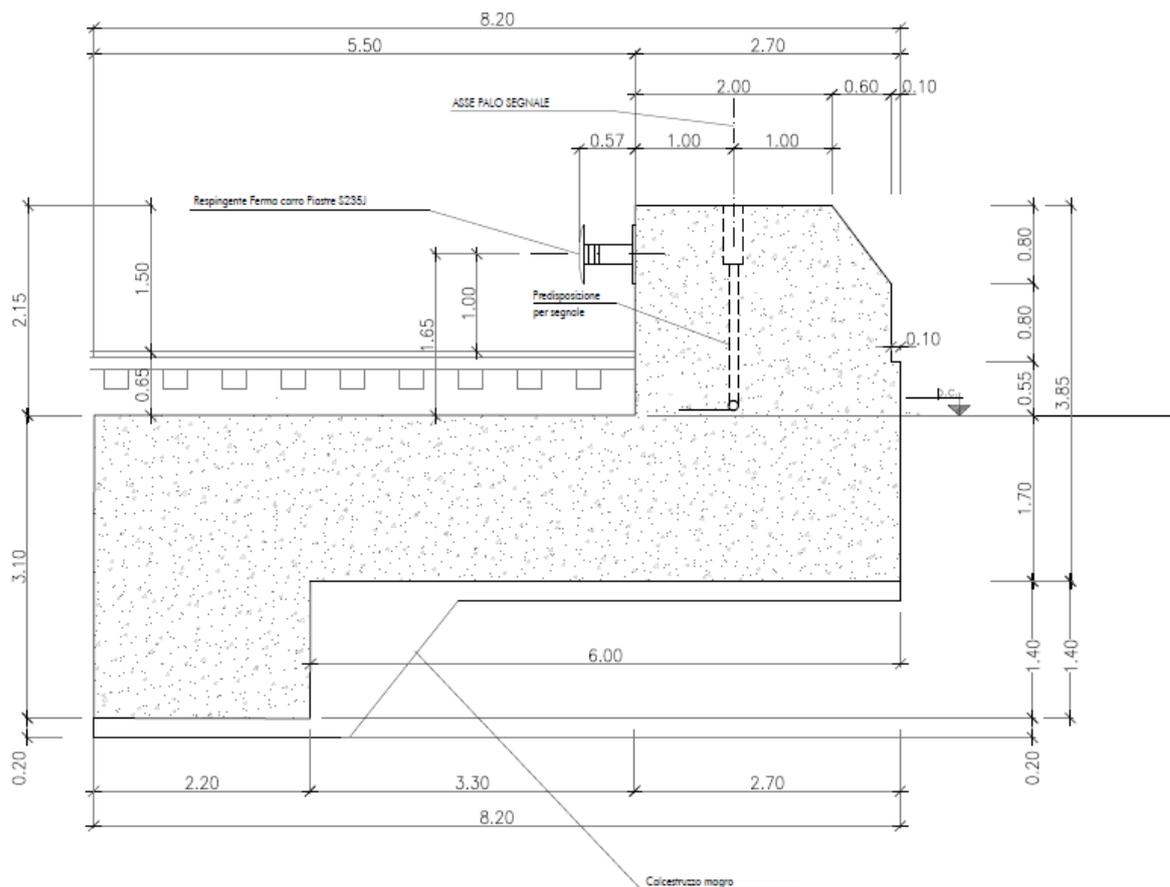


FIGURA 9 CARPENTERIE DISPOSITIVO DI FINE CORSA IN C.A.

Peso fondazione

Il peso della fondazione, escluso il magrone è pari a:

$$V_{cls} = 67,75 \text{ mc}$$

$$N_{fond} = 1693,75 \text{ kN}$$

Peso ballast

$$N_{ballast} = 18 \frac{\text{kN}}{\text{mc}} * 0.65 \text{ m} * 5 \text{ m} * 3 \text{ m} = 175,5 \text{ kN}$$

Sovraccarico ferroviario

$$N_{SW/0} = 133 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 5 \text{ m} = 665 \text{ kN}$$

Peso totale

$$N_b = N_{fond} + N_{ballast} + N_{SW/0} = 2542 \text{ kN}$$

6.2 MODELLO GEOTECNICO

Avendo trascurato la coesione, ai fini dell'analisi in essere, sono necessari unicamente il valore dell'angolo di attrito e della densità del terreno. Quindi, per valutare la sensitività dell'analisi sugli spostamenti finali del respingente, sono stati assunti due modelli geotecnici. Il primo composto da un materiale denso ($\varphi = 38^\circ, \gamma_t = 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$) ed un secondo sciolto ($\varphi = 33^\circ, \gamma_t = 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$).

