



MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE
E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI



E.N.A.C.
ENTE NAZIONALE per
L'AVIAZIONE CIVILE

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE AMERIGO
VESPUCCI

Opera

MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035

Titolo Documento

Area di Compensazione Ambientale e Paesaggistica "Il Piano di Manetti"
Relazione Generale delle Strutture

Livello di Progetto

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

LIV	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE
PFTE	00	Ottobre 2022	N/A	FLR-MPL-PFTE-CAP4-038-ST-RT_Manetti Rel Gen St
				TITOLO RIDOTTO
				Manetti Rel Gen St

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	10/2022	Prima Emissione	TAE	F. Bosi	L. Tenerani

COMMITTENTE PRINCIPALE	GRUPPO DI PROGETTAZIONE	SUPPORTI SPECIALISTICI
 ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti	 DIRETTORE TECNICO Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631 CONSULENZA SPECIALISTICA ambiente territorio paesaggio PROGETTISTA SPECIALISTICO Dott. Agr. ELENA LANZI Dott. Agr. ANDREA VATTERONI
POST HOLDER PROGETTAZIONE AD INTERIM Dott. Vittorio Fanti POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'ippolito POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO Geom. Luca Ermini	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Arch. Filippo Bosi Ordine degli Architetti di Firenze N°9004	

Sommario

1.	PREMESSA.....	3
2.	MATERIALI IMPIEGATI PER LE STRUTTURE	4
3.	CARICHI ASSUNTI NEL DIMENSIONAMENTO	6
4.	AZIONE DEL SISMA.....	8
5.	ANALISI STRUTTURALE SVOLTA.....	9
6.	VERIFICHE DI SICUREZZA ESEGUITE.....	11

1. PREMESSA

La presente relazione è relativa alle opere strutturali nell'ambito della realizzazione della cassa di espansione sul fiume Bisenzio in località Renai nel Comune di Signa (FI). In particolare si tratta di:

- due manufatti di presa, caratterizzati dall'adozione di scatolari prefabbricati integrati da solette di fondazione, muri in cemento armato in opera sui prospetti frontali e da muri d'ala con paramento prefabbricato; gli scatolari presentano alle estremità paratoie meccaniche per la regimazione dei flussi idrici;
- un'opera di restituzione con impiego di tubazioni prefabbricate ammorsate alle estremità a muri di pulizia/contenimento del rilevato arginale/stradale, funzionali all'installazione dei sistemi meccanici di regimazione idraulica: paratoie meccanizzate, valvole clapet anti riflusso. Tutti i muri presentano paramento prefabbricato fondato su soletta in opera.

Per ogni dettaglio geometrico si rimanda agli elaborati architettonici ed esecutivi, così come per la relativa ubicazione lungo l'asta fluviale del Bisenzio.

Tutti i suddetti manufatti sono stati progettati con riferimento alle seguenti normative strutturali:

- *D.M. 17/01/2018: "Aggiornamento nuove norme tecniche per le costruzioni";*
- *Circolare Esplicativa del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 617 del 02/02/2009 pubblicata su S.O. n.27 alla G.U. 26 febbraio 2009, n.47: "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/08";*
- *UNI EN 1992-1-1 Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1 Regole generali e regole per gli edifici.*

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica, si è fatto riferimento alle indicazioni di cui alla relazione geologica a firma di "Terra & Opere", allegata alla documentazione progettuale. In particolare, ai fini della definizione dello spettro sismico di progetto si è impiegata una categoria di sottosuolo C e la topografica Π.

Per tutte le opere è stata assunta una vita nominale $V_n=100$ anni ed una classe d'uso III (quindi $V_r=150$ anni); fanno eccezione gli scatolari prefabbricati per i quali è stata addirittura assunta una classe d'uso IV comunque superiore a quella richiesta per la natura specifica dell'opera in progetto.

