

**DATA EMISSIONE** 



Committente Principale



# AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE AMERIGO VESPUCCI

Opera

# **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035**

Titolo Documento Completo

# OPERE DI VIABILITÀ Relazione di Calcolo Strutturale

Livello di Progetto

# PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

**SCALA** 

CODICE FILE COMPLETO

PFTE	00	Ottobre 2022	-	FLR-MPL-PFTE-VBT2-003-OC-RT_Rel Strut Op Civ Viab  TITOLO RIDOTTO  Rel Strut Op Civ Viab			

00	09/2022	Prima Emissione	TAE, SITECO	D. Vestrini	L. Tenerani
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

COMMITTENTE PRINCIPALE	GRUPPO DI PROGETTAZIONE	SUPPORTI SPECIALISTICI
Toscana Aeroporti  ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti	Toscana Aeroporti e n g i n e e r i n g  DIRETTORE TECNICO Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	PROGETTAZIONE SPECIALISTICA  Toscana Aeroporti engineering  Donata Vestrini Ordine degli ingegneri di Firenze N°6703
POST HOLDER PROGETTAZIONE AD INTERIM Dott. Vittorio Fanti  POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'Ippolito	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  Donata Vestrini  Ordine degli ingegneri di Firenze N°6703	SUPPORTO SPECIALISTICO  SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE PER ADEGUAMENTO E SVILUPPO DELLE OPERE INFRASTRUTTURALI  SITECO  ENGINEERING COMPANY
POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO Geom. Luca Ermini		PROGETTISTA SPECIALISTICO Ing. Andrea Burchi

È SEVERAMENTE VIETATA LA RIPRODUZIONE E/O LA CESSIONE A TERZI SENZA AUTORIZZAZIONE DELLA COMMITTENTE



# **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# INDICE

_	A-1	Descrizione generale deli opera	3
2	A-2	Normativa di riferimento	7
3	A-3	Materiali	10
	3.1	Calcestruzzo	10
	3.2	Acciaio	14
	3.3	Durabilità dei materiali	14
4	A-4	Parametri geotecnici	21
5	A-5	Criteri di calcolo	22
6	A-6	Carichi	26
	6.1	Azioni permanenti strutturali (G1)	26
	6.2	Azioni permanenti non strutturali (G2)	26
	6.3	Spinta del terreno (G3)	27
	6.4	Azione sismica (E)	29
	6.5	Ritiro del calcestruzzo (ε2)	30
	6.6	Variazioni termiche (ε3)	34
	6.7	Cedimenti vincolari (ε4)	34
	6.8	Azioni accidentali da carichi mobili di veicoli e aeromobili (Q1)	35
	6.9	Spinte sui piedritti	38
	6.10	Azione di svio veicolare (Q8)	39
	6.11	Azioni di frenatura (Q3)	40
7	Com	nbinazioni di carico	41
	7.1	SLU	41
	7.1.3	1 Stati Limite Ultimi strutturali	41
	7.1.2	2 Stati Limite di Esercizio strutturali e geotecnici	42
	7.1.3	3 Stati Limite di Esercizio strutturali e geotecnici	42
	7.2	Azioni di calcolo	42



# MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

	7.3	Resistenze di calcolo	45
	7.4	Sollecitazioni di calcolo	46
	7.5	Verifiche degli elementi in cemento armato	56
	7.5.1	Verifiche agli Stati Limite Ultimi	56
	7.5.2	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio	58
	7.5.3	Verifiche allo Stato Limite di Fessurazione	58
	7.6	Verifiche strutturali travi	61
	7.7	Verifiche strutturali diaframmi	65
8	Anal	isi longitudinale (Modello B)	.68
	8.1	Sollecitazioni di calcolo	68
	8.2	Verifiche strutturali	68



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 1 A-1 Descrizione generale dell'opera

Toscana Aeroporti S.p.A, ha affidato alla Toscana Aeroporti Engineering S.r.l. la redazione del progetto di fattibilità tecnico economica delle opere di riassetto della rete di mobilità e viabilità esterna al futuro sedime aeroportuale; in particolare, il progetto comprende la variante alla viabilità locale, che collega Sesto Fiorentino con Osmannoro, interessata dalla realizzazione della nuova pista dell'Aeroporto Internazionale "Amerigo Vespucci" di Firenze, delle sue opere accessorie e di quelle di compensazione. La realizzazione di tale viabilità ricade fra le opere previste nel Master Plan 2035 del nuovo aeroporto.

La nuova pista aeroportuale interrompe la Via dell'Osmannoro e il Fosso Reale, che attualmente corre parallelo a Via dell'Osmannoro, per il tratto a Nord dell'Autostrada A11 Firenze-Mare, per poi deviare verso Ovest a sud di essa. La risoluzione di tale interferenza richiede la realizzazione di una nuova viabilità ed una serie di opere d'arte per gli attraversamenti idraulici.

L'intervento in progetto ricade per la maggior parte nel territorio del Comune di Sesto Fiorentino e, per una piccola porzione, nel territorio del Comune di Firenze.

A seguire vengono presentati i calcoli preliminari eseguiti per il dimensionamento della "Galleria Milano" " Metodo Top Down" che sottopassa la nuova pista areoportuale garantendo la continuità dei collegamenti stradali sulla Via dell' Osmano.

L'opera in oggetto presenta il medesimo schema statico strutturale per tutte le sezioni trasversali, con la sola differenza nei ricoprimenti di terreno, variabili in base all'interferenza con le infrastrutture esterne intercettate.

La galleria è formata da due corpi principali:

un telaio esterno costituito da diaframmi laterali in continuità con il traverso vasca interna vera e propria agganciata ai cordoli di testa diaframmi

L'impalcato viene costruito varando prima le travi prefabbricate in c.a.p. sui cordoli e poi gettando i nodi di appoggio; una volta resa continua la struttura prefabbricata si gettano i traversi e la soletta di impalcato.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

Il terreno viene scavato a foro cieco al di sotto dell'impalcato, che fa da puntone in testa ai diaframmi.

Una volta completato lo scavo, la struttura risulta ancora non completamente reinterrata ma comunque soggetta al transito degli automezzi di cantiere.

All'interno si realizza la vasca in c.a. impermeabile secondo il metodo della "vasca bianca".

Le pareti della vasca vengono agganciate ai cordoli diaframmi.

L'estradosso delle vasche è posto a circa 10 cm al di sotto del piano stradale, pertanto l'intera idraulica di piattaforma è stata progettata e dimensionata per essere contenuta all'interno della vasca stessa (collettori, scarichi laterali e canalette di raccolta), la quale verrà realizzata con fondazione in perfetta continuità e assenza di giunti strutturali intermedi.

Per la parte immersa si adottano calcestruzzi impermeabili e, posando opportunamente in fase di costruzione dei giunti di fessurazione, in fase definitiva è possibile conseguire la perfetta tenuta dei conci reiniettando le apposite canalette lungo i giunti di costruzione.

Dato che la fondazione in c.a. della vasca è anche il sottofondo rigido di base della pavimentazione stradale, formata da un pacchetto di tipo drenante di spessore 10 cm, particolare attenzione è stata rivolta a garantire una limitata fessurazione di estradosso.

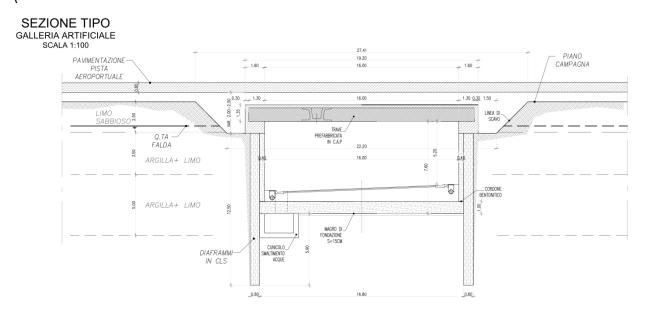
Nell'analisi strutturale esecutiva si dovrà tenere conto delle possibili distorsioni differenziali (variazioni termiche e ritiro per le diverse fasi costruttive) che le strutture possono subire.

Anche la platea di fondazione della vasca infatti, essendo un elemento sottile a basso ricoprimento, a contatto con il terreno e soggetta a carichi ciclici da traffico, di fatto si comporta in parte come una soletta di impalcato da ponte.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità



Le opere oggetto della presente relazione sono state progettate e calcolate secondo i metodi della scienza delle costruzioni, adottando per le verifiche il criterio degli stati limite (S.L.).

I criteri generali di sicurezza, le azioni di calcolo e le caratteristiche dei materiali sono stati assunti in conformità con D.Min. Infrastrutture e dei Trasporti 17 Gennaio 2018 e allegato Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" – NTC 2018, Circolare 21 gennaio 2019 n.7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".

Con riferimento alle NTC, per le opere in oggetto si considerano i seguenti parametri di calcolo: Vita nominale VN = 50 anni

(§ 2.4.1 "Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale")

#### Classe d'uso IV

(§ 2.4.2, "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.")

Coefficiente d'uso CU = 2.0

Periodo di riferimento VR = VN\*CU = 100 anni ≥ 35 anni

Le opere provvisionali, accessorie alla realizzazione delle opere in progetto, sono state sempre progettate e calcolate adottando il criterio degli stati limite (S.L.)., con i seguenti parametri di calcolo:

Vita nominale VN = 10 anni

(§ 2.4.1 "Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva")

Classe d'uso II

(§ 2.4.2, "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti")

Coefficiente d'uso CU = 1.0

Periodo di riferimento VR = VN\*CU = 10 anni ≥ 35 anni



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 2 A-2 Normativa di riferimento

Legge 5 Novembre 1971, n.1086: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica."

Legge 2 Febbraio 1974, n. 64: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche."

D.Min. Infrastrutture Min. Interni e Prot. Civile 14 Gennaio 2008 e allegate "Norme tecniche per le costruzioni" – NTC 2008 (per parti ancora valide)

D.Min. Infrastrutture e dei Trasporti 17 Gennaio 2018 e allegato Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" – NTC 2018

Circolare 21 gennaio 2019 n.7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"

UNI EN 1990:2006 13/04/2006 Eurocodice 0 - Criteri generali di progettazione strutturale.

UNI EN 1991-1-1:2004 01/08/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici.

UNI EN 1991-2:2005 01/03/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti.

UNI EN 1991-1-3:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve.

UNI EN 1991-1-4:2005 01/07/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.

UNI EN 1991-1-5:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche.

UNI EN 1992-1-1:2005 24/11/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

UNI EN 1992-1-2:2005 01/04/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio.

UNI EN 1993-1-1:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

UNI EN 1993-1-8:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.

UNI EN 1994-1-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

UNI EN 1994-2:2006 12/01/2006 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 2: Regole generali e regole per i ponti.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

UNI EN 1995-1-1:2005 01/02/2005 Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-1: Regole generali – Regole comuni e regole per gli edifici.

UNI EN 1995-2:2005 01/01/2005 Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 2: Ponti.

UNI EN 1996-1-1:2006 26/01/2006 Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata.

UNI EN 1996-3:2006 09/03/2006 Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata.

UNI EN 1997-1:2005 01/02/2005 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.

UNI EN 1998-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.

UNI EN 1998-3:2005 01/08/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici.

UNI EN 1998-5:2005 01/01/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

AICAP maggio 1993: Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni



### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 3 A-3 Materiali

Per gli elementi strutturali in cemento armato è previsto l'impiego dei seguenti materiali.

# 3.1 Calcestruzzo

# Calcestruzzo per pali, diaframmi, cordoli interrati

Classe minima C25/30

Classe di esposizione ambientale XC2

aratteris	tiche del calcestruzzo (classi ≤ C50/60)					
Classe	C25/30					
Rck =	Resistenza cubica caratteristica	30	MPa			
fck =	Resistenza cilindrica caratteristica	25	MPa			
Rcm =	Resistenza cubica media	39,64	MPa			
fcm =	Resistenza cilindrica media	32,90	MPa			
Rctm =	Resistenza cubica media trazione	3,08	MPa			
fctm =	Resistenza cilindrica media trazione	2,56	MPa			
Rctk0,05 =	Resistenza cubica trazione frattile 5%	2,16	MPa			
fctk0,05 =	Resistenza cilindrica trazione frattile 5%	1,79	MPa			
Rctk0,95 =	Resistenza cubica trazione frattile 95%	4,01	MPa			
fctk0,95 =	Resistenza cilindrica trazione frattile 95%	3,33	MPa			
Rcfm =	Resistenza cubica media trazione per flessione	3,70	MPa			
fcfm =	Resistenza cilindrica media trazione per flessione	3,07	MPa			
Ecm =	Modulo elastico istantaneo	31447	MPa			
fcd =	Resistenza calcolo compressione	14,11	MPa			
fctd =	Resistenza calcolo trazione	1,19	MPa			
fbk =	Resistenza tangenziale caratteristica acc-cls	4,03	MPa	barre φ ≤ 32 mm		
fbd =	Resistenza tangenziale calcolo acc-cls	2,69	2,69 MPa armature non addensate			
fbd =	Resistenza tangenziale calcolo acc-cls					



# MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# Calcestruzzo per fondazioni

Classe minima C30/37

Classe di esposizione ambientale XC2 – XF2

u. accerts	stiche del calcestruzzo (classi ≤ C50	,, 55,				
Classe	C30/37					
Rck =	Resistenza cubica caratteristica	37	MPa			
fck =	Resistenza cilindrica caratteristica	31	MPa			
Rcm =	Resistenza cubica media	46,64	MPa			
fcm =	Resistenza cilindrica media	38,71	MPa			
Rctm =	Resistenza cubica media trazione	3,54	MPa			
fctm =	Resistenza cilindrica media trazione	2,94	MPa			
Rctk0,05 =	Resistenza cubica trazione frattile 5%	2,48	MPa			
fctk0,05 =	Resistenza cilindrica trazione frattile 5%	2,06	MPa			
Rctk0,95 =	Resistenza cubica trazione frattile 95%	4,61	MPa			
fctk0,95 =	Resistenza cilindrica trazione frattile 95%	3,82	MPa			
Rcfm =	Resistenza cubica media trazione per flessio	ne <b>4,25</b>	MPa			
fcfm =	Resistenza cilindrica media trazione per fless	sione <b>3,53</b>	MPa			
Ecm =	Modulo elastico istantaneo	33019	MPa			
fcd =	Resistenza calcolo compressione	17,40	MPa			
fctd =	Resistenza calcolo trazione	1,37	MPa			
fbk =	Resistenza tangenziale caratteristica acc-cls	4,63	MPa	barre φ ≤ 32 mm		
fbd =	Resistenza tangenziale calcolo acc-cls	3,09	MPa	armature non addensate		
fbd =	Resistenza tangenziale calcolo acc-cls	2,06	MPa	armature addensate o zona	a te	



### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# Calcestruzzo per elevazioni, profili redirettivi, scatolare prefabbricato

Classe minima C32/40

Classe di esposizione ambientale XC4 - XD1 – XF2

Calcestruzzo per soletta e predalles impalcato, velette prefabbricate

Classe minima C32/40

Classe di esposizione ambientale XF2 (XC3-XF2 predalles e velette)

				assi ≤ C50/60)					
Classe	C32/40								
Rck =	Resistenza	cubica car	atteristica		40	MPa			
fck =	Resistenza	cilindrica	caratteristic	ca	33	MPa			
Rcm =	Resistenza	cubica me	dia		49,64	MPa			
fcm =	Resistenza	cilindrica ı	media		41,20	MPa			
Rctm =	Resistenza	cubica me	dia trazion	e	3,73	MPa			
fctm =	Resistenza	cilindrica ı	media trazi	one	3,10	MPa			
Rctk0,05 =	Resistenza	cubica tra	zione fratti	le 5%	2,61	MPa			
fctk0,05 =	Resistenza	cilindrica t	razione fra	ttile 5%	2,17	MPa			
Rctk0,95 =	Resistenza	cubica tra	zione fratti	le 95%	4,85	MPa			
fctk0,95 =	Resistenza	cilindrica t	razione fra	ttile 95%	4,03	MPa			
Rcfm =	Resistenza	cubica me	dia trazion	e per flessione	4,48	MPa			
fcfm =	Resistenza	cilindrica ı	media trazi	one per flessione	3,72	MPa			
Ecm =	Modulo ela	astico istar	ntaneo		33643	MPa			
fcd =	Resistenza	calcolo co	mpression	e	18,81	MPa			
fctd =	Resistenza	calcolo tra	azione		1,45	MPa			
fbk =	Resistenza	tangenzia	e caratteri:	stica acc-cls	4,88	MPa	barre φ ≤ 32 mm		
fbd =	Resistenza	tangenzia	e calcolo a	cc-cls	3,25	MPa	armature r	on addensa	ate
fbd =	Resistenza	tangenzia	e calcolo a	cc-cls	2,17	MPa	armature addensate o zona te		



### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# Calcestruzzo per travi prefabbricate impalcato

Classe minima C45/55

Classe di esposizione ambientale XC3 – XF2

a. accers	stiche del calcestruzzo (classi ≤ C50/60)					
Classe	C45/55					
Rck =	Resistenza cubica caratteristica	55	MPa			
fck =	Resistenza cilindrica caratteristica	46	MPa			
Rcm =	Resistenza cubica media	64,64	MPa			
fcm =	Resistenza cilindrica media	53,65	MPa			
Rctm =	Resistenza cubica media trazione	4,62	MPa			
fctm =	Resistenza cilindrica media trazione	3,83	MPa			
Rctk0,05 =	Resistenza cubica trazione frattile 5%	3,23	MPa			
fctk0,05 =	Resistenza cilindrica trazione frattile 5%	2,68	MPa			
Rctk0,95 =	Resistenza cubica trazione frattile 95%	6,00	MPa			
fctk0,95 =	Resistenza cilindrica trazione frattile 95%	4,98	MPa			
Rcfm =	Resistenza cubica media trazione per flessione	5,54	MPa			
fcfm =	Resistenza cilindrica media trazione per flessione	4,60	MPa			
Ecm =	Modulo elastico istantaneo	36416	MPa			
fcd =	Resistenza calcolo compressione	25,87	MPa			
fctd =	Resistenza calcolo trazione	1,79	MPa			
fbk =	Resistenza tangenziale caratteristica acc-cls	6,04	MPa	barre φ ≤ 32 mm		
fbd =	Resistenza tangenziale calcolo acc-cls	4,02	MPa	armature non addensate		
fbd =	Resistenza tangenziale calcolo acc-cls	2,68	MPa	armature addensate o zona tes		



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 3.2 Acciaio

### Acciaio in barre per cemento armato

Classe	B450C		
Tensione caratteristica di rottura a trazione	$f_{tk} =$	≥ <b>540</b>	MPa
Tensione caratteristica di snervamento a trazione	$f_{yk} =$	$\geq 450$	MPa
Modulo elastico	E <sub>s</sub> =	200000	MPa
Stato limite ultimo			
Coefficiente parziale di sicurezza	γ <sub>S</sub> =	1.15	
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
Valore ultimo della deformazione a trazione	$\varepsilon_{cu}$ = 10 ‰		
Stato limite di esercizio			
Tensione max di trazione	$\sigma_s = 0.80 * f_{yk} =$	360.00	MPa

### Acciaio per cemento armato precompresso

Classe	Acciaio per c.a.p. seco	ndo NTC2018	3
Trefoli diametro 0.6"			
Area del singolo trefolo	A <sub>s</sub> =	1.39 cm <sup>2</sup>	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{p(1)k} \ge$	1670 MPa	ì
Tensione caratteristica a rottura	$f_{ptk} \ge$	1860 MPa	ì
Modulo elastico di calcolo	E <sub>s</sub> =	195000 MI	Pa
Tensione massima iniziale (tesatura)	$\sigma_{spi} = 0.85 * f_{p(1)k} =$	1419.50 M	Pa
Tensione massima in esercizio	$\sigma_{sp} = 0.80 * f_{p(1)k} =$	1336.00 M	Pa

# 3.3 Durabilità dei materiali

# Conglomerati cementizi

Le classi di esposizione e le conseguenti limitazioni sulla composizione del calcestruzzo sono state ricavate ai sensi della normativa UNI EN 206-1 e UNI 11104, delle istruzioni contenute nella C.M. per l'applicazione delle NTC2018.

A seconda dell'esposizione ambientale, per opere con VN = 50 anni la circolare al punto C4.1.6.1.3 impone il rispetto dei limiti di copriferro minimi cmin riportati nella tabella successiva e, per strutture con VN = 100 anni, una maggiorazione pari a cmin+10 mm, per classi di resistenza inferiori a Cmin i valori sono da aumentare pari a cmin+5 mm, se i controlli di produzione sono di qualità può essere considerato cmin -5 mm.

Le tolleranze di posa sono denominate  $\Delta$ cdev e variano a seconda dei casi (getto controterra, su cassero, ecc...).



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

		barre da c.a.		barre da c.a.		cavi da c.a.p.		cavi da c.a.p.		
		elementi a piastra altri elementi		elementi a piastra		altri elementi				
C <sub>min</sub>	Co	ambiente	C≥C <sub>o</sub>	C <sub>min</sub> ≤C <c<sub>o</c<sub>						
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Copriferri minimi in mm (VN = 50 anni)

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

# Condizioni ambientali e classi di esposizione

Per i pali di fondazione, i diaframmi e i cordoli interrati, la classe di esposizione è determinata dal fatto che la struttura è immersa nel terreno a contatto le acque di falda. Non si hanno facce a vista verso l'ambiente esterno, pertanto non occorrono particolari attenzioni dal punto di vista estetico.

La zona esposta è immersa in acqua o terreno non aggressivo. Si considera quindi classe XC2 con le relative limitazioni:

- Rapporto acqua/cemento < 0.60

- Classe di resistenza > C25/30

- Dosaggio cemento > 300 kg/m3

Le struttura in esame sono in ambiente ordinario, pertanto adottando copriferro minimo nominale c = 40 mm per le fondazioni e c = 50 mm per pali e diaframmi (inteso come spessore netto di ricoprimento) si ha:

Per le elevazioni e i profili redirettivi la classe di esposizione è determinata dal fatto che la struttura è in contatto con l'ambiente esterno dove avviene il transito veicolare. La zona esposta è quindi a vista,



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

soggetta ad umidità moderata con spruzzi d'acqua eventualmente contenenti cloruri e indirettamente a contatto con acqua piovana contenente agenti disgelanti.

Si considera quindi classe XC4-XD1-XF2 con le relative limitazioni

- Rapporto acqua/cemento < 0.50

- Classe di resistenza > C32/40

- Dosaggio cemento > 340 kg/m3

- Contenuto di aria > 4%

- Aggregati di adeguata resistenza al gelo/disgelo (conformi alla UNI EN 12620)

Le struttura in esame sono in ambiente aggressivo, pertanto adottando copriferro minimo nominale c = 40 mm (inteso come spessore netto di ricoprimento) si ha:

cnom = cmin +  $\Delta$ cdev + 0 = 25 + 10 + 0 = 35 mm < c = 40 mm OK VERIFICATO

Per i cunicoli scatolari prefabbricati dello smaltimento acque la classe di esposizione è determinata dal fatto che la struttura è in contatto con eventuali acque di sversamento della carreggiata stradale. La zona esposta è solo la superficie interna dello scatolare, soggetta a condizioni di asciutto o bagnato con potenziale attacco chimico, di tipo leggero, dei liquidi di sversamento.

Si considera quindi classe XA1 con le relative limitazioni:

- Rapporto acqua/cemento < 0.55

- Classe di resistenza > C30/37

- Dosaggio cemento > 320 kg/m3

Le struttura in esame sono in ambiente aggressivo e soggette a controllo di qualità di produzione, pertanto adottando copriferro minimo nominale c = 30 mm (inteso come spessore netto di ricoprimento) si ha:

 $cnom = cmin + \Delta cdev + 0 = 25 + 5 + 0 = 30 \text{ mm}$  < c = 30 mm OK VERIFICATO



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

Per la travi prefabbricate, la classe di esposizione è determinata dal fatto che la struttura è in contatto solo con l'ambiente interno dove avviene il transito veicolare. La zona esposta è quindi a vista, soggetta ad umidità bassa e indirettamente a contatto con acqua piovana contenente agenti disgelanti. Si considera quindi classe XC3-XF2 con le relative limitazioni:

Rapporto acqua/cemento < 0,5

Classe di resistenza C30/37

Dosaggio cemento > 340 kg/m3

Contenuto di aria > 4%

Aggregati di adeguata resistenza al gelo/disgelo (conformi alla UNI EN 12620)

Le struttura in esame sono in ambiente ordinario, pertanto adottando copriferro minimo nominale c = 30 mm (inteso come spessore netto di ricoprimento) per le armature ordinarie e c = 40 mm per le armature pretese si ha:

### Resistenza al fuoco

Con riferimento al § 3.6.1.2 delle NTC, in accordo con le caratteristiche funzionali dell'opera, può essere assunto il seguente livello prestazionale in caso di incendio:

#### Livello III:

"Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza".

Tale livello di prestazione risulta comunque da concordare e confermare con le autorità competenti dei Vigili del Fuoco.

L'elemento strutturale critico in fase di incendio all'interno della galleria è il traverso di copertura, costituito dalla trave prefabbricata in c.a.p. e la soletta superiore, entrambi collegate in continuità con i cordoli laterali dei diaframmi ed esposta solo all'intradosso.

Nonostante l'esecuzione di una analisi termica specifica per individuare l'evoluzione del carico di incendio nel tempo possa permettere una valutazione più accurata della classe di resistenza al fuoco, restando



### MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

estremamente a favore di sicurezza, si fa riferimento alle indicazioni e alle prescrizioni dei metodi tabellari semplificati contenute nella UNI ENV 1992-1-2 (EC2), in particolare in §4.2.6 per quanto riguarda le travi continue esposte all'incendio su tre lati.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

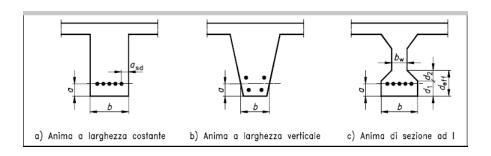
Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

prospetto 4.6 Dimensione minima e distanza *a* per travi continue di calcestruzzo armato ordinario e calcestruzzo armato precompresso

Resistenza all'incendio	Dimensioni minime (mm)			
standard	Possibili combinazioni fra a e b <sub>r</sub> larghezza della trave	a media a <sub>m</sub> e b <sub>min</sub> è la	Spessore dell'anima $b_{\mathrm{W}}$	
1	2	3	4	5
R 30	b <sub>min</sub> = 80 a = 12 *)	160 12 *)	200	80
R 60	b <sub>min</sub> = 120	200	300	100
R 90	b <sub>min</sub> = 150	250	400	100
R 120	$a = 35$ $b_{\min} = 220$	300	500	120
R 180	a = 45 b <sub>min</sub> = 380	35 400	35 600	140
R 240	a = 60 b <sub>min</sub> = 480	500 70	700	160
	$a = 70$ $a_{Sd} = a + 10 \text{ mm}$ (vedere nota seguente)	60		

Si raccomanda di fare attenzione all'incremento della distanza a, secondo il punto 4.2.2(4) per le travi di calcestruzzo precompresso.

<sup>\*)</sup> Di regola, dovrà essere controllato il copriferro richiesto dalla ENV 1992-1-1.



Parametri geometrici per travi continue secondo EC2

Per il caso in oggetto, dato che la trave prefabbricata presenta una doppia anima e una piattabanda inferiore allungata, si considerano le indicazioni normative applicate a mezza sezione strutturale in modo da ricadere nel caso c) della figura precedente.