6.3 RISULTATI

L'analisi è stata svolta considerando le due tipologie di terreno riportate nel prospetto C.2 del EC 7-1. Inoltre, sono stati considerati i limiti superiori ed inferiori degli spostamenti, indicati nel prospetto C.2, necessari ad attivare la spinta passiva.

Di seguito si riportano i risultati delle 4 analisi svolte ed un grafico riepilogativo del confronto dei risultati.

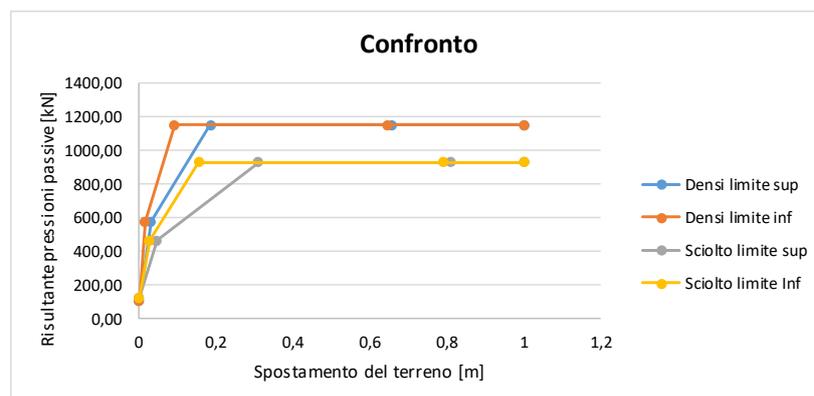
H 3,10 [m]
 B 3 [m]

Densi limite sup	
F0	105,26 kN
Fp,50	575,67 kN
Fp	1151,34 kN
Dp,50	8,92 kNm
δ_{p50}	0,03 m
Dp,100	133,84 kNm
δ_{p100}	0,19 m
Eest-Dp,50-Dp,100	1857,23 kNm
δ_{fin}	0,66 m

Densi limite inf	
F0	105,26 kN
Fp,50	575,67 kN
Fp	1151,34 kN
Dp,50	4,46 kNm
δ_{p50}	0,02 m
Dp,100	66,92 kNm
δ_{p100}	0,09 0-
Eest-Dp,50-Dp,100	1928,62 kNm
δ_{fin}	0,65 m

Sciolto limite sup	
F0	124,72 kN
Fp,50	464,53 kN
Fp	929,05 kN
Dp,50	10,80 kNm
δ_{p50}	0,05 m
Dp,100	183,60 kNm
δ_{p100}	0,31 m
Eest-Dp,50-Dp,100	1805,60 kNm
δ_{fin}	0,81 m

Sciolto limite Inf	
F0	124,72 kN
Fp,50	464,53 kN
Fp	929,05 kN
Dp,50	6,48 kNm
δ_{p50}	0,03 m
Dp,100	88,56 kNm
δ_{p100}	0,16 m
Eest-Dp,50-Dp,100	1904,96 kNm
δ_{fin}	0,79 m



7 VERIFICHE STRUTTURALI IN CONDIZIONI DI URTO

Le verifiche strutturali sono volte a garantire il funzionamento dei meccanismi dissipativi assunti nell'analisi escludendo la rottura preventiva del blocco, la quale potrebbe inficiare la dissipazione di energia calcolata in precedenza. Al fine di garantire la resistenza del blocco, sono state svolte le verifiche più gravose sul dente di fondazione e sulla platea, considerando azioni cautelative e fattori di sicurezza adeguati alle condizioni eccezionali dell'evento.

7.1 DENTE DI FONDAZIONE

Verifica a tranciamento

Per la verifica a tranciamento del dente si assume come azione agente, in via cautelativa, l'intera forza passiva sviluppata dal sistema trascurando quindi l'aliquota assorbita dalla fondazione superficiale. A tale azione è applicato il coefficiente parziale g_{G1} pari a 1,3 come prescritto dalla tabella 6.2.I della NTC2018.

Di seguito è riportata la verifica.