Nei paragrafi successivi vengono passate in rassegna alcune tematiche comuni e/o specifiche dei vari interventi:

- materiali impiegati;
- carichi assunti nel dimensionamento;
- azione sismica di progetto.
- tipo di analisi strutturale svolta;
- verifiche di sicurezza eseguite;

2. MATERIALI IMPIEGATI PER LE STRUTTURE

I materiali impiegati sono i seguenti (per il calcolo dei copriferri si rimanda ad ogni relazione di calcolo specifica di ogni tipologia di opera):

Magroni:

classe di resistenza: C12/15

classe di esposizione: XC0

diametro massimo inerte: 32mm

classe di consistenza: S3

copriferro: getto non armato

4

Soletta fondazione muri prefabbricati e soletta integrativa di fondo delle vasche di compenso:

classe di resistenza: C32/40

classe di esposizione: XC2

diametro massimo inerte: 32mm

classe di consistenza: S4

copriferro: 40mm

max rapporto acqua cemento: 0.50

Paramenti verticali muri prefabbricati:

classe di resistenza: C35/45

classe di esposizione: XC4, XD1, XF2

diametro massimo inerte: 25mm

classe di consistenza: S4 copriferro:

40mm

max rapporto acqua cemento: 0.45

Scatolari monoblocco prefabbricati:

classe di resistenza: C40/50

classe di esposizione: XC4

diametro massimo inerte: 25mm

classe di consistenza: S4

copriferro: 30mm

max rapporto acqua cemento: 0.45

Setti di completamento fronti opere di presa tra sagoma scatolari prefabbricati:

classe di resistenza: C32/40

classe di esposizione: XC4

diametro massimo inerte: 32mm

classe di consistenza: S4

copriferro: 50mm

max rapporto acqua cemento: 0.50

Malte a ritiro compensato per getti II° fase

(inghisaggio telai paratoie):

classe di resistenza: C32/40

classe di spandimento: SF3

diametro massimo inerte: 4mm

rapporto acqua cemento: 0.55

Acciaio per calcestruzzo:

classe di resistenza: B450C

3. CARICHI ASSUNTI NEL DIMENSIONAMENTO

I carichi assunti nel dimensionamento delle strutture sono i seguenti:

- peso proprio delle componenti strutturali (carichi di tipo G1).
- carichi permanenti non strutturali (carichi di tipo G2) costituiti dal terreno di riporto, massi di scogliera, componenti meccaniche.
- azioni dovute all'acqua di transito: si è ipotizzato che gli scatolari di presa possano essere riempiti per intero. Si è inoltre ipotizzato il massimo battente in caso di sfioro agente sulle solette di fondazione (situazione che tuttavia si avrà in un transitorio di tempo estremamente contenuto).

Le reazioni vincolari delle paratoie, ripartite in più punti di attacco, non sono risultate dimensionanti degli elementi strutturali di ancoraggio, in relazione agli stati di sollecitazione principali che interessano tali elementi.

Le azioni dovute all'acqua sono state trattate come carichi permanenti strutturali, ovvero come carichi permanenti non strutturali (G2) "di valore certo". Tali azioni sono state pertanto amplificate allo SLU di un coefficiente $\gamma=1.3$. Ciò anche alla luce di quanto affermato al paragrafo 2.6.1 delle NTC 18.

- azioni dovute alla spinta delle terre sui paramenti verticali di contenimento del rilevato. Tali azioni sono state assimilate a carichi permanenti strutturali (vedi paragrafo 6.2.4.1.1 delle NTC 18) e sono state pertanto amplificate con $\gamma=1.3$ allo SLU.

- azioni dovute al transito di automezzi su strada al di sopra della soletta di copertura dello scatolare prefabbricato. Per la loro completa esplicitazione si rimanda alla specifica relazione di calcolo. Tuttavia se ne riportano in sintesi gli schemi di carico validi per i ponti stradali di 1° categoria ex capitolo 5 delle NTC.18 (si fa notare come la larghezza della strada in sovrappasso risulta inferiore a 5.4m):

- schema di carico 1 (verifiche globali) applicato con asse della condotta ortogonale o parallelo all'asse della strada, relativo a un mezzo convenzionale a due assi da

complessivi 600 kN (60t), con contestuale sovraccarico uniforme da traffico pari a 900Kg/mq.

