



Regione Toscana - Provincia di Pistoia

COMUNE di PISTOIA

Settore: DIR. U.O. EDILIZIA COMUNALE



STUDIO BALDI & ASSOCIATI, INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Ing. Franco Baldi - Ing. Alessandro Baldi - Arch. Meri Ascani

via europa 95, 51039 quarrata pistoia, tel 0573 73182 - 0573 736155, fax 0573 779119
e-mail alex@studiobaldiassociati.it - postmaster@studiobaldiassociati.it p.i. 01592780470

COLLABORATORI

Progetto Esecutivo:

Arch. TOMMASO CAPPELLI

PROGETTISTA

Ing. ALESSANDRO BALDI

TITOLO DEL PROGETTO

**MIGLIORAMENTO SISMICO
ALLO STADIO MARCELLO MELANI DI PISTOIA**

FASCICOLO

RELAZIONE TECNICA GENERALE

UBICAZIONE

Via dello Stadio, Pistoia (PT)

DISEGNO N.

A3

N.	DATA	OGGETTO REV.
1		
2		
3		
4		
5		
6		

DATA

DOCUMENTO CAD

ARCHIVIO POSIZ. N.

223

PROGETTISTA

RUP

D.L.

NOTE

A3.1 Relazione generale illustrativa dell'opera

La presente relazione ha come oggetto un intervento di miglioramento sismico della Tribuna Ovest dello Stadio Comunale di Pistoia ai sensi delle NTC 2018 e della Circolare n. 617/C.S.LL.PP. Del 02/02/09.

La Tribuna Ovest dello Stadio Comunale di Pistoia è costituita da tre corpi giuntati tra di loro, una centrale (corpo A) e due laterali simmetriche (corpo B), in conglomerato cementizio armato gettato in opera. Le strutture esterne (B) sono costituite da 8 telai paralleli mentre quella interna (A) da 6 telai. Tutti i pilastri sono incernierati alla base su tre appoggi. I pilastri inferiori presentano una forma pressoché triangolare, con la massima larghezza in sommità e rastremati fino alla cerniera di base, mentre il pilastro superiore di ciascun telaio, posizionato in corrispondenza di quello inferiore più esterno, ha una sezione costante rettangolare. I telai sono collegati tra loro dalle gradinate e da tre travate poste, perpendicolarmente ai telai stessi, in corrispondenza dell'estremità della mensola e dei pilastri. Le gradinate sono costituite da una soletta sagomata di spessore 8 cm che appoggia sulle travi in c.a. della struttura principale dell'opera, coprendo una luce di 5,00 m circa. Essa è caratterizzata da una seduta di 80 cm per un'altezza di circa 40 cm, interrotta da un gradino intermedio in calcestruzzo in corrispondenza delle scalinate. L'accesso alle gradinate è consentito attraverso quattro scalinate di 4,00 metri di larghezza, mentre la tribuna stampa è raggiungibile direttamente attraverso la scala elicoidale.

Tutte queste strutture sono state realizzate in conglomerato cementizio armato.

Le gradinate oggetto di analisi sono coperte da una struttura metallica costituita da una trave principale a doppio T di sezione variabile, rastremata alle estremità e con la massima sezione in corrispondenza della cerniera d'appoggio, rinforzata mediante fazzoletti in acciaio, avente un aggetto di circa 15,50 metri e da una struttura secondaria in profilati appoggiati e lamiera grecata a coprire.

Al piano terra sono stati ricavati alcuni vani mediante tamponamento con blocchi semipieni delle zone sotto gradinata, non interferenti strutturalmente con quella in c.a. della tribuna. La struttura è stata collaudata con due atti distinti: il primo riguarda il collaudo della struttura in c.a., avvenuto il 11/06/1966, il secondo riguardante la struttura di copertura in acciaio, avvenuto il giorno 10/10/1966, redatti entrambi dall'ing. Piercarlo Morandi.

La struttura prevedeva per le gradinate una capienza di circa 3500 persone corrispondente ad un sovraccarico accidentale di 600 kg/mq e per la copertura un sovraccarico accidentale di 100 kg/mq.

Oltre alle strutture di cui sopra è presente anche una scala elicoidale in c.a. che in questo contesto non viene presa in esame in quanto è attualmente in disuso e prossima alla demolizione.

Analisi Storico-Critica

La Tribuna Ovest dello Stadio Comunale di Pistoia venne costruita negli anni '60 con progetto datato 25/05/61 a firma dell'ing. Athos Innocenti e collaudata nel 1966 dall'ing. Piercarlo Morandi.