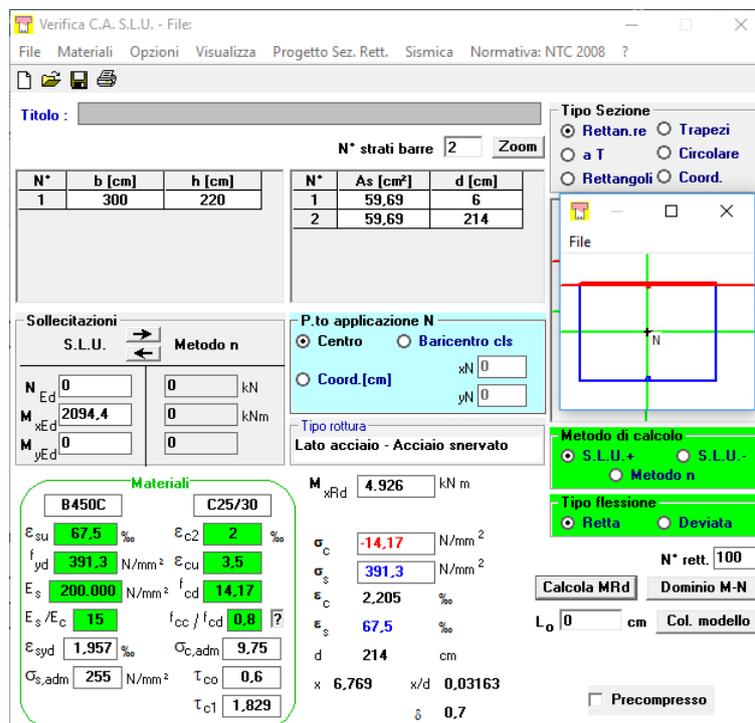
VERIFICA TAGLIO ELEMENTI NON ARMATI A TAGLIO - § 4.1.2.1.3.1

2.140,00 mm	$d =$ altezza utile della sezione
1,31	$k = 1 + (200/d)^{(1/2)} \leq 2$
3.000,00 mm	$b_w =$ Larghezza minima della sezione (in mm)
0,001	$\rho_1 =$ Rapporto Geometrico di Armatatura Longitudinale
25,00 N/mm ²	f_{ck}
N	N_{Ed}
0,00 N/mm ²	$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$
0,2611	V_{min}
0,2036	$V' = 0,18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{(1/3)} / \gamma_c$
1.676,26 kN	V_{Rd}
1.496,75 kN	$V_{ed} = F_{p,max} * 1,3$
1,12	FS

Verifica armatura del dente

Nel dente di fondazione si prevede un'armatura di 19Ø20 sia in zona tesa che in zona compressa.

È stato considerato il braccio delle forze agenti sul dente pari a 1,4 m, pari all'altezza del dente.



Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: _____

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	300	220	1	59,69	6
			2	59,69	214

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
M_{xEd}: 2094,4 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
Coord. [cm]: xN 0, yN 0

Tipo rottura: Lato acciaio - Acciaio snervato

M_{xRd}: 4,926 kNm

Materiali: B450C C25/30

ε _{su} : 67,5 ‰	ε _{c2} : 2 ‰	σ _c : -14,17 N/mm²
f _{yd} : 391,3 N/mm²	ε _{cu} : 3,5 ‰	σ _s : 391,3 N/mm²
E _s : 200.000 N/mm²	f _{cd} : 14,17	ε _c : 2,205 ‰
E _s /E _c : 15	f _{cc} /f _{cd} : 0,8	ε _s : 67,5 ‰
ε _{syd} : 1,957 ‰	σ _{c,adm} : 9,75	d: 214 cm
σ _{s,adm} : 255 N/mm²	τ _{co} : 0,6	x: 6,769 x/d: 0,03163
	τ _{c1} : 1,829	δ: 0,7

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀: 0 cm Col. modello

Precompresso

FIGURA 10 VERIFICA DENTE DI FONDAZIONE

Nonostante il calcolo cautelativo la verifica è ampiamente soddisfatta.

$$FS = \frac{M_{x,Rd}}{M_{x,ED}} = 2,35$$

7.2 VERIFICA ARMATURA NELLA PLATEA DI FONDAZIONE

La platea è irrigidita dal dente di fondazione e dal blocco di arresto fuori terra. Le dimensioni dei due elementi garantiscono il comportamento rigido della fondazione, essendo la platea totalmente in zona di discontinuità, pertanto le azioni agenti nella platea saranno trasmesse rigidamente dal dente di fondazione. L'azione assiale di trazione ed il momento flettente agente sono pertanto pari, rispettivamente, al taglio e al momento trasmesso dal dente di fondazione.

Nella platea sono previsti 19 \varnothing 20 sia superiormente che inferiormente e 4 \varnothing 16 correnti disposti sulla mezzera della fondazione.