- schema di carico 3 (verifiche locali) costituito da un carico isolato da 150kN su impronta 40x40cm.

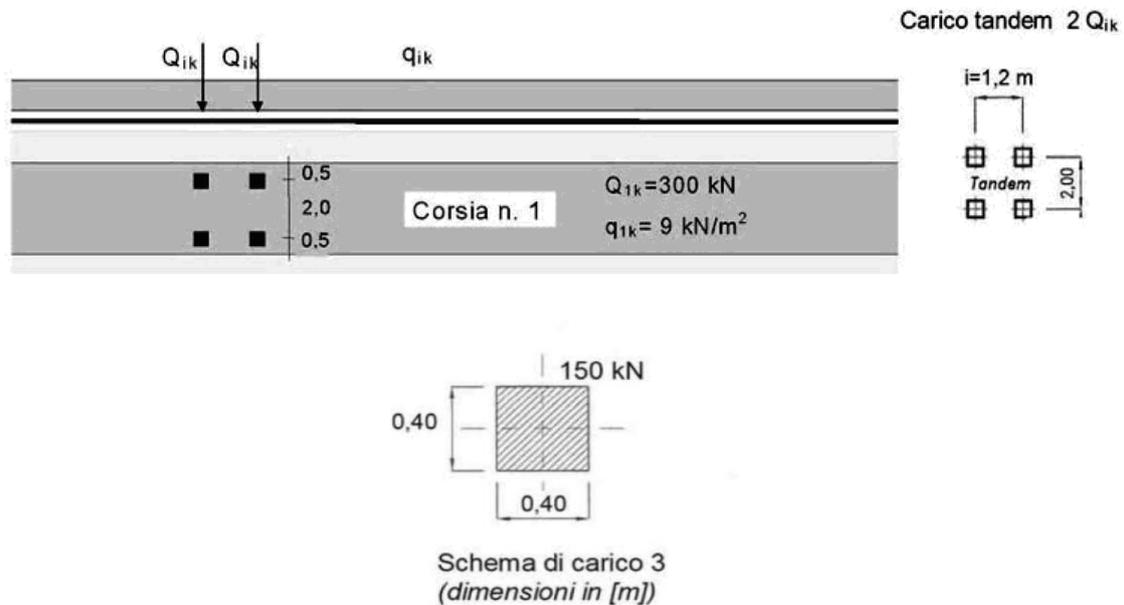


Figura 3.1 – Schemi di carico 1 e 3 da traffico stradale (dimensioni in metri)

Ciascun elemento scatolare prefabbricato è stato considerato staticamente indipendente rispetto agli elementi adiacenti. L'impronta di carico da 150 kN si diffonde nel terreno con un angolo di 45° rispetto all'asse verticale, e si distribuisce fino alla linea media della soletta di copertura su aree di diversa estensione in funzione della profondità considerata nonché dello spessore del manufatto in oggetto. La posizione del carico tandem è stata supposta variabile sulla superficie della soletta di copertura, al fine di massimizzare gli effetti per flessione/deformazione e taglio. Le azioni longitudinali di frenamento o di accelerazione sono state trascurate ex APPENDICE A.4 della norma armonizzata UNI EN 14844-2009 "Prodotti prefabbricati di calcestruzzo – Elementi scatolari" dove è riportato: "Si può considerare che ogni carico orizzontale dovuto al traffico di superficie può senza pericolo essere assorbito dalla massicciata stradale o altre superfici, senza che abbia effetto sugli elementi scatolari".