È stato possibile, infatti, recuperare i disegni architettonici e strutturali originari che descrivono in maniera quasi esaustiva le varie strutture componenti la tribuna in oggetto, consistenti in:

- Tav. 1: Tribuna coperta - Telaio tipo: carpenteria (10.2.1965);
- Tav. 2: Tribuna coperta - Sezione in asse: carpenteria (27.4.1965);
- Tav. 6: Prospetto tribuna coperta (25.5.1961);
- Tav. 7: Scala elicoidale tribuna stampa - Armatura metallica (27.2.1965);
- Tav. 8: Sezione della tribuna coperta (25.5.1961);
- Tav. 9: Tribuna coperta - Particolare attacco tiranti (20.2.1965);
- Tav. 10: Tribuna coperta - Mensola di copertura (25.2.1965);
- Tav. 17: Pianta delle fondazioni della tribuna coperta (30.4.1964);
- Tribuna coperta - Sezione sulla scala (15.2.1965).

I dati mancanti sono comunque stati ricavati dai calcoli del progettista e dalle descrizioni e verifiche di collaudo. Sono stati recuperati anche i certificati di prova dei materiali, sia del calcestruzzo che dell'acciaio (allegati alla relazione sui materiali).

La struttura non ha subito sostanziali modifiche negli anni, fatta eccezione per l'inserimento di un camminamento in corrispondenza della tribuna stampa, realizzato con lamiera grecata fissata alla struttura in c.a. mediante profilati metallici (de quale è stato effettuato il collaudo) e di alcune opere di manutenzione straordinaria.

Rilievo geometrico

Come già anticipato, la Tribuna Ovest è costituita da tre strutture giuntate fra di loro, una centrale e due laterali simmetriche. Dai rilievi effettuati è stata riscontrata l'effettiva presenza dei giunti in corrispondenza di tutte le strutture interessate, come si può osservare dalla documentazione fotografica di seguito riportata, sebbene tale giunto è reso inefficace sulle gradinate in quanto ostruito.

Si tratta di un giunto di 2-3 centimetri di larghezza, progettato per gli effetti delle dilatazioni termiche.

Le verifiche riportate nella relazione di calcolo mostrano le criticità di tale struttura che, da un punto di vista sismico esteso al

comportamento globale della struttura, si concentrano sui pilastri del livello più alto su cui appoggia la copertura. In merito a quest'ultima si evince che la travata principale è effettivamente vincolata alla sottostante struttura in c.a. della tribuna solamente in corrispondenza delle pilastrate superiori mediante una cerniera. Per l'equilibrio della stessa sono presenti dei tiranti in c.a. sull'oggetto retrostante. Ciascuno dei due tiranti è collegato, a circa due terzi della propria altezza, a quello del telaio adiacente, in maniera tale da limitarne la snellezza e impedirne l'instabilità in caso di compressione. Tuttavia tale azione di compressione, seppur contenuta, è comunque presente in quanto, da una osservazione molto più approfondita del nodo di sommità, si è potuto rilevare che si tratta di un vincolo bilatero e quindi è in grado di fornire anche una opposizione alla rotazione per sollevamento.

Prima di affrontare le verifiche strutturali per la progettazione dell'intervento, è stata pianificata una campagna di indagini volta a verificare le geometrie della tribuna, le caratteristiche dei materiali e quelle del terreno. Con l'ausilio di metro, rotella metrica e distanziometro laser si è, dunque, proceduto con le verifiche geometriche delle strutture al fine di riscontrarne la corrispondenza con gli esecutivi di progetto, analizzando un campione costituito da almeno il 20% degli elementi per ciascuna tipologia strutturale.

Per verificare, invece, la conformità delle armature indicate nei disegni esecutivi è stato utilizzato un pacometro, strumento che attraverso la generazione di un campo magnetico è in grado di determinare la presenza di ferro all'interno di una sezione in calcestruzzo. Con le stesse modalità di indagine stabilite per la geometria, sono state prese a campione le stesse strutture e verificata la presenza delle armature, il diametro e la loro posizione. In molti casi, in maniera particolare per quanto riguarda le staffe, è stato possibile misurare direttamente sulla superficie esterna il loro passo, conseguenza di un copriferro ridotto o molto spesso inesistente che permette di vedere ad occhio nudo il ferro.

Caratterizzazione dei materiali

I materiali impiegati nella realizzazione della Tribuna Ovest sono il conglomerato cementizio, l'acciaio in barre per c.a. e l'acciaio per carpenteria.