Si desumono i valori minimi di ricoprimento a dalla tabella precedente e si verificano a posteriori gli spessori di copriferro reali di progetto:

da tabella per R90 -> a = 35 mm bmin =150 mm bw = 160 mm

 $a_{\rm sd}$  è la distanza (della barra) da una parete della trave per barre in corrispondenza degli angoli (fili o cavi da pretensione) in travi con un solo strato di barre d'armatura. Per valori di  $b_{\rm min}$  maggiori di quelli indicati nella colonna 3 non sono richiesti incrementi per il valore a.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

b = 700+50 = 750 mm > 1.4\*bw = 224 mm (distanza metà ala inferiore trefoli + 50 mm) deff = d1+0.5\*d2 = 110+0.5\*145 = 182.5 mm> bmin =150 mm aeff = a\*(1.85 - deff /bmin\*(bw/b)^0.5) = 35\*(1.85 - 182.5/150\*(160/750)^0.5) = 45 mm

Come indicato in §4.2.2, nel caso di armature attive pretese il valore convenzionale va aumentato di 15 mm, pertanto la verifica risulta la seguente:

asd = aeff+15 = 45+15 = 60 mm ≤ c= 60 mm OK VERIFICATO

Per il lato interno delle elevazioni vasca antifalda e dei cordoli diaframma, unica interfaccia di pareti esposte al fuoco, si possono considerare le prescrizioni minime geometriche della norma riassunte nella tabella seguente.

prospetto 4.3 Dimensioni minime e distanza a (vedere figure 4.1 e 4.4) per pareti portanti di calcestruzzo armato

Resistenza all'incendio	Dimensioni minime (mm) Larghezza della parete/distanza <i>a</i> della barra										
standard	μ <sub>f</sub> =	0,35	$\mu_{\rm f} = 0.7$								
	Parete esposta su una sola faccia										
1	2	3	4	5							
REI 30	100/10 *)	120/10 *)	120/10 *)	120/10 *)							
REI 60	110/10 *)	120/10 *)	130/10 *)	140/10 *)							
REI 90	120/20 *)	140/10 *)	140/25	170/25 *)							
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35							
REI 180	180/45	200/45	210/55	300/55							
REI 240	230/60	250/60	270/70	360/70							

Parametri geometrici per pareti portanti in c.a. secondo EC2

Rimanendo a favore di sicurezza, se si considera il livello di carico più sfavorevole  $\mu f$  = 0.7 e R90, per le pareti le verifiche sono le seguenti:



# **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

spessore minimo 140 mm < 400 mm OK VERIFICATO corpiferro minimo 25 mm < 40 mm OK VERIFICATO

# 4 A-4 Parametri geotecnici

			livello geotecnico	)	peso vol nat	peso vol sec	conten acqua	indice vuoti	grado saturaz	Limite liq	Limite plast	Indice plast	Classificaz.	φ'	c'	Cu	Cu	Med (1-2 kg/cm²)	Med (2-4 kg/cm²)	Med (4-8 kg/cm²)	Cr ind ricompr	Cc ind compress	Cs ind rigonf	press. preconsoli daz.
n	id.	profondità m p.o.	descrizione (Raccomandazioni AGI 1977)	sondaggi ed indagini di rif.	kN/m3	kN/m3	Wn	е	Sr	LL %	LP%	IP%	Casagrande	(°)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		-	-	σ' <sub>vmax</sub> (kPa)
		m p.o.	(micromanuazioni Aut 2011)				(%)		(%)					Tx CU-CD	Tx CU-CD	ELL	TxUU	EDOM	EDOM	EDOM	EDOM	EDOM	EDOM	EDOM
	1	0.00+ 2.00/2.50	limo con argilla e argilla con limo, debolm. sabbioso; localm. presente materiale di riporto. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione	S92, S81, S80, S104, S103, S21, S23, S24, S25, S28,S107, S106, S101, S118, S119, CPTU 01-12-11-25-24- 18-23	19.1	15.6	22.3	0.692	89.0	51.8	23.6	28.2	CH (argille inorganiche ad alta plasticità)	25.9	16.4	171	169	12.4	13.1	15.2	0.042	0.181	0.060	303
		2.00/2.50 + 4.50/6.00	argilla con limo e limo con argilla, debolm. sabbioso. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione	\$91, \$92, \$104, \$103, \$107, \$106, \$101, \$116, \$117, \$118, \$119, \$CPTU 01-12-11-25-24-18-23	19.5	15.9	23.2	0.655	94.3	54.7	22.2	32.5	CH (argille inorganiche ad alta plasticità)	24.2	18.2		77	13.0	13.3	16.7	0.039	0.173	0.057	343
	,	10.00/11.0	argilla con limo e limo con argilla, debolm. sabbioso. Valori molto elevati di OCR/pressione di preconsolidazione	\$91, \$92, \$104, \$103, \$107, \$106, \$101, \$116, \$117, \$118, \$119, \$CPTU 01-12-11-25-24-18-23	19.9	16.3	21.8	0.596	97.4	54.8	22.1	32.7	CH (argille inorganiche ad alta plasticità)	25.0	16.0	141		12.4	13.7	18.7	0.042	0.162	0.060	296



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 5 A-5 Criteri di calcolo

La galleria artificiale è un'opera che si sviluppa longitudinalmente con lo stesso schema statico trasversale, pertanto il calcolo viene svolto analizzando una sezione trasversale generica che presenta larghezza massima, le quote di falda maggiori desunte dai profili geotecnici e avente ricoprimento massimo con l'aggiunta dei sovraccarichi da traffico.

Questa configurazione risulta molto più gravosa del reale, in quanto i sovraccarichi accidentali sono applicati solo sui conci sottostanti la viabilità interferita, la quale presenta ricoprimenti nettamente inferiori a quello massimo di progetto.

L'opera è costituita da diaframmi perimetrali, una vasca antifalda interna agganciata alle paratie laterali.

Le strutture di contenimento del terreno e della falda vengono analizzate con lo stesso modello di calcolo, dove i singoli elementi vengono attivati in accordo con le fasi costruttive; inizialmente si hanno diaframmi laterali a mensola libera.

Successivamente avviene la posa e la solidarizzazione del traverso prefabbricato di impalcato, il quale risulta collegato in continuità con i cordoli diaframmi, realizzando uno schema statico a telaio continuo immorsato nel terreno.

Con l'abbassamento dello scavo interno avviene la costruzione della vasca antifalda vera e propria, struttura che viene poi successivamente agganciata alle opere di sostegno laterali.

Una volta completata la vasca si considera un innalzamento della falda fino alla quota di progetto, con spinte laterali e sottospinte contrastate dalla vasca interna agganciata al telaio portante della copertura.

Per le strutture della vasca antifalda interna non si è tenuto conto dell'attrito tra le superfici diaframmi/contropareti, mentre si è modellato il collegamento con il telaio esterno solo nella zona del cordolo di testa diaframma con link rigidi, in modo da ripristinare la continuità delle sezioni in c.a.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

Dato che la struttura presenta uno schema a telaio iperstatico, si è posta particolare attenzione a modellare la differente deformabilità verticale delle fondazioni profonde (diaframmi) e delle parti con superfici a contatto diretto con il terreno (platea di fondazione e pareti della vasca interna).

Per lo stesso motivo, l'analisi dei carichi è stata svolta cercando di indagare le peggiori configurazioni di carico, oltre che per i sovraccarichi statici e dinamici, anche per le possibili distorsioni geometriche degli elementi strutturali (gradiente termico interno/esterno, ritiro del traverso).

Dato che l'opera è un manufatto continuo di notevole sviluppo e complessivamente di geometria trasversale regolare, non si hanno evidenti effetti in direzione longitudinale nella ripartizione dei carichi applicati.

Per le distorsioni da ritiro, durante le fasi di costruzione della vasca bianca interna, si prevedono specifici giunti di fessurazione e ripresa aventi lo scopo di controllare le variazioni igrometriche nel calcestruzzo, pertanto le autotensioni interne in direzione longitudinale risultano minimizzate e senz'altro trascurabili in sede di calcolo.

Per le azioni termiche, a differenza delle vasche antifalda in trincea esterna, nonostante l'opera interrata sia adeguatamente protetta dall'esposizione all'ambiente esterno e in particolare dall'irraggiamento solare diretto, si analizzano gli effetti longitudinali che comporta una minima variazione di temperatura uniforme e differenziale sulla parte centrale della fondazione della vasca interna.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

La struttura su diaframmi e pali viene schematizzata come un modello a telaio 2D preliminare, avente profondità longitudinale unitaria.

Tutti i carichi applicati e le rigidezze del modello vengono di conseguenza adeguate in relazione agli interassi dei singoli elementi strutturali.

Il modello globale comprende la struttura completa della vasca interna, dei diaframmi e dell'impalcato e viene caricato con i pesi propri strutturali (G1), le spinte del terreno (G3), le azioni mobili (Q1), le azioni permanenti (G2), le azioni sismiche (E), lo svio veicolare (Q8), le azioni di frenatura (Q3).

Nel modello in accordo con quanto riportato negli elaborati di progetto, si tiene conto delle seguenti fasi e delle relative configurazioni di calcolo:

Fase 1)

Prescavo, realizzazione diaframmi e pali, tappo in jet-grouting e condizioni di falda di cantiere Costruzione travi prefabbricate in stabilimento (modello locale), posa travi, getto del nodo di incastro, condizioni di falda di cantiere

Fase 2)

Getto del traverso di campata e della soletta di impalcato

Fase 3)

Abbassamento dello scavo fino a quota di imposta magrone, condizioni di falda di cantiere, sovraccarichi da traffico sopra la copertura

Fase 4)

Realizzazione vasca antifalda interna, completamento cunicolo smaltimento acque, completamento arredi stradali, dismissione del tappo in jet-grouting, condizioni di falda di progetto

Fase 5)

Reinterro superficiale in copertura, transito veicolare all'interno e sopra la galleria, condizioni sismiche

Nel modello locale di verifica della trave prefabbricata con sezione in c.a.p., in accordo con le ipotesi del modello strutturale globale, si tiene conto delle seguenti fasi costruttive:

Fase 0)

Costruzione in stabilimento della trave prefabbricata:

- casseratura e getto (semplice appoggio)
- tesatura trefoli
- taglio trefoli, scassero trave

Fase 1)



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

Stoccaggio e trasporto trave prefabbricata:

- ritiro e viscosità calcestruzzo, rilassamento acciaio trave (perdite tiro 1° fase)
- trasporto in sito, varo travi

Fase 2)

Getto della soletta:

- ritiro e viscosità calcestruzzo, rilassamento acciaio trave (perdite tiro 2° fase)

Fase 3)

Condizioni permanenti dopo getto soletta (breve termine):

- ritiro e viscosità calcestruzzo, rilassamento acciaio trave (perdite tiro 3° fase)

Fase 4)

Condizioni permanenti (lungo termine):

- ritiro e viscosità calcestruzzo soletta (perdite tiro 4° fase)
- azioni permanenti

Fase 5)

Condizioni accidentali (breve termine):

- azioni accidentali da traffico

#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

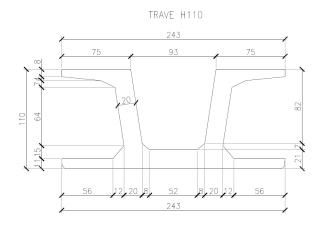
# 6 A-6 Carichi

# 6.1 Azioni permanenti strutturali (G1)

Per gli elementi in c.a. si considera un peso specifico  $\gamma c = 25 \text{ kN/m3}$ .

Nei modelli numerici i pesi sono calcolati automaticamente dal software di calcolo.

g1 =  $0.25*\gamma c = 6.25 \text{ kN/m} 2 \text{ Peso soletta}$ 



Sezione	A (cm²)	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	p (kN/m)
Trave H110	8877	13700000	22.19

Geometria delle sezioni adottate nel calcolo

# 6.2 Azioni permanenti non strutturali (G2)

Pavimentazione e terreno riempimento

Si considera in fondazione un pacchetto di pavimentazione con  $\gamma p = 20 \text{ kN/m3}$  e spessore 10 cm, in soletta di copertura un terreno di ricoprimento con  $\gamma t = 20 \text{ kN/m3}$  e spessore massimo 1.00 m:

g2 = 0.10\*20 = 2.00 kN/m 2 Sola pavimentazione

g3 = 1.80\*20 = 36.00 kN/m2 Reinterro impalcato



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 6.3 Spinta del terreno (G3)

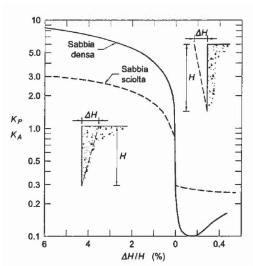
Per le pareti in oggetto si assume che le elevazioni subiscano spostamenti in grado di mobilitare la spinta attiva, con funzionamento simile a quello delle paratie di sostegno del terreno. Tale ipotesi risulta verificata in base alle indicazioni sugli spostamenti delle opere geotecniche contenute nell'EC7.

Si vuole aggiungere inoltre che la scelta adottata sulla spinta del terreno ha permesso di condurre un'analisi a favore di sicurezza nel dimensionamento del traverso di copertura. Per via dello schema statico continuo del telaio traverso-diaframmi infatti, nel qual caso le spinte laterali fossero eccessivamente sovravalutate, si andrebbero ad introdurre eccessivi effetti stabilizzanti nella capacità di rotazione sugli appoggi, con conseguenti valutazioni delle sollecitazioni di flessione all'intradosso di campata non dalla parte della sicurezza.

Altro aspetto nel caso di spinta laterale maggiorata, si avrebbe un ulteriore maggiorazione del carico assiale sul traverso stesso, anch'esso effetto stabilizzante nei confronti della flessione.