Le azioni da traffico sono state amplificate allo SLU secondo i dettami del capitolo 5 delle NTC.18 (paragrafo 5.1.3.14), ovvero applicando in coefficiente di amplificazione di 1.35.

incremento di spinta delle terre per effetto sovraccarichi da traffico e/o da automezzi di servizio, applicato ai paramenti verticali dei muri di contenimento. Per tali azioni accidentali (per i mezzi di servizio su rilevato arginale è stato assunto un sovraccarico di 2000kg/mq) allo SLU si sono impiegati i coefficienti relativi ai carichi da traffico come precedentemente indicato.

4. AZIONE DEL SISMA

Per tutte le opere è stata assunta la categoria di suolo C – topografica T1.

Per la struttura scatolare prefabbricata, sottoposta ad un'analisi pseudo-statica, è stata considerata l'azione di inerzia del cuneo di terreno che insiste sull'altezza interrata, sulla base dei coefficienti di amplificazione. Le azioni sismiche esercitate dal terreno/sovraccarico sulle pareti (in aggiunta a quelle statiche) sono state quindi calcolate sulla base del coefficiente sismico orizzontale k_h . A favore di sicurezza, per la sua determinazione è stato fatto riferimento ai valori più elevati di accelerazione al suolo riscontrabili in Italia (zona tra Gemona del Friuli e Idria, Sicilia Orientale) ipotizzando una classe d'uso IV superiore a quella richiesta per la natura dell'opera e una vita utile pari a 100 anni. Si veda quanto indicato nella relazione tematica.

Alla stregua, anche per i paramenti verticali dei muri di sostegno prefabbricati, ipotizzati incastrati alla base, è stata impiegata un'analisi pseudo-statica con applicazione del coefficiente sismico K_h , questa volta valutato per classe d'uso III propria dell'opera in oggetto e vita utile 100anni.

Per quanto attiene la modellazione globale delle opere di presa, ai fini della progettazione degli elementi in opera quali fondazioni e setti complementari agli scatolari, nonché ai fini delle valutazioni di carattere geotecnico, è stata invece adottata un'analisi dinamica modale con fattore di struttura unitario, considerando ancora una volta una vita nominale $V_n=100$ anni ed una classe d'uso III ($V_r=150$ anni).

Si riportano di seguito, per sinteticità, i parametri sismici afferenti il sito d'impianto:

Sito di costruzione:		Signa - via Argine strada LON. 11.11501 LAT. 43.79186				Individua
Contenuto tra ID reticolo: 19835 20057 19834 20056						
Tipo di opera		Opera ordinaria		Vita nominale V_N		100
Classe d'uso		Classe III				
<input type="checkbox"/>	SLO-Pvr		Ag		FO	TC*
<input checked="" type="checkbox"/>	SLD-Pvr	63	Ag	0.79929	FO	2.59843 TC* 0.284904
<input checked="" type="checkbox"/>	SLV-Pvr	10	Ag	1.82532	FO	2.39468 TC* 0.308876
<input type="checkbox"/>	SLC-Pvr		Ag		FO	TC*

Figura 4-1: Parametri sismici

5. ANALISI STRUTTURALE SVOLTA

5.1 MURI DI SOSTEGNO PREFABBRICATI

I calcoli dei paramenti verticali prefabbricati dei muri di sostegno sono stati redatti sulla base degli schemi di spinta delle terre e delle formulazioni presenti nella più diffusa letteratura tecnica, assumendo i coefficienti parziali sulle azioni / materiali / parametri geotecnici di normativa.