Calcestruzzo

La durabilità di una struttura e, quindi, la sua capacità di resistere nel tempo alle azioni per le quali è stata progettata è legata principalmente alla durabilità dei materiali che la costituiscono. In particolare il calcestruzzo è un materiale che subisce nel corso della propria vita numerosi cicli di gelo e disgelo, per non parlare dell'aggressione da parte di agenti chimici soprattutto in presenza di un copriferro scarso con conseguente ossidazione dei ferri d'armatura. Tali fenomeni portano nel tempo ad un decadimento delle caratteristiche chimico-fisiche del calcestruzzo e, quindi, ad una diminuzione progressiva delle resistenze del medesimo.

Per poter valutare i valori delle resistenze del calcestruzzo posto in opera all'epoca della realizzazione delle strutture della tribuna abbiamo proceduto con l'estrazione di una carota cilindrica da un pilastro inferiore centrale, in corrispondenza del secondo telaio a partire da sinistra guardando la tribuna dal campo sportivo.

Come si può osservare dal certificato di prova n. 197/2013 (allegato alla relazione sui materiali), rilasciato dal laboratorio autorizzato IGETECMA s.a.s. in data 24/09/2013, la prova eseguita su carota cilindrica rettificata ha fornito i seguenti risultati:

RISULTATI DI PROVA					
<i>Sigla</i>	<i>Diametro (mm)</i>	<i>Altezza (mm)</i>	<i>Massa (kg)</i>	<i>F (kN)</i>	<i>Rc (Mpa)</i>
Carota 1	93,93	181,08	2,875	167,6	24,2

La resistenza caratteristica cilindrica a compressione f_{ck} è ricavabile direttamente dalla resistenza a rottura R_c , attraverso diverse formule sperimentali reperite in letteratura, tra cui il Metodo EN13791, presente nelle Linee Guida del C.S.LL.PP., che stabilisce la seguente correlazione:

$$f_{ck} = R_c * F_{1/d} * F_d = 1,19 R_c$$

con:

$$F_{1/d} = 0,83 + [(1-0,83)/(1/d - 1)] = 1,013$$

$$l = 181,08 \text{ mm}$$

$$d = 83,93 \text{ mm}$$

$$F_d = 1/0,85 = 1,176$$

fattore di correzione per il disturbo

lunghezza carota

diámetro carota

fattore di correzione per il disturbo

Procedendo a vantaggio di sicurezza, avendo a disposizione solo i dati di un'estrazione e non un campionamento più ampio, la resistenza caratteristica cilindrica a compressione f_{ck} è stata assunta pari a quella ricavata dal carotaggio R_c eseguito in sito (indicato con la sigla C 24/29).

CALCESTRUZZO							
Elementi strutturali	Classe resist.	f_{ck} [MPa]	f_{cd} [MPa]	E_{cm} [MPa]	$E_{c,din}$ [MPa]	G_{cm} [MPa]	$G_{c,din}$ [MPa]
Fondazioni	C 24/29	24,2	10,16	31000	15500	13000	6500
Travi, pilastri, solette	C 24/29	24,2	10,16	31000	15500	13000	6500

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / (\gamma_M FC)$$

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$$\gamma_M = 1,5$$

$$FC = 1,35$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

$$E_{cm} = 22000 [f_{cm}/10]^{0,3}$$

$$E_{c,din} = 1/2 E_{cm}$$

$$G_{cm}$$

$$G_{c,din} = 1/2 G_{cm}$$

coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata

coefficiente di sicurezza calcestruzzo

fattore di confidenza

modulo elastico normale in condizioni statiche

modulo elastico normale in condizioni dinamiche

modulo elastico tangenziale in condizioni statiche

modulo elastico in condizioni dinamiche

Il valore ricavato dal carotaggio è stato esteso a tutta la struttura sulla base della campagna di prove sclerometriche eseguite sui diversi elementi della tribuna (v. relazione sui materiali) che hanno confermato una omogeneità dei risultati e quindi della qualità del materiale.