Table C.1 — Ratios v<sub>a</sub>/h

Kind	i of movement	v <sub>s</sub> /h loose soil	v₂/h dense soil
*****	movement	%	%
a)	V <sub>a</sub>	0,4 to 0,5	0,1 to 0,2
b)	V <sub>3</sub>	0,2	0,05 to 0,1
c)	V <sub>2</sub>	0,8 to 1,0	0,2 to 0,5
d)	V2 ( 1	0,4 to 0,5	0,1 to 0,2
where V <sub>a</sub>	is the wall motion to mobilise act is the height of the wall	ive earth pressure	



Spostamenti relativi muro-terreno necessari per il raggiungimento di un regime di spinta attiva secondo EC7 Annex C e Lancillotta (1999)



# MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 6.4 Azione sismica (E)

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica del sito è definita in termini di:

ag accelerazione orizzontale massima del terreno

FO valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

TC\* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

L'accelerazione orizzontale massima attesa ag è riferita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR per ogni stato limite considerato.

I valori dei parametri ag , F0 e TC\* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

Per determinare gli spettri di risposta elastici del sito, tenuto conto degli effetti locali dovuti all'amplificazione sia stratigrafica che topografica, vengono assegnati determinati parametri progettuali. Questi ultimi, per la definizione dell'azione sismica, sono adottati come segue, ai sensi del § 2.4 del D.M. 17 gennaio 2018 e del § C2.4 della Circolare n. 7/2019:

- vita nominale di progetto (V<sub>N</sub>) 50 anni (Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari) per tutte le opere
  collegate alla viabilità, ad esclusione dell'attraversamento della pista tramite sottopasso con V<sub>N</sub> 100 anni
  (Costruzioni con livelli di prestazioni elevati);
- classe d'uso IV [Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. (omissis). Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792... (omissis) ... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.(omissis)] per tutte le opere;
- coefficiente d'uso (C<sub>U</sub>) pari a 2 (per classe d'uso IV);
- vita o periodo di riferimento per l'azione sismica (V = V \*C ) pari a 100 anni (per V 50 anni), e a 200 anni (per V 100 anni).



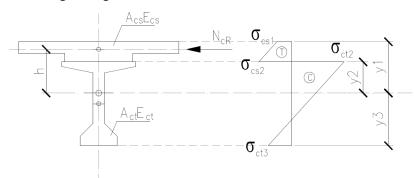
#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 6.5 Ritiro del calcestruzzo (ε2)

Dato che il ritiro dipende dal tempo di maturazione del calcestruzzo, dalla sua resistenza e dalle condizioni ambientali, gli effetti possono evidenziarsi sia in fase di costruzione sulla sezione mista composta da due materiali di diverso modulo elastico (ritiro primario) sia a lungo termine sulla statica globale dell'impalcato (ritiro secondario).

Nel primo caso l'accorciamento primario della soletta determina l'insorgenza di tensioni di scorrimento all'interfaccia soletta-trave e uno stato di pressoflessione della sezione mista che può essere schematizzata come nella figura seguente.



Schema delle tensioni di ritiro primario sulla sezione mista

 $\begin{aligned} &\text{N'}_{\text{cR}} \\ &\text{A}_{\text{cs}} \\ &\text{A}_{\text{ct}} \\ &\text{E}_{\text{cs}} \\ &\text{E}_{\text{ct}} \\ &\text{A} = n^* A_{\text{cs}} + A_{\text{ct}} \\ &\text{E} = E_{\text{ct}} = n^* E_{\text{cs}} \\ &\text{I} = n^* I_{\text{cs}} + I_{\text{ct}} \end{aligned}$ 

Azione assiale equivalente di ritiro primario
Area sezione soletta
Area sezione trave
Modulo elastico calcestruzzo soletta
Modulo elastico calcestruzzo trave
Area sezione mista omogenizzata alla trave
Modulo elastico sezione mista omogenizzato alla trave
Momento d'inerzia sezione mista omogenizzato alla trave

$$\begin{split} n &= E_{ct}/E_{cs} \\ \sigma_{cs1} &= -N_{cR}/(n^*A) - N_{cR}^*h/(n^*I)^*y_1 + N_{cR}^*/A_{cs} \\ \sigma_{cs2} &= -N_{cR}^*/(n^*A) - N_{cR}^*h/(n^*I)^*y_2 + N_{cR}^*/A_{cs} \\ \sigma_{ct2} &= -N_{cR}^*/A - N_{cR}^*h/I^*y_2 \\ \sigma_{ct3} &= -N_{cR}^*/A - N_{cR}^*h/I^*y_3 \end{split}$$

Rapporto omogeneizzazione calcestruzzi Tensione ritiro primario calcestruzzo

Tensione ritiro primario acciaio

Nel secondo caso l'accorciamento secondario della soletta determina l'insorgenza di reazioni iperstatiche sulla statica globale dell'impalcato. Il calcolo consiste nel caricare la struttura continua del modello di calcolo con dei carichi di distorsione geometrica, quali quelli termici, come riportato nello schema di calcolo seguente.

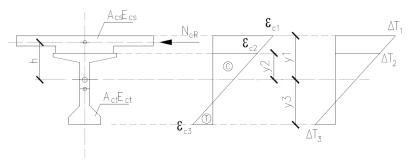


### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

Nel caso in cui l'impalcato presenti uno schema isostatico, il ritiro secondario viene interamente assorbito dalle sezioni resistenti longitudinali con l'insorgenza di sole deformazioni cinematiche e nessuna tensione aggiuntiva.





Schema di calcolo delle iperstatiche di ritiro secondario

$$\begin{split} &N\text{``}_{cR} \\ &\alpha = 1.0*10^{-5} \, ^{\circ}\text{C}^{-1} \\ &\Delta T_{1} = - \, N\text{''}_{cR}/(\alpha^{*}A^{*}E) - N\text{''}_{cR}{}^{*}h/(\alpha^{*}I^{*}E){}^{*}y_{1} \\ &\Delta T_{3} = - \, N\text{''}_{cR}/(\alpha^{*}A^{*}E) - N\text{''}_{cR}{}^{*}h/(\alpha^{*}I^{*}E){}^{*}y_{3} \end{split}$$

Azione assiale equivalente di ritiro secondario Coefficiente di dilatazione termica sezione mista Carico termico equivalente sezione mista ritiro secondario



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

#### Trave prefabbricata

Nel caso in cui l'impalcato presenti uno schema isostatico, il ritiro secondario viene interamente assorbito dalle sezioni resistenti longitudinali con l'insorgenza di sole deformazioni cinematiche e nessuna tensione aggiuntiva (come nel caso del ritiro primario).

Dato il getto contemporaneo della soletta e dei nodi di cordolo, si ha che in fase di presa del calcestruzzo si instauri progressivamente un vincolo all'appoggio che impedisce la libera deformazione assiale e flessionale del traverso (come si avrebbe nel caso di una trave in semplice appoggio), pertanto occorre tenere conto nelle fasi costruttive di entrambi i contributi di ritiro.

La deformazione totale da ritiro Ecs secondo § 11.2.10.6 delle NTC risulta dal calcolo seguente:

UR = 60% $f_{ck} = 45.65 MPa$ 

 $t_{ck} = 45.65 \text{ MPa}$  $\epsilon_{c0} = -0.360 \%$  umidità relativa

resistenza caratteristica calcestruzzo a 28 giorni

f [MDo]			Umidità relat	iva (%)		
f <sub>ck</sub> [MPa]	20	40	60	80	90	100
20	-0.62	-0.58	-0.49	-0.30	-0.17	+0.00
40	-0.48	-0.46	-0.38	-0.24	-0.13	+0.00
60	-0.38	-0.36	-0.30	-0.19	-0.10	+0.00
80	-0.30	-0.28	-0.24	-0.15	-0.07	+0.00

Valori del parametro ε<sub>c0</sub> (‰)

h <sub>0</sub> [mm]	<b>k</b> <sub>h</sub>
100	1.00
200	0.85
300	0.75
≥ 500	0.70

Valori del parametro kh

u = 8.14 m

 $A_c = 0.8877 \text{ m}^2$ 

 $h_0 = 2 A_c u = 2 0.8877 / 8.14 = 0.218 \text{ m}$ 

 $k_h = 0.82$ 

 $\epsilon_{cd} = \epsilon_{cd,\infty} = k_h^* \epsilon_{c0} = -0.295 \ \%$ 

 $\epsilon_{ca} = \epsilon_{ca,\infty} = -2.5^* (f_{ck} \text{--} 10)^* 10^{\text{--}6} = -0.089 \ \%$ 

 $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = -0.384 \%$ 

perimetro sezione in calcestruzzo esposta all'aria area sezione in calcestruzzo

dimensione fittizia

deformazione per ritiro da essiccamento deformazione per ritiro autogeno deformazione totale da ritiro



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

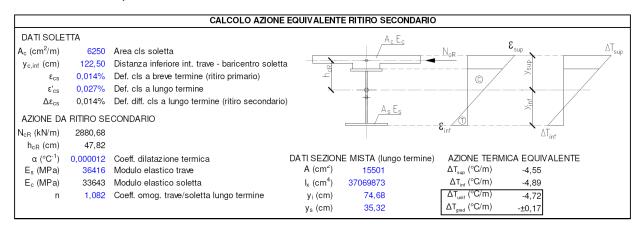
Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

#### Soletta

La deformazione totale da ritiro Ecs secondo § 11.2.10.6 delle NTC risulta dal calcolo seguente:

UR = 60%umidità relativa  $f_{ck} = 33.20 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica calcestruzzo a 28 giorni  $\varepsilon_{c0} = -0.380 \%$ u = 2.50 mperimetro sezione in calcestruzzo esposta all'aria  $A_c = 0.25*2.50 = 0.625 \text{ m}^2$ area sezione in calcestruzzo  $h_0 = 2*A_c/u = 2*0.625/2.50 = 0.500 \text{ m}$ dimensione fittizia  $k_h = 0.70$  $\varepsilon_{cd} = \varepsilon_{cd.\infty} = k_h^* \varepsilon_{c0} = -0.266 \%$ deformazione per ritiro da essiccamento  $\varepsilon_{ca} = \varepsilon_{ca,\infty} = -2.5*(f_{ck}-10)*10^{-6} = -0.008 \%$ deformazione per ritiro autogeno  $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = -0.274 \%$ deformazione totale da ritiro

Le deformazioni differenziali secondarie tra soletta e trave sono modellate con uno stato di distorsione equivalente di tipo termico applicato all'intera sezione omogeneizzata, secondo le tabelle seguenti. In accordo con il calcolo della sezione in c.a.p. della trave, si considera che il ritiro secondario della soletta sia il 50% del ritiro totale mentre le deformazioni differenziali primarie sono trattate direttamente nel calcolo della trave prefabbricata.





#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 6.6 Variazioni termiche (ε<sub>3</sub>)

Dato che le strutture sono esposte all'atmosfera solo dentro la galleria e adeguatamente protette dal terreno, si modellano delle superfici interne più calde rispetto a quelle controterra.

Dato che sono i conci di fondazione gli elementi prevalentemente soggetti alle variazioni di temperatura lungo lo spessore, si valutano le azioni termiche da applicare ai modelli di calcolo secondo le indicazioni delle "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni di calcestruzzo" CNRDT 211/2014 al §5.2.3. I valori di temperatura ipotizzati, in assenza di una completa analisi termica approfondita, risultano comunque ampiamente cautelativi.

Nel modello trasversale si considera pertanto solo un gradiente termico differenziale fra interno/esternopari a  $\Delta T = +5^{\circ}$  C.

Nel modello longitudinale si considera cautelativamente una deformazione termica uniforme di  $\pm 10^{\circ}$  C e un gradiente termico di  $\pm 5^{\circ}$  C tra interno/esterno su tutti i conci di galleria.

# 6.7 Cedimenti vincolari (ε4)

I cedimenti vincolari imposti dai sovraccarichi sono automaticamente implementati nel modello di calcolo mediante la rigidezza di punta dei diaframmi, pertanto il loro effetto viene conteggiato direttamente nell'analisi.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

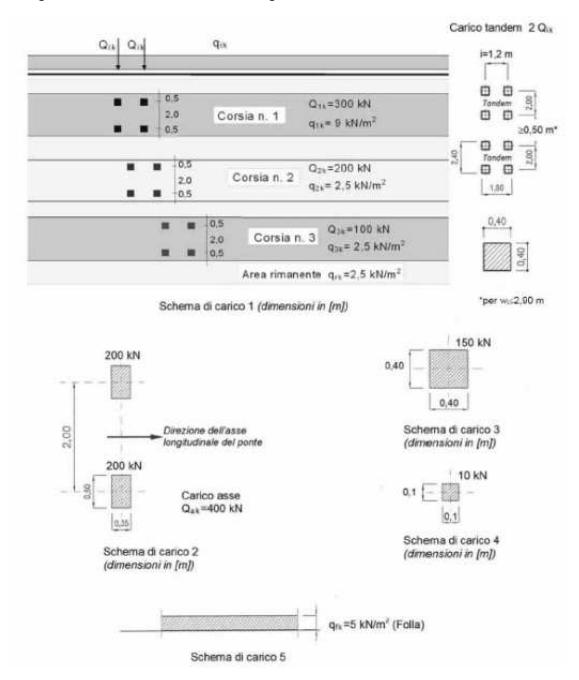
Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 6.8 Azioni accidentali da carichi mobili di veicoli e aeromobili (Q1)

# Azioni sopra la fondazione

Si assumono applicate agli elementi della fondazione le pressioni verticali derivanti dal transito veicolare all'interno della vasca antifalda.