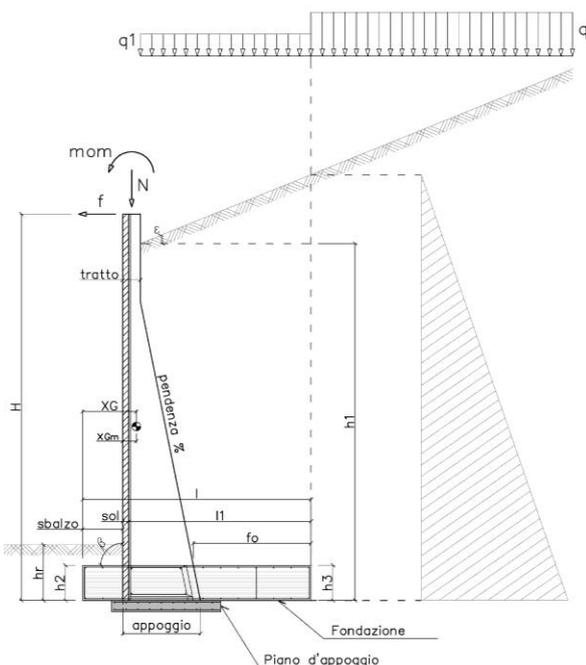
Il dimensionamento nello specifico è stato condotto prendendo come riferimento un elemento modulare prefabbricato di larghezza 2.50 m, considerando il contributo delle due nervature di irrigidimento a tergo del paramento verticale. Sono state implementate le altezze di muro più significative: h.totali 3.85 - 6.60 - 11.00m (compreso piede di appoggio inghisato nella fondazione), estendendo di fatto verifiche e dettagli esecutivi ai paramenti di altezza inferiore o intermedia.

Per il calcolo della spinta attiva è stata impiegata la seguente formulazione di Coulomb:

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\beta + \phi)}{\text{sen}^2\beta * \text{sen}(\beta - \delta) * (1 + \text{sqr}((\text{sen}(\phi + \delta) * \text{sen}(\phi - \epsilon)) / (\text{sen}(\beta - \delta) * \text{sen}(\beta + \epsilon))))^2}$$

funzione dell'angolo d'attrito specifico del terrapieno, attrito terra/muro, inclinazione scarpata e paramento.

La forza di inerzia sismica esercitata dal terreno è stata stimata sulla base del coefficiente di amplificazione orizzontale k_h , valutato in relazione ai parametri sismici del sito di impianto.



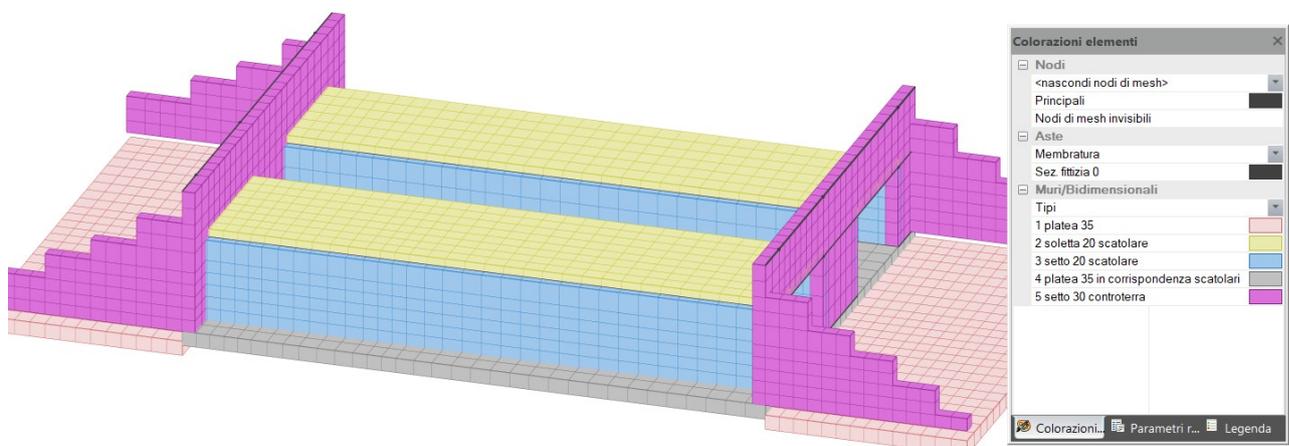
Per quanto attiene le solette di fondazione dei suddetti paramenti di sostegno (al netto dell'ingombro delle platee "inerti", ovvero con la funzione di collegamento monolitico dei vari manufatti e di superficie di fondo delle vasche di compenso e/o delle bocche di presa/restituzione), queste sono state progettate, a favore di sicurezza, attraverso modelli FEM parziali e locali applicando le reazioni alla base risultanti dall'analisi sismostatica dell'elevazione larga 2.5m schematizzata incastrata alla base (per condizioni SLV - SLU - SLE). Con lo stesso modello parziale sono state eseguite le verifiche geotecniche più significative.