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	300	175	1	59,69	6
			2	8,04	87
			3	59,69	169

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -1496,75 0 kN
 M_{xEd} 2094,4 0 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
 Lato acciaio - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L_o 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali
 B450C C25/30
 ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,17 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ε_{syd} 1,957 ‰ σ_{c,adm} 9,75
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

M_{xRd} 2.903 kN m
 σ_c -14,17 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ε_c 2,143 ‰
 ε_s 67,5 ‰
 d 169 cm
 x 5,201 x/d 0,03078
 δ 0,7

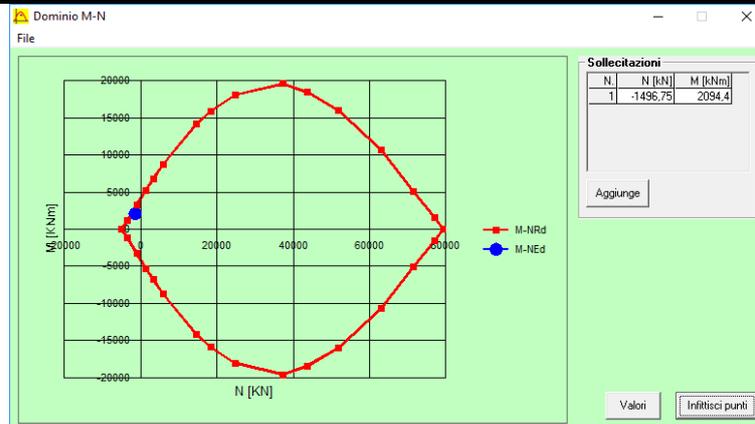


FIGURA 11 VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE

$$FS = \frac{M_{x,Rd}}{M_{x,Ed}} = 1,38$$

7.3 MENSOLA TOZZA DEL RESPINGENTE

In analogia a quanto svolto per il dente di fondazione e per la platea di fondazione, le azioni agenti sul respingente sono trasmesse in modo rigido dal dente e dalla platea di fondazione. Pertanto, l'azione agente di tranciamento nella mensola tozza del respingente è pari all'azione di tranciamento nel dente di fondazione, ed essendo lo spessore del dente di fondazione pari a 2,2 m e lo spessore del respingente pari a 2,8 m, la verifica a tranciamento della mensola è soddisfatta in quanto è stata considerata unicamente il contributo resistente del calcestruzzo privo di armatura.

8 CONCLUSIONI

Questo documento ha avuto come scopo il dimensionamento di un finecorsa in c.a.. Sono state analizzate le metodologie di calcolo adottate in fase di progettazione su due respingenti progettati nel 2002 e nel 2009. Successivamente si è evidenziato che, in seguito agli aggiornamenti normativi intercorsi, tali metodologie non risultano applicabili alla progettazione attuale. È stato quindi assunto come dato dimensionante l'energia dissipativa dei dispositivi di fine corsa ad assorbimento di TIPO 2, omologati ed attualmente utilizzati come standard (2000 kJ). È stato quindi adottato un metodo di calcolo di tipo energetico per la verifica della compatibilità degli spostamenti subiti dal dispositivo di fine corsa in caso di impatto.

L'analisi svolta è di tipo analisi limite, pertanto sono stati individuati due cinematismi compatibili e congruenti con le condizioni al contorno del sistema terreno/fondazione. È stata quindi calcolata l'energia dissipativa legata ai due cinematismi considerati in funzione dello spostamento del terreno. I due cinematismi considerati sono: attrito fondazione terreno e percorso di attivazione di spinta passiva. Imponendo la completa dissipazione dell'energia data dall'urto è stato quindi calcolato lo spostamento massimo dovuto all'urto per due tipologie di terreno, sciolto e denso. Dalle analisi svolte si è ottenuto il valore massimo di spostamento pari a 81 cm. Si ritiene che tale spostamento è compatibile con le casistiche comuni in ambito ferroviario.

Tuttavia, si sottolinea che lo spostamento calcolato sia legato unicamente ai due cinematismi individuati. Nel calcolo sono state trascurate altre fonti dissipative (quali attrito del terreno laterale al respingente, dissipazione dovuta allo scorrimento dei diversi cunei di terreno, inerzia del respingente stesso, ecc.). La presenza di tali fonti dissipative ulteriori porta ad una diminuzione dello spazio di arresto dei convogli impattanti, aumentando la forza inerziale di impatto sul convoglio per la quale si potrebbero attivare meccanismi dissipativi nel convoglio stesso.