Coerentemente con quanto indicato al §5.1.3.3 delle Norme Tecniche, le azioni variabili del traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dai seguenti schemi di carico:





#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

I carichi tandem Qik vengono posizionati lungo l'asse stradale, diffusi sia in direzione longitudinale che trasversale e trattati come pressioni uniformemente distribuite sulla fondazione. A favore di sicurezza e semplificando la casistica, si ripartiscono i carichi tandem a 45° in uno spessore di fondazione di 60 cm e una pavimentazione di 10 cm.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

#### Azioni sull'impalcato

I carichi Q1k vengono posizionati ortogonalmente all'asse della galleria, diffusi sia in direzione longitudinale che trasversale e trattati come pressioni uniformemente distribuite sulla soletta superiore. Nel caso in esame, attenendosi al capitolo N°6 della circolare FAA, secondo la quale per la progettazione dei sottoattaraversamenti delle runway è da considerare l'aereo più pesante del Fleet Mix, i carichi tandem Q1k, sono assimilabili al carico dell'aeromobile A321N eo nella versione extended range, XLR, il cui massimo Take off Weight raggiunge 101 tonnellate. Il 5% del carico si ripartisce sul rotino anteriore ed il 95% sul main (carrello principale), suddiviso a sua volta in ogni singola gamba di forza.

Assumendo una diffusione con inclinazione 30° nel terreno e 45° nella soletta, si hanno le seguenti pressioni distribuite:

qtandem = 2\*Q1k/(LT\*LL) = 2\*480/(3.93\*4.73) = 51,61. kN/m2 Pressione carico tandem Q1k

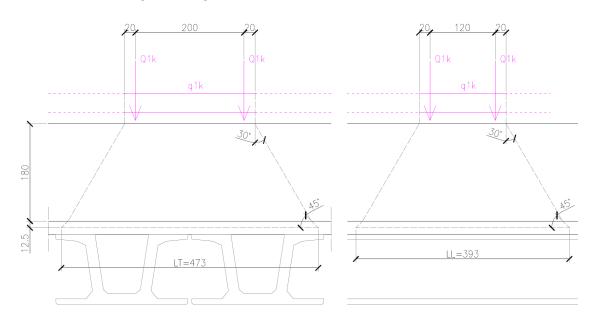
H = 1.80 m spessore del rinterro

s = 0.25 m spessore soletta

D = H\*tan 30° + s/2 = 1.16 m diffusione laterale trasversale o longitudinale

LT = 1.60 + 2\*D = 3.93 m larghezza trasversale di diffusione

LL = 2.40 + 2\*D = 4.73 m lunghezza longitudinale di diffusione



Schema sulle travi del sovraccarico stradale di soletta

Nel modello strutturale si prevede uno schema di carico longitudinale di massimo taglio e uno di massimo



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

momento in mezzeria.

# 6.9 Spinte sui piedritti

Le spinte sono calcolate ed applicate sugli elementi finiti della paratia o della parete di sostegno del terreno.

Si modella l'applicazione dei sovraccarichi sul profilo di monte del muro con un approccio semplificato, in grado di trasformare diverse distribuzioni di colonne di carico convenzionale di forze concentrate (tandem Qik) e distribuite (qik) in un'unica pressione equivalente q (Traffico 1, 2, 3, ...), da cui deriva una spinta attiva uniforme sulla parete oh.

In questo approccio, si considerano i soli carichi contenuti entro la larghezza trasversale LT definita dal profilo di monte del cuneo di spinta attiva. I carichi fuori da quest'area non premono sulla parete.

In senso longitudinale si considera la distribuzione dentro il terrapieno dell'impronta longitudinale di 1.60 m del carico tandem in funzione dell'altezza H del muro stesso e dell'angolo di attrito del terreno φ:

 $\sigma h = Ka*q$   $q = \Sigma q'i / LT$ 

q'i = (Qik/(3.00\*LL) + qik)\*LTi

LT =  $\Sigma$  LTi = H\*tan (45°- $\varphi$ /2) LL = 2\*H\*tan  $\varphi$  + 1.60

Per i calcoli delle spinte sulle pareti vedi paragrafi spinta delle terre.



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 6.10 Azione di svio veicolare (Q8)

Con riferimento al §3.6.3.3 delle NTC2018, si considerano le azioni di urto da svio veicolare sulle barriere di sicurezza poste in spartitraffico, sul cordolo di testa muro nei tratti con rampe laterali e sui profili redirettivi e sulle elevazioni interne della vasca antifalda.

Per l'urto sulle barriere di sicurezza si considera una forza orizzontale di 100 kN posta a 1.00 m al di sopra del piano di scorrimento stradale e ripartita su n°3 montanti posti ad interasse 1.50 m:

Fx = 100/4.50 = 22.22 kN/m

Mz = 22.22\*(1.00+0.10+0.60/2) = 31.11 kNm/m fondazioni spessore 60 cm

Per l'urto sulle pareti laterali interne della vasca si considerano le azioni statiche equivalenti adottate per lo svio veicolare al di sotto dei ponti, ovvero le seguenti azioni:

Fd,x = 1000 kN azione parallela

Fd,y = 0.50\*Fd,x = 0.50\*1000 = 500 kN azione trasversale

Tipo di strada	Tipo di veicolo	Forza F <sub>d,x</sub> [kN]		
Autostrade, strade extraurbane	-	1000		
Strade locali	-	750		
Strade urbane	-	500		
Aree di parcheggio e autorimesse	Automobili	50		
	Veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 t	150		

Forze statiche equivalenti agli urti di veicoli al di sotto dei ponti secondo NTC2018

Ai fini delle verifiche statiche locali sulle elevazioni e globali sul telaio strutturale trasversale completo, si considera la sola Fd,y posta a 0.50 m dal piano di scorrimento stradale e con lunghezza di ripartizione minima 1.50 m. Restando a favore di sicurezza, considerando spessore minimo della parete pari a 0.40 m, per le verifiche locali si ha la seguente azione concentrata:

Fx = 500/(1.50+0.40/2\*2) = 263.16 kN/m

Per le verifiche globali si considera una lunghezza di ripartizione pari a 20.00 m (sviluppo del minimo concio di vasca previsto):

Fx = 500/20 = 25.00 kN/m



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 6.11 Azioni di frenatura (Q3)

Secondo quanto riportato in § 5.1.3.5 delle NTC, la forza di frenamento o di accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n°1:

q3 = 0.6\*(2\*Q1k) + 0.10\*q1k\*w1\*L = 0.6\*(2\*300) + 0.10\*9\*3.00\*26.80 = 432.36 kN $180 \text{ kN} \le q3 \le 900 \text{ kN}$ 

w1 = 3.00 m larghezza della corsia convenzionale

L = 26.80 m lunghezza della zona caricata

L'azione risultante di frenatura viene modellata come azione distribuita sugli elementi finiti della soletta di impalcato:

FREN = q3/w1/2 = 432.36/3.00/25.50 = 5.65 kN/m/m



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

Analisi trasversale (Modello A)

# 7 Combinazioni di carico

Come riportato al § 2.5.3 delle NTC, si sono considerate le seguenti combinazioni delle azioni:

$$\gamma_{\text{G1}} \cdot G_1 + \gamma_{\text{G2}} \cdot G_2 + \gamma_{\text{P}} \cdot P + \gamma_{\text{Q1}} \cdot Q_{k1} + \gamma_{\text{Q2}} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{\text{Q3}} \cdot \sum\nolimits_{j=3}^n \psi_{0j} \cdot Q_{kj}$$

Comb. fondamentale SLU

$$G_{_1}+G_{_2}+P+Q_{_{k1}}+\psi_{_{02}}\cdot Q_{_{k2}}+\sum\nolimits_{_{j=3}}^{n}\psi_{_{0j}}\cdot Q_{_{kj}}$$

Comb. caratteristica rara SLE

$$G_{_{1}}+G_{_{2}}+P+\psi_{_{11}}\cdot Q_{_{k1}}+\sum\nolimits_{_{j=2}}^{n}\psi_{_{2j}}\cdot Q_{_{kj}}$$

Combinazione frequente SLE

$$G_{_{1}}+G_{_{2}}+P+\sum\nolimits_{_{j=1}}^{n}\psi_{_{2j}}\cdot Q_{_{kj}}$$

Comb. quasi permanente SLE

$$E + G_1 + G_2 + P + \sum\nolimits_{j = 1}^n {{\psi _{2j}} \cdot {Q_{kj}}}$$

Combinazione sismica SLE e SLU

$$G_{_{1}}+G_{_{2}}+P+A_{_{d}}+\sum\nolimits_{_{j=1}}^{n}\!\psi_{_{2\,j}}\cdot Q_{_{kj}}$$

Combinazione eccezionale SLU

G<sub>1</sub> masse dei pesi propri strutturali

G<sub>2</sub> masse dei carichi permanenti non strutturali

P precompressione e pretensione

Q<sub>kj</sub> masse dei carichi accidentali

 $\begin{array}{ll} E & \text{azione sismica} \\ A_d & \text{azione eccezionale} \end{array}$ 

I coefficienti di contemporaneità delle azioni e i coefficienti parziali da adottare per gli SLU sono riportati nelle tabelle seguenti.

#### 7.1 SLU

### 7.1.1 Stati Limite Ultimi strutturali

Come riportato al § 2.3 delle NTC, per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

Ea ≤ Ra

$$\begin{split} E_d &= E(\gamma_F^* F_k \; ; \; X_k \! / \! \gamma_M \; ; \; a_d \; ) \\ R_d &= R(\gamma_F^* F_k \; ; \; X_k \! / \! \gamma_M \; ; \; a_d \; ) \end{split} \qquad \text{valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione o valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico} \end{split}$$

 $\gamma_F^*F_k$  azioni di progetto

 $X_k/\gamma_M$  proprietà del materiale di progetto

a<sub>d</sub> geometria di progetto

γ<sub>M</sub> coefficiente parziale di sicurezza del materiale



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 7.1.2 Stati Limite di Esercizio strutturali e geotecnici

Come riportato al § 6.2.3.3 e § 5.1.4.2 delle NTC, La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale. Si dovrà verificare che sia:

 $E_d \le C_d$ 

 $E_d = E(\gamma_F^*F_k; X_K/\gamma_M; a_d)$  valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

 $C_d = C(\gamma_F^*F_k; X_k/\gamma_M; a_d)$  valore nominale o funzione di certe proprietà dei materiali legate agli effetti

progettuali delle azioni considerate

# 7.1.3 Stati Limite di Esercizio strutturali e geotecnici

Come riportato al § 6.2.3.1 delle NTC, per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

 $E_d \le R_d$ 

 $E_d = E(\gamma_F^* F_k; X_k/\gamma_M; a_d)$  valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

 $R_d = 1/\gamma_R * R(\gamma_F * F_k ; X_k/\gamma_M ; a_d)$  valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

 $\begin{array}{ll} \gamma_F{}^*F_k & \text{azioni di progetto} \\ X_k/\gamma_M & \text{parametri di progetto} \\ a_d & \text{geometria di progetto} \end{array}$ 

γ<sub>R</sub> coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza di progetto

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

#### 7.2 Azioni di calcolo



# **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Tabella 5.1.IV - Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

			Carichi su marciapiedi e piste ciclabili			
	Carichi verticali		Carichi orizz	Carichi verticali		
Gruppo di azioni	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura q <sub>3</sub>	Forza centrifuga q4	Carico uniformemente. distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m <sup>2</sup>
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

<sup>(\*\*)</sup> Ponti di 3ª categoria
(\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
(\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Tabella 5.1.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

	Coefficiente	EQU <sup>(l)</sup>	A1 STR	A2 GEO
favorevoli sfavorevoli	γ <sub>G1</sub>	0,90 1,10	1,00 1,35	1,00 1,00
favorevoli sfavorevoli	γ <sub>G2</sub>	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
favorevoli sfavorevoli	YQ	0,00 1,35	0,00 1,35	0,00 1,15
favorevoli sfavorevoli	Yoji	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00
favorevoli sfavorevoli	γα	0,90 1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 1,00 <sup>(4)</sup>	1,00 1,00
favorevoli sfavorevoli	Ye2, Ye3, Ye4	0,00 1,20	0,00 1,20	0,00
	sfavorevoli favorevoli sfavorevoli sfavorevoli sfavorevoli sfavorevoli sfavorevoli sfavorevoli	favorevoli sfavorevoli favorevoli favorevoli sfavorevoli favorevoli sfavorevoli favorevoli sfavorevoli sfavorevoli favorevoli sfavorevoli sfavorevoli sfavorevoli sfavorevoli sfavorevoli sfavorevoli	favorevoli   γ <sub>G1</sub>   0,90   1,10     favorevoli   γ <sub>G2</sub>   0,00   1,50     favorevoli   γ <sub>G2</sub>   0,00   1,50     favorevoli   γ <sub>Q</sub>   0,00   1,35     favorevoli   γ <sub>Q</sub>   0,00   1,50     favorevoli   γ <sub>Q</sub>   0,90   1,50     favorevoli   γ <sub>G1</sub>   0,90   1,00   1,00     favorevoli   γ <sub>G1</sub>   0,00   1,00   1,00     favorevoli   γ <sub>G1</sub>   γ <sub>G1</sub>   0,00   1,00	favorevoli   γG1   0,90   1,00   1,35     favorevoli   γG2   0,00   0,00   0,00     sfavorevoli   γG2   1,50   1,50     favorevoli   γQ   0,00   0,00     sfavorevoli   γQ   1,35   1,35     favorevoli   γQ   0,00   0,00     sfavorevoli   γQ   1,50   1,50     favorevoli   γQ   0,90   1,50     favorevoli   γ <sub>61</sub>   0,90   1,00     sfavorevoli   γ <sub>61</sub>   0,90   1,00     favorevoli   γ <sub>61</sub>   0,00   0,00     favorevoli   γ <sub>61</sub>   0,00     favorevoli   γ <sub>62</sub>   0,00     favorevoli   0

Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i

Tabella 5.1.VI - Coefficienti ₩ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente Ψ <sub>0</sub> di combinazione	Coefficiente \(\psi_1\) (valori frequenti)	Coefficiente \(\psi_2\) (valori quasi permanenti)
	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti	0,40	0,40	0,0
Azioni da traffico	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
(Tabella 5.1.IV)	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)		0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
	Vento a ponte scarico			
	SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
Vento q₅	Esecuzione	0,8		0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Nava a	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Neve q <sub>5</sub>	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	Tk	0,6	0,6	0,5

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3) 1,30</sup> per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(4) 1,20</sup> per effetti locali



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 7.3 Resistenze di calcolo

Per le verifiche geotecniche si considerano i seguenti coefficienti parziali di sicurezza sulle resistenze del terreno.

Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

	mm oranaz coeggierenni per	rainin per i purumen i Seoicemei nei	16116116		
Γ	PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE	COEFFICIENTE	(M1)	(M2)
1		APPLICARE IL	PARZIALE		
L		COEFFICIENTE PARZIALE	YM		
1	Tangente dell'angolo di	tan φ′ <sub>k</sub>	Ye.	1,0	1,25
7	resistenza al taglio				
0	Coesione efficace	c'k	Ve*	1,0	1,25
1	Resistenza non drenata	C <sub>tdc</sub>	Yes	1,0	1,4
1	Peso dell'unità di volume	γ	γ,	1,0	1,0

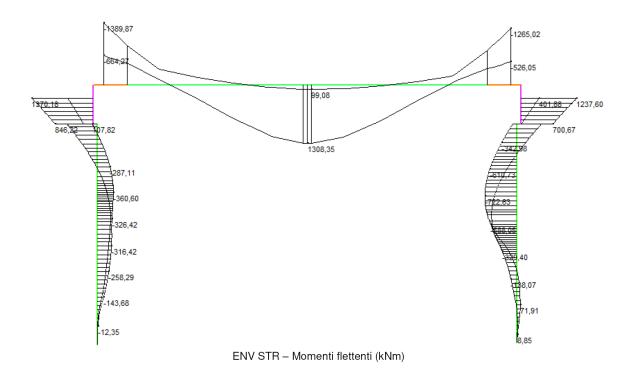
#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

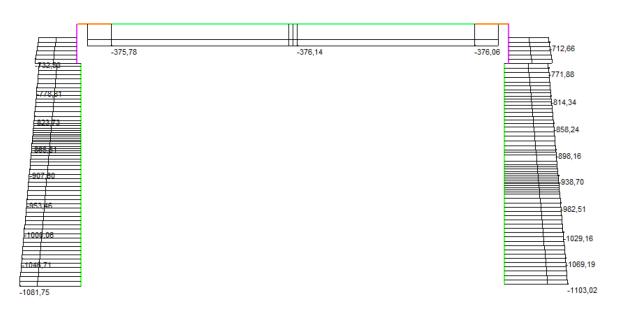
Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 7.4 Sollecitazioni di calcolo

Si riportano di seguito i risultati relativi ai principali inviluppi delle condizioni di carico considerate nelle varie fasi costruttive.

FASE 3





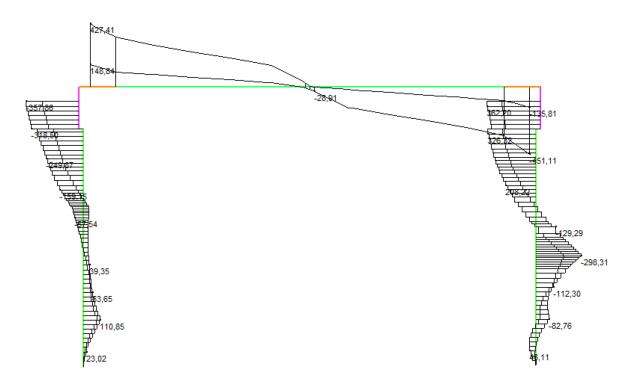
ENV STR - Azione assiale (kN)



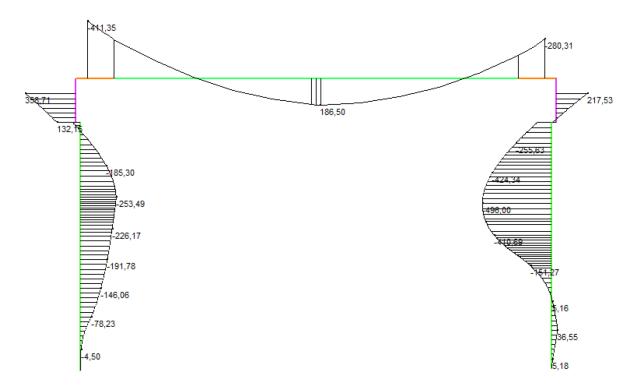
# **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**



ENV STR - Taglio (kN)



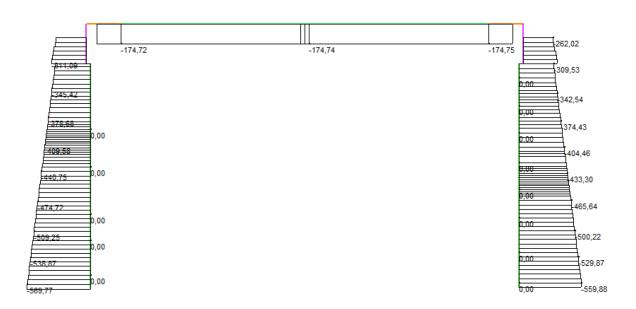
ENV QP – Momenti flettenti (kNm)



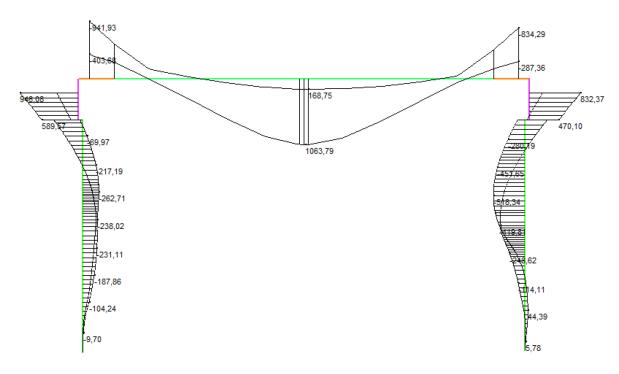
# MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**



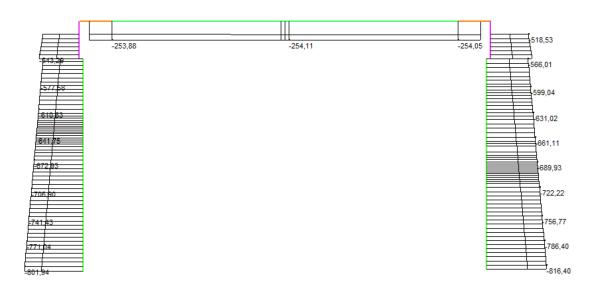
ENV QP – Azione assiale (kN)



ENV RA – Momenti flettenti (kNm)



# **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

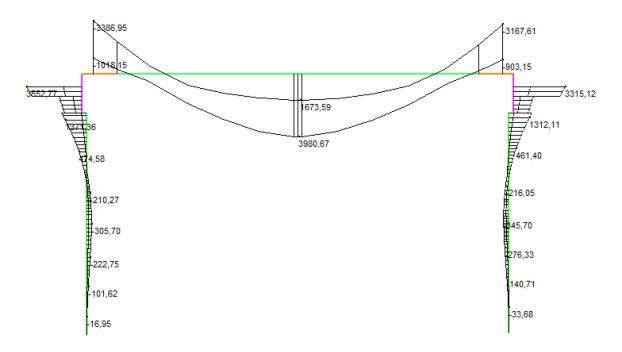


ENV RA – Azione assiale (kN)

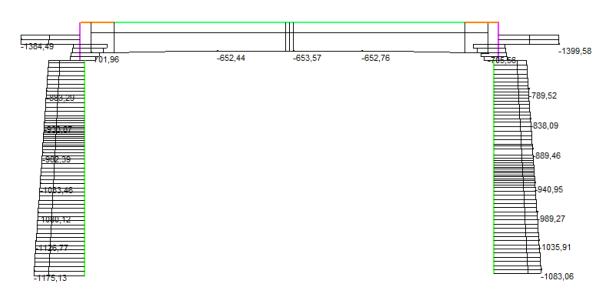
#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

#### FASE 4



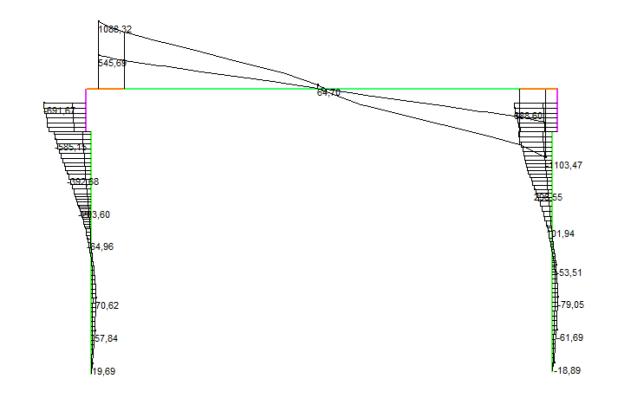
ENV STR - Momenti flettenti (kNm)



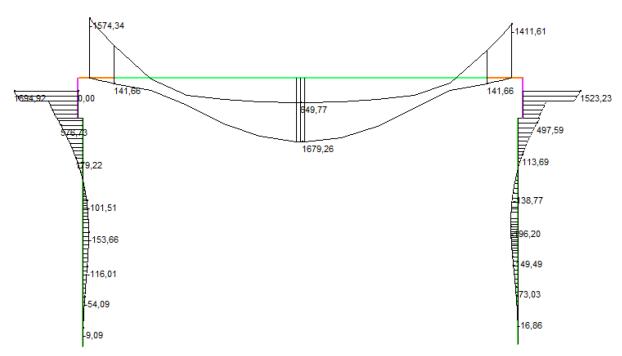
ENV STR - Azione assiale (kN)



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**



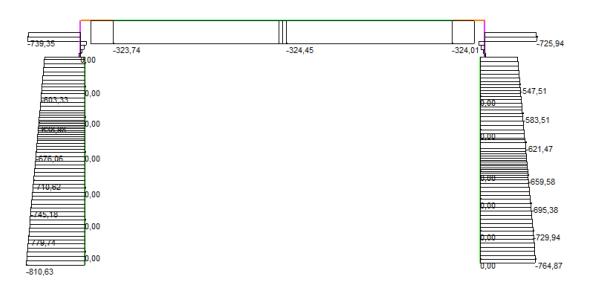
ENV STR - Taglio (kN)



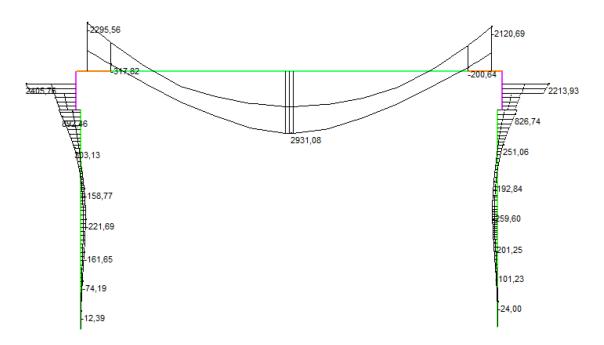
ENV QP - Momenti flettenti (kNm)



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**



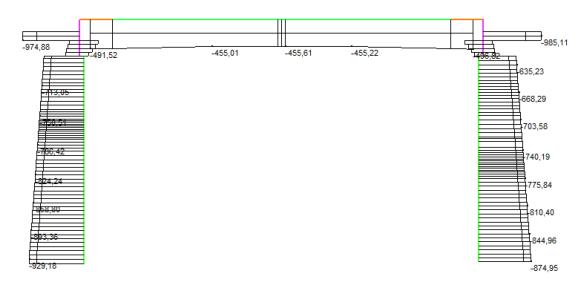
ENV QP - Azione assiale (kN)



ENV RA – Momenti flettenti (kNm)



# **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**



ENV RA – Azione assiale (kN)



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 7.5 Verifiche degli elementi in cemento armato

# 7.5.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi

# Verifica a presso/tenso-flessione

Come previsto al § 4.1.2.1.2.4 delle NTC con riferimento alla generica sezione, la verifica di resistenza allo SLU si esegue controllando che:

 $M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \ge M_{Ed}$ 

 $\begin{array}{ll} M_{\text{Rd}} & \text{valore di calcolo del momento resistente corrispondente a $N_{\text{Ed}}$} \\ N_{\text{Ed}} & \text{valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale)} \\ M_{\text{Ed}} & \text{valore di calcolo della componente flettente dell'azione} \end{array}$ 

Verifica per sollecitazione tagliante



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

Per la verifica a sollecitazione tagliante si esegue dapprima la verifica degli *elementi senza armaturi* resistenti a taglio, secondo quanto previsto  $\S$  4.1.2.1.3.1. delle NTC. Indicato con  $V_{Ed}$  il valore di calcolo della sforzo di taglio agente allo SLU, si verifica che risulti:

$$V_{Ed} < V_{Rd} = max \left\{ \left( 0.18 \cdot k \cdot \frac{\sqrt[3]{100 \cdot \rho_{\ell} \cdot f_{ck}}}{\gamma_{c}} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_{w} \cdot d; \left( v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_{w} \cdot d \right\}$$

$$k=1+\sqrt{\frac{200}{d}}\leq 2$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot \sqrt{k^3} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$\rho_\ell = \frac{A_{s\ell}}{b_w \cdot d} \le 0.02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \le 0.2 \cdot f_{cd}$$

tensione media di compressione nella sezione

d altezza utile della sezione [mm]
bw larghezza minima della sezione [mm]

Qualora la verifica non andasse a buon fine è necessario ricorrere ad *elementi provvisti di armatura* resistenti a taglio secondo quanto previsto al § 4.1.2.1.3.2 delle NTC. Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a taglio è data dalle relazioni seguenti:

$$V_{Rd} = min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$$
 resistenza di calcolo a taglio

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg \alpha + ctg \vartheta) \cdot sin \alpha$$
 resistenza a taglio-trazione

$$V_{\text{Rcd}} = 0.9 \cdot d \cdot b_{\text{w}} \cdot \alpha_{\text{c}} \cdot f_{\text{cd}}^{'} \cdot \frac{ctg\alpha + ctg\vartheta}{1 + ctg^{2}\vartheta} \qquad \qquad \text{resistenza a taglio-compressione}$$

 $\vartheta$  inclinazione puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento ( $1.0 \le ctg\vartheta \le 2.5$ )

α inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento

A<sub>sw</sub> area dell'armatura trasversale

s interasse tra due armature trasversali consecutive

 $f_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$  resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

 $\alpha_c$  coefficiente maggiorativi pari a:

1 per membrature non compresse

 $\begin{array}{ll} 1 + \sigma_{cp}/f_{cd} & per \ 0 \leq \sigma_{cp} < 0.25 \times f_{cd} \\ 1.25 & per \ 0.25 \ f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.5 \times f_{cd} \\ 2.5 \times (1 - \sigma_{cp}/f_{cd}) & per \ 0.5 \times f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd} \end{array}$ 



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 7.5.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

Le verifiche agli SLE si risolvono nel controllare che i valori di tensione nei materiali siano inferiori ai limiti di normativa (§ 4.1.2.2.5 delle NTC).