5.2 SCATOLARE PREFABBRICATO OPERE DI PRESA

La struttura dello scatolare prefabbricato è stata schematizzata con un modello tridimensionale agli elementi finiti ipotizzando un vincolo sul piano di posa di tipo elastico alla Winkler. Per quanto attiene il cuneo di terreno interagente con le pareti verticali, ipotizzato in condizioni di "riposo" per effetto del comportamento scatolare del manufatto e non a mensola tipico dei muri a retta, la relativa spinta è stata valutata impiegando il coefficiente $K_0 = (1 - \sin \phi)$, funzione dell'angolo di attrito del terrapieno.

Le pressioni sismiche esercitate dal terreno sulle pareti (in aggiunta a quelle statiche) sono state calcolate sulla base del coefficiente sismico orizzontale k_h .

Per il dimensionamento della soletta di fondazione, nonché ai fini delle verifiche geotecniche di capacità portante e cedimenti, si è ritenuto opportuno eseguire una modellazione tridimensionale comprensiva non solo delle strutture scatolari ma anche dei setti di completamento dei fronti agli imbocchi degli stessi condotti e dei muri d'ala di raccordo al rilevato. Per quanto concerne il vincolamento esterno, si è assunto un suolo alla Winkler per la platea caratterizzato da una costante elastica verticale uniforme. Il modello è stato sottoposto ad un'analisi di tipo statico e ad un'analisi di tipo dinamico modale (per il sisma) eseguita in riferimento ad un fattore di struttura $q=1.0$ (prescindendo quindi da caratteristiche di duttilità e massimizzando lo spettro elastico di progetto).



6. VERIFICHE DI SICUREZZA ESEGUITE

Si riportano di seguito le verifiche di sicurezza agli stati limite eseguite per i singoli elementi strutturali in opera, precisando che queste sono state svolte secondo l'Approccio 2 delle NTC.18:

- platea di fondazione:
 - verifica di capacità portante in condizioni drenate e non drenate sia per le combinazioni statiche che sismiche;
 - calcolo e giudizio di accettabilità sui cedimenti calcolati per le combinazioni SLE;
 - verifiche di resistenza a flessione per le combinazioni SLU ed SLV;
 - verifiche di controllo delle tensioni di esercizio e di fessurazione per le combinazioni SLE (condizioni ambientali ordinarie).

- setti/muri:
 - verifiche di resistenza a flessione e a taglio per le combinazioni SLU ed SLV;
 - verifiche di controllo delle tensioni di esercizio e di fessurazione per le combinazioni SLE (condizioni ambientali aggressive)

- scatolari
 - verifiche di resistenza a flessione, presso-tendo flessione e a taglio per le combinazioni SLU;
 - verifiche di controllo delle tensioni di esercizio e di fessurazione per le combinazioni SLE (condizioni ambientali aggressive)

11

Sono state svolte manualmente, con schemi statici semplificati, le verifiche degli elementi puntuali presenti al di sopra della soletta di copertura degli scatolari (muretti contenimento rilevato/massicciata stradale) sia in riferimento alle condizioni ultime che di esercizio.

Si rimanda comunque per dettagli ai successivi livelli di progettazione e agli specifici elaborati di calcolo relativi alle strutture.