Calcestruzzo compresso

 $\begin{array}{ll} \text{Combinazione rara} & \sigma_c < 0.60^* f_{ck} \\ \text{Combinazione quasi permanente} & \sigma_c < 0.45^* f_{ck} \\ \end{array}$ 

Acciaio teso

Combinazione rara  $\sigma_s < 0.80 * f_{vk}$ 

# 7.5.3 Verifiche allo Stato Limite di Fessurazione



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

Viene eseguita la verifica allo stato limite di apertura delle fessure con riferimento al § 4.1.2.2.4 delle NTO Prima di procedere alle verifiche a fessurazione è necessario definire delle apposite combinazioni di caric ed effettuare una valutazione relativa al grado di protezione delle armature metalliche contro la corrosione ( termini di condizioni ambientali e sensibilità delle armature stesse alla corrosione). Si distinguono i seguer casi:

Combinazioni di azioni
 Frequente (FR)

Quasi Permanente (QP)

Condizioni ambientali
 Ordinarie

Aggressive

Molto Aggressive

Sensibilità delle armature alla corrosione
 Sensibili (acciai da precompresso)

Poco sensibili (acciai ordinari)

- Apertura delle fessure  $w_1 = 0.20 \text{ mm}$ 

 $w_2 = 0.30 \text{ mm}$  $w_3 = 0.40 \text{ mm}$ 

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE					
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1					
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3					
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4					

#### Condizioni ambientali e classi di esposizione

Cuunni di	Condizioni	Combinazione	Armatura						
Gruppi di esigenze	ambientali	di azioni	Sensibile		Poco sensi	ibile			
esigenze	ambientan	ui azioni	Stato limite	$\mathbf{w}_{\mathbf{d}}$	Stato limite	$\mathbf{w_d}$			
	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq$ W <sub>2</sub>	ap. fessure	$\leq$ W <sub>3</sub>			
a	Ordinarie	quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq$ W <sub>2</sub>			
ь.	A compositio	frequente	ap. fessure	$\leq$ w <sub>1</sub>	ap. fessure	$\leq$ W <sub>2</sub>			
b	Aggressive	quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$			
	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$			
c	Molto aggressive	quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$			

Stati limite di fessurazione



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

Il calcolo, condotto con riferimento alla procedura analitica prevista al § C4.1.2.2.4 della C.M. 2009 n°617, prevede i seguenti passaggi:

- Valutazione della distanza media tra le fessure (Dsm);
- Valutazione della deformazione media delle barre d'armatura (2sm);
- Valutazione dell'ampiezza delle fessure (valore medio wm e valore di calcolo wd).

Elemento strutturale	Classi di esposizione	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Stato limite	$\mathbf{w}_{d}$
Fondazioni	XC2-XF2	Aggressive	Frequente	Apertura fessure	$\leq$ w <sub>2</sub> = 0.30 mm
			Quasi permanente	Apertura fessure	$\leq$ w <sub>1</sub> = 0.20 mm
Elevazioni	XC4-XD1-XF2	Aggressive	Frequente	Apertura fessure	$\leq$ w <sub>2</sub> = 0.30 mm
			Quasi permanente	Apertura fessure	$\leq$ w <sub>1</sub> = 0.20 mm
Travi	XF2	Aggressive	Frequente	Apertura fessure	≤ w1 = 0.20 mm
			Quasi permanente	Apertura fessure	decompressione

Stati limite di fessurazione degli elementi strutturali

Le verifiche a fessurazione sono effettuate con le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni di carico previste solamente nella fase definitiva (Fase 4), inoltre rimanendo a favore di sicurezza, si effettuano i controlli sulle combinazioni Rare invece delle Frequenti.



# **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 7.6 Verifiche strutturali travi



# MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE

NOME:	TRAVE H110	MEZZERIA	CAL	COLO SEZI	ONE COMP	OSTA PRE	SOLLECITA	ATA (NTC200	3)
SOLLECITAZI	ONI SLE								
		$M_{Sd}$ (kNm)	$N_{Sd}$ (kN)						
G₁	PP trave	1624,43	0,00	(Fase 1 Q					
	PP soletta	466,25	-436,85	(Fase 3 Q	,				
	Permanenti	2193,23	-198,43	(Fase 3 R	,				
Q <sub>k</sub>	Accidentali	4668,23	-503,75	(Fase 4 R	A - Fase 3 F 	RA - Fase 3	QP)		
TRAVE PREF	ABBRICATA								
h <sub>p</sub> (cm)	110		Ca	lcestruzzo		estruzzo al t	aglio trefoli		
G <sub>1</sub> (kN/m)	22,19		R <sub>ck</sub> (MPa)	55		R <sub>ckj</sub> (MPa)	45		
			f <sub>ck</sub> (MPa)	45,65		f <sub>ckj</sub> (MPa)	37,35		
			E <sub>c</sub> (MPa)	36416		E <sub>cj</sub> (MPa)	34625		
Arr	natura attiva	Fila	n°	A <sub>pi</sub> (mm <sup>2</sup> )	y <sub>ni</sub> (cm)	A <sub>pi</sub> (cm <sup>2</sup> ) s	σ <sub>spi,0</sub> (MPa)	$n_p = E_p / E_{ct}$	
f <sub>ptk</sub> (MPa)	1860	1	18	139	16,00	25,02	1400	5,355	
f <sub>p(0.1)k</sub> (MPa)	1670	2	20	139	11,00	27,80	1400	5,355	
$E_{p}$ (MPa)	195000	3	22	139	6,00	30,58	1400	5,355	
$n_p = E_p / E_c$	5,355	4			•	0,00			
$\sigma_{\rm spi,0}~({\rm MPa})$	1400	5				0,00			
•	matura lenta	Fila	n°	A <sub>pi</sub> (mm <sup>2</sup> )	V <sub>n:</sub> (cm)	A <sub>pi</sub> (cm <sup>2</sup> )	$n_s = E_s / E_{ct}$		
f <sub>tk</sub> (MPa)	540	1	6	79	105,00	4,71	5,767		
f <sub>yk</sub> (MPa)	450	2	6	79 79	15,00	4,71	5,767		
E <sub>s</sub> (MPa)	210000	3	4	79 79	5,00	3,14	5,707		
$n_s = E_s/E_c$	5,767	4	4	19	3,00	0,00			
II <sub>S</sub> =⊏ <sub>S</sub> /⊏ <sub>C</sub>	5,707					0,00			
SOLETTA									_
b <sub>s</sub> (cm)	250		Ca	lcestruzzo					
h <sub>s</sub> (cm)	25		$R_{ck}$ (MPa)	40					
$G_1$ (kN/m)	15,63		f <sub>ck</sub> (MPa)	33,20					
			E <sub>ct</sub> (MPa)	33643					
			$n_{cs} = E_{cs} / E_c$	0,924					
Arr	matura lenta	Fila	n°	$A_{pi}$ (mm <sup>2</sup> )	y <sub>pi</sub> (cm)	$A_{pi}$ (cm <sup>2</sup> )	$n_s = E_s / E_{ct}$		
f <sub>tk</sub> (MPa)	540	1	13	201	130,00	25,12	5,767		
f <sub>yk</sub> (MPa)	450	2	13	201	100,00	25,12	5,767		
É <sub>s</sub> (MPa)	210000	3				0,00			
$n_s = E_s / E_c$	5,767	4				0,00			
SEZIONE COI	MPOSTA DE	AGENTE							
SEZIONE COI	VIII-OG IA NEA	JOENIE		A <sub>p</sub> (cm <sup>2</sup> )	I <sub>p</sub> (cm <sup>4</sup> )	y <sub>pi</sub> (cm)			
		Tra	ve solo cls	8877	13700000	46,00			
Fase 0, 1, 2			+ armatura	9378	14244134	44,40			
, -, -									
			ta solo cls	6250	325521	122,50			
		Soletta	+ armatura	6064	316248	122,14			
Fase 3, 4, 5	Tra	ave + soletta	+ armatura	15442	36817937	74,93			
PERDITE DI T	FNSIONE								
	,		Trave prefab	bricata		:	Soletta		
			Rilassame		Ritiro	Viscosità	Ritiro	Viscosità	
			(%)	t (ore)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Fase 0-1	Tiro, getto,	taglio trefoli	50%	1000	50%	35%	-	-	
Fase 2	_	Getto soletta	25%	5000	25%	35%	-	-	
Fase 3	Dopo	getto soletta	25%	10000	25%	30%	-	-	
Fase 4		i permanenti	-	-	-	-	50%	-	
Fase 5		ni accidentali	-	-	-	-	0%	-	
			. (0/)	Classs	- (0/ )	,	- /0/\		
			ρ <sub>1000</sub> (%)	Classe	ε <sub>rit</sub> (%)	<b>Φ</b> 10,∞	ε <sub>rit</sub> (%)		
			8,00	1	0,038%	2,20	0,027%		



# MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE

NOME:	TRAVE H110	MEZZERIA	I	RIEPILOGO CALCOLI SEZIONE COMPOSTA PRESOLLECITATA (NTC2008)								
FASE 0-1										/		
	Presollecitazi	N <sub>Sd</sub> (kN) M <sub>Sd</sub> (kNm)	-11676,00 -3938,53	Scassero, taglio trefoli N <sub>Sd</sub> (kN) -10936,38 M <sub>Sd</sub> (kNm) -2064,62	Perdite tensio Viscosità 35%	Ritiro 50%			assamento 50%		N <sub>Sd</sub> (kN) M <sub>Sd</sub> (kNm)	-9517,23 -3210,33
Estr. trave	e (cm) +65,60	+5,69	σ <sub>sp</sub> (MPa)	$\sigma_{p}$ (MPa) $\sigma_{sp}$ (MPa) -2,15	Δσ <sub>sp</sub> (MPa) Δσ						+4,64	σ <sub>sp</sub> (MPa)
Fila 1 Fila 2 Fila 3	-28,40 -33,40 -38,40		+1291,28 +1283,88 +1276,48	-15,78 +1315,51 -16,50 +1311,63 -17,23 +1307,75	-12,15 -12,71 -13,27	-37,44	+1265,92 +1261,48 +1257,05	-23,22 -22,70 -22,19	-24,95	+1240,43 +1236,53 +1232,62	-17,68	+1151,82 +1141,88 +1131,93
Intr. trave	-44,40	-24,73	11270,10	-18,10	10,27	07,11	11207,00	22,10	21,10	, ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	-20,16	11101,00
FASE 2												
	Getto soletta				Perdite tensio		refabbricata					
		N <sub>Sd</sub> (kN)	-9954,08		Viscosità 35%	Ritiro 25%		Rila	assamento 25%		N <sub>Sd</sub> (kN)	-8495,46
		M <sub>Sd</sub> (kNm)	-2744,08								M <sub>Sd</sub> (kNm)	-2865,67
Estr. trave	e (cm) +65,60	σ <sub>p</sub> (MPa) +2,02	σ <sub>sp</sub> (MPa)		Δσ <sub>sp</sub> (MPa) Δσ	r <sub>sp</sub> (MPa)	σ <sub>sp</sub> (MPa) Δα	r <sub>sp</sub> (MPa)∆	.σ' <sub>sp</sub> (MPa)	σ <sub>sp</sub> (MPa)	σ <sub>p</sub> (MPa) +4,14	σ <sub>sp</sub> (MPa)
Fila 1	-28,40		+1154,30		-12,39	-18.72	+1123,19	-8,99	-9,61	+1113,58	-14,77	+1034,48
Fila 2	-33,40		+1145,24		-13,13		+1113,39	-8,60		+1104,18		+1019,69
Fila 3	-38,40		+1136,17		-13,87		+1103,58	-8,22	-8,83	+1094,75	-16,78	+1004,87
Intr. trave	-44,40	-19,17									-17,99	
FASE 3												
	Dopo getto so		-8495,46		Perdite tensio Viscosità	ne trave p Ritiro	rerabbricata	Dile	assamento		NI (IzAI)	-7596,44
		N <sub>Sd</sub> (kN) M <sub>Sd</sub> (kNm)	-8495,46 -2865,67		viscosita 30%	25%		Hila	assamento 25%		$N_{Sd}$ (kN) $M_{Sd}$ (kNm)	-7596,44 -4881,52
	e (cm)	$\sigma_p  (MPa)$	$\sigma_{sp} \; (MPa)$		Δσ <sub>sp</sub> (MPa) Δσ	s <sub>p</sub> (MPa)	σ <sub>sp</sub> (MPa) Δα	r <sub>sp</sub> (MPa)∆	σ' <sub>sp</sub> (MPa)	$\sigma_{sp}  (MPa)$	$\sigma_p  (MPa)$	$\sigma_{sp} \; (MPa)$
Estr. soletta	+60,07										+3,05	2,81
Intr. soletta	+35,07										-0,27	-0,25
Estr. trave	+35,07	+4,14									-0,27	
Fila 1	-58,93		+1034,48		-9,75		+1006,01	-6,67	-7,14	+998,87	-12,73	+930,69
Fila 2	-63,93	-15,78	+1019,69		-10,41	-18,72	+990,56	-6,23	-6,69	+983,87	-13,40	+912,14
Fila 3 Intr. trave	-68,93 -74,93	-16,78 -17,99	+1004,87		-11,08	-18,72	+975,08	-5,82	-6,26	+968,81	-14,06 -14,85	+893,53
FASE 4		-										
	Carichi perma	anenti					R	tiro soletta	ı			
	,	N <sub>Sd</sub> (kN)	-7794,87					N <sub>Sd</sub> (kN)	-2880,66		N <sub>Sd</sub> (kN)	-10697,32
		$M_{Sd}$ (kNm)	-2688,29				ΔΝ	<sub>Sd</sub> (kNm)	1370,41		$M_{Sd} \; (kNm)$	-1331,88
	e (cm)	σ <sub>p</sub> (MPa)	$\sigma_{sp} \; (MPa)$				Δ	σ <sub>p</sub> (MPa)	$\sigma_p  (MPa)$	$\sigma_{sp}  (MPa)$	σ <sub>p</sub> (MPa)	$\sigma_{sp}$ (MPa)
Estr. soletta	+60,07	-0,66	-0,61					+0,51	-0,15	-0,14		-0,13
Intr. soletta	+35,07	-2,49	-2,30					+1,44	-1,05	-0,97		-0,97
Estr. trave	+35,07	-2,49						-3,17	-5,66		-5,66	
Fila 1	-58,93	-9,35	+948,80					+0,33	-9,02	+950,56	-9,06	+950,36
Fila 2	-63,93	-9,72	+931,84					+0,51	-9,20	+934,59	-9,24	+934,39
Fila 3 Intr. trave	-68,93 -74,93	-10,08 -10,52	+914,83					+0,70 +0,92	-9,38 -9,60	+918,58	-9,42 -9,64	+918,36
FASE 5												
	Carichi accide	entali					Ri	tiro soletta	ı			
			-11201,07				7	N <sub>Sd</sub> (kN)	0,00		N <sub>Sd</sub> (kN)	-11201,05
		M <sub>Sd</sub> (kNm)	3336,35				ΔΝ	<sub>Sd</sub> (kNm)	0,00		$M_{Sd} \; (kNm)$	3336,35
	e (cm)	$\sigma_p  (MPa)$	$\sigma_{sp} \; (MPa)$				Δ	σ <sub>p</sub> (MPa)		$\sigma_{sp} \ (MPa)$		$\sigma_{sp} \; (MPa)$
Estr. soletta	+60,07	-12,70	-11,73					+0,00	-12,70	-11,73		-11,73
Intr. soletta	+35,07	-10,43	-9,64					+0,00	-10,43	-9,64		-9,64
Estr. trave	+35,07	-10,43	-10,43					+0,00	-10,43		-10,43	
Fila 1	-58,93	-1,91	+988,62					+0,00	-1,91	+988,62		+988,62
Fila 2	-63,93	-1,46	+976,05					+0,00	-1,46	+976,05		+976,05
Fila 3	-68,93	-1,01	+963,41					+0,00	-1,01	+963,41	-1,01	+963,41
Intr. trave	-74,93	-0,46	-0,46					+0,00	-0,46		-0,46	



# MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE

NOME: T	RAVE H110	MEZZERIA			RIEPII	.OGO VERIF	ICHE SEZI	ONALI (NTO	22008)	
VERIFICA TEN	SIONI CLS									
]	e (cm)	FS 0	FS 1		FS 2	FS 3	FS 4	FS 5		
		(MPa)	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
Estr. soletta	60,07					+2,81	-0,13	-11,73		
Intr. soletta	35,07					-0,25	-0,97	-9,64		
						σ <sub>c</sub> (MP	0,97		$< 0.45 f_{ck} =$	
						σ <sub>c</sub> (MPa	) =	11,73	$< 0.6 f_{ck} =$	19,92 MPa
Estr. trave	35,07	-2,15	+4,64		+4,14	-0,27	-5,66	-10,43		
Intr. trave	-74,93	-18,10	-20,16		-17,99	-14,85	-9,64	-0,46		
		σ <sub>c</sub> (MPa) =	20,16	$0,70 f_{ckj} =$		σ <sub>c</sub> (MPa) =	9,64		$< 0.45 f_{ck} =$	
		_				$\sigma_c \text{ (MPa)} = \overline{}$		10,43	$<$ 0,6 $f_{ck}$ =	
		σ <sub>ct</sub> (MPa) =	+4,64	$< f_{ctm} =$	+2,79 MPa	σ <sub>ct</sub> (MPa) =			$< f_{ctm} =$	+3,19 MPa
VERIFICA TEN	SIONI ARM	ATURA ATTIV	Ą							
	e (cm)	FS 0	FS 1		FS 2	FS 3	FS 4	FS 5		
		(MPa)	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
Fila 1	-58,93	+1315,51	+1151,82		+1034,48	+930,69	+950,36	+988,62		
Fila 2	-63,93	+1311,63			+1019,69	+912,14	+934,39	+976,05		
Fila 3	-68,93	+1307,75			+1004,87	+893,53	+918,36	+963,41		
$\sigma_{i}$	<sub>spi</sub> (MPa) =	+1315,51	$< 0.9 f_{p(0,1)}$	+1503,00 MPa		$\sigma_{s}$	<sub>p</sub> (MPa) =	+988,62	$< 0.8 f_{p(0,1)}$	+1336,00 MPa
VERIFICA TEN	SIONI ARM	ATURA LENTA	TRAVE				_			
	e (cm)	FS 0	FS 1		FS 2	FS 3	FS 4	FS 5		
	` '	(MPa)	(MPa)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
Fila 1	30,07	-16,60	+20,24		-4,53	-5,38	-33,68	-57,55		
Fila 2	-59,93	-91,82	-96,73		-44,92	-74,19	-52,45	-10,51		
						σ	s (MPa) =	+116,23	$< 0.8 f_{vk} =$	+360,00 MPa
VERIFICA TEN		ATLIDA I ENITA	SOI ETTA				· ·		,	
VENIFICA IEN	e (cm)	TONA LENIA	OULETTA			FS 3	FS 4	FS 5		
	6 (CIII)					(MPa)	(MPa)	(MPa)		
Fila 1	55,07					+13,74	-1,88	-70,61		
Fila 2	25,07					-9,20	-8,14	-54,93		
							s (MPa) =		< 0.8 f <sub>vi</sub> =	+360,00 MPa
							, ,	,	· -,y k	
80				т		80 T				
				-0.13					_	— FS 0
60		-11,73 、		+2,	81	60 ‡			-	FS1
				/E /		E			-	— FS2
40		\	-5,66	-0, <b>9</b> +4,14		40			-	— FS3
		-10-,49,364	1	/ 2 150,23		Ė				— FS4 — FS5
20		\		+4,6	4	20 🗜				
20		· ·	\			[				
0 —			///			, o <b>E</b>				
	·			•		E				•
<b>k cm k</b>				Į.		Ê -20 €				
۸ ۲				ļ.		(cm -20 f				
-40				Ē		-40 F				
40			/	<b>,</b>				±988 62		
-60		///		\		-60	+930.69	+976.05 -963.41 / +	1034.48 +1	151,82 / +1315,51
00	-17,9%	-9,6	4	\		+8	1912,14 193,53	50.36	1034,48 +1 019,69 +11 04,87 +113	41.88 / +1311.63 31,93 +1307,75
-80		8,10-14,85	-0	,46 \		-80	+932 +918,	1,39 36		.,
00	-20,16			ļ.		"				
-100				1		-100 F				
-25	-20	-15 -10	-5	0 5	10 1		0	1000	12	00 1400
		Tensione o	alcestruzzo	(MPa)				Tension	e arm atura a	attiva (MPa)
										, ,
80				Ŧ		80				Ŧ
				ŧ			-70,61			-
60				ţ		60	-70,01			±13,74 /
				E						- <del>1</del> /,88
40		-57,	55	‡		40		54,93		<b>/</b> */
		\	\ _1_	-5,3816,604,5	+20,24		~	7.,55	-9,20	<i>/</i> [
20			-38,6	% // ‡/		20			,	-8,14
_				///[		•				
0 —	,	, ,	/\/		•	0		·	'	-
<b>€</b> -20		/		/ <u> </u>		<del>-</del> 200				<u> </u>
<b>(cm</b> ) <b>(cm</b>				\ <b>!</b>		( <b>E</b> 20				į.
<b>≻</b> -40			/	1 /		<b>&gt;</b> -40				Į
-40			/ /	10 51		-40				<b>:</b>
-60	1	4971982	//-44,9	2 -10,51		-60				1
			2,45	<del>-</del>		-00				Ę
-80				1		-80				Į l
				ŧ		-				[
-100				1		-100				F
-120	-100	-80 -60	-40	-20 0	20 40		30 -6	0 -40	-20	0 20



# **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

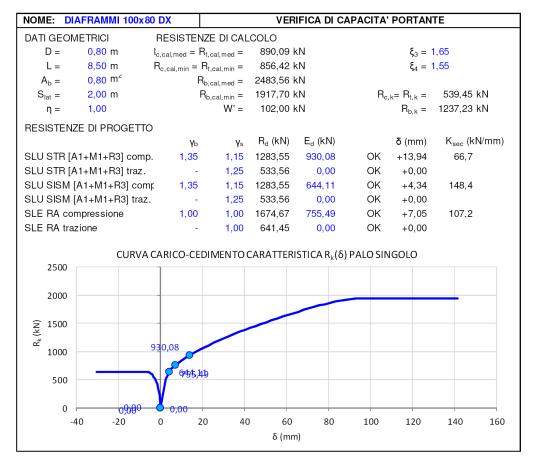
Opere di Viabilità - Relazione Strutturale Opere civili Viabilità

# 7.7 Verifiche strutturali diaframmi



#### **MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE**

NOME: DI	AFRAMMI 100x8	0 SX	VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE						
DATI GEON	/IETRICI	RESISTENZE	E DI CAL	COLO					
D =	0,80 m	$l_{c,cal,med} = R_{t,c}$	cal,med =	656,48 kN		$\xi_3 = 1,65$			
L = 6,50  m		$R_{c, cal, min} = R_{t,}$	cal,min =	631,51 k	κN		$\xi_4 = \frac{1}{2}$	1,55	
$A_b =$	0,80 m²	$R_{b,c}$	cal,med =	2470,76 k	κN				
$S_{lat} =$	2,00 m	R <sub>b,</sub>	cal,min =	1904,90 k	κN	$R_c$	$_{,k}=R_{t,k}=$	397,87 kN	
η =	1,00		W' =	78,00 k	ίN		$R_{b,k} =$	1228,97 kN	
RESISTENZ	ZE DI PROGETTO	)							
		<b>Y</b> b	Υs	$R_d$ (kN)	$E_d$ (kN)		δ (mm)	$K_{\text{sec}}$ (kN/mm)	
SLU STR [A	A1+M1+R3] comp	. 1,35	1,15	1178,32	914,73	OK	+19,06	48,0	
SLU STR [ <i>A</i>	\1+M1+R3] traz.	-	1,25	396,29	0,00	OK	+0,00		
SLU SISM Į	[A1+M1+R3] com	r 1,35	1,15	1178,32	646,52	OK	+7,64	84,6	
SLU SISM	[A1+M1+R3] traz.	-	1,25	396,29	0,00	OK	+0,00		
SLE RA compressione		1,00	1,00	1548,83	750,18	OK	+11,64	64,5	
SLE RA tra	zione	-	1,00	475,87	0,00	OK	+0,00		
2000 1800 1600 1400 1200 200 800 600 400 200	CURVA	914,73 645051		CARATTERI	STICA R <sub>k</sub> (δ)	PALO SIN	IGOLO		
0	<del>0,000</del> 40 -20	0 20	40	) 60	80	100	120	140 160	
-4	40 -20	0 20		, 00	00		120		



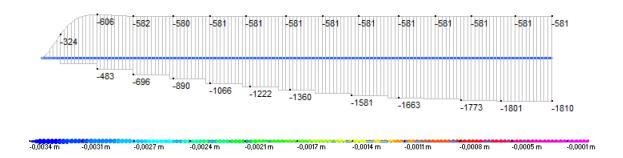


# MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035 - PFTE

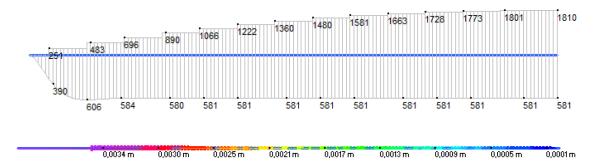
# 8 Analisi longitudinale (Modello B)

# 8.1 Sollecitazioni di calcolo

Si riportano di seguito i risultati relativi ai principali condizioni di carico considerate.



Combinazione TERM+ - Momenti flettenti (kNm) e azione assiale (kN), deformata (m)



Combinazione TERM- - Momenti flettenti (kNm) e azione assiale (kN) , deformata (m)

# 8.2 Verifiche strutturali

Le deformazioni termiche sollecitano la sezione unitaria di fondazione con le seguenti azioni di esercizio SLE:

 $N_{Ed} = \pm 1810/19.80 = \pm 91.4 \text{ kN}$ 

 $M_{Ed} = \pm 581/19.80 = \pm 29.3 \text{ kN}$ 

 $N_{Ed} = \pm 483/22.50 = \pm 24.4 \text{ kN}$ 

 $M_{Ed} = \pm 606/19.80 = \pm 30.6 \text{ kN}$