Acciaio

Per quanto riguarda l'acciaio in barre per c.a. sono stati individuate 3 tipologie: omogeneo, l'acciaio Aq 42 (acciaio dolce o omogeneo di qualità) ed il GS 4400 (acciaio duro ad Alto Limite Elastico, confrontabile con un acciaio Fe B38k). Le tensioni caratteristiche di snervamento sono state ricavate per ciascun tipo di acciaio dalla letteratura:

ACCIAIO PER C.A.				
Strutture	Classe di resistenza	f_{yk} [MPa]	f_{tk} [MPa]	f_{yd} [MPa]
Scale, travi secondarie, solette	Omogeneo	230	420	148
Pilastri	Aq 42	265	420	171
Travi rovesce, travi principali	GS 4000	360	700	230

F_{yk} = tensione caratteristica di snervamento

f_{tk} = tensione caratteristica di rottura

$$f_{yd} = f_{yk} / (\gamma_S FC)$$

$$\gamma_S = 1,15$$

ACCIAIO PER CARPENTERIA				
Strutture	Classe resistenza	f_{yk} [MPa]	f_{tk} [MPa]	f_{yd} [MPa]
Trave principale	Anima e irrigidimenti	A42	230	162
	Piattabande	Aq42	265	171
Travi secondarie	A42	230	420	162

F_{yk} = tensione caratteristica di snervamento

f_{tk} = tensione caratteristica di rottura

$$f_{yd} = f_{yk} / (\gamma_S FC)$$

$$\gamma_S = 1,05$$

Livello di Conoscenza

Nonostante la non indifferente quantità di dati sui materiali in possesso che potrebbero facilmente inserirci in un livello di conoscenza LC2, è stato deciso, in accordo con la Committenza, di rimanere comunque in **LC1**, ossia conoscenza limitata. Tale livello di conoscenza, secondo le NTC ed in particolare l'Appendice A8 della Circolare, consente di adottare valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca, convalidati da limitate prove in situ sugli elementi più importanti.

Al livello di conoscenza LC1 corrisponde un Fattore di Confidenza **FC=1,35** da applicare al denominatore delle resistenze

medie dei materiali, come già indicato nei precedenti paragrafi.

A3.2 Normativa di riferimento

Il progetto in esame è stato svolto in accordo a quanto prescritto dalle normative riportate di seguito:

- D.M. 17.01.2018 – Nuove norme tecniche per le costruzioni
- Circolare Esplicativa n. 617 del 02.02.2009
- D.P.R. 380/2001
- L.R. 65/2014

Sono inoltre stati consultati numerosi testi specialistici o trattazioni di provata e consolidata affidabilità che affrontano le materie in questione, con riguardo soprattutto alle costruzioni in zona sismica.

A3.3 Valutazione della sicurezza e delle prestazioni della struttura

L'analisi sismica della struttura è stata eseguita con il metodo dell'analisi dinamica modale con spettro di risposta (con solutore dinamico) con gli spettri di progetto definiti dalla Normativa di Riferimento.

Lo **zero sismico** è assunto a quota del piano terra, che nel modello corrisponde alla quota $z = 0$.

Si osserva che per l'analisi dinamica modale si è proceduto alla combinazione quadratica completa della risposta di tutti i modi calcolati e successivamente alla sovrapposizione degli effetti secondo quanto precisato dalle NTC.

I parametri sismici caratteristici dell'elaborazione numerica sono quelli di seguito riportati.

Ubicazione: **Pistoia**

Coordinate geografiche:

Latitudine **43° 56' 26" (43,9406)**

Longitudine **10° 54' 51" (10,9142)**

Classe di duttilità: **BASSA**

Azioni nelle verifiche SLU:

1. verifiche STR **Approccio 2 (A1+M1+R3)**

2. verifiche GEO **Approccio 2 (A1+M1+R3)**

Vita nominale e di riferimento:

Tipo di costr.	Vita nominale (anni)	Classe d'uso	C_U	Vita di riferimento (anni)
3	$V_N = 50$ anni	III	1,5	$V_R = V_N \times C_U = 75$

Stati limite adottati e relative probabilità di superamento:

Stati limite		PV_R : probabilità di superamento nel periodo di riferimento	T_R : periodo di riferimento
Stati Limite Ultimi	SLV	10,00%	712 anni

Parametri sismici:

Stato limite di riferimento	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLV	712	0,183	2,388	0,296

Categoria del suolo: **E**

Condizioni topografiche: T1

Smorzamento: $\xi = 5\%$

Regolarità: - IN PIANTA: NON REGOLARE
- IN ALTEZZA: NON REGOLARE

Parametri SLV

categoria del sottosuolo	$S_s = 1,52$ $S_T = 1,0$ $C_c = 1,872$	S = 1,52
smorzamento viscoso		$\eta = 1,00$
inizio tratto accelerazione costante dello spettro		$T_B = 0,185$ s
inizio tratto velocità costante dello spettro		$T_C = 0,554$ s
inizio tratto spostamento costante dello spettro		$T_D = 2,332$ s

Fattore di struttura:

Sulla base dei dati di progetto e quelli finora stabiliti, valutando altresì le caratteristiche costruttive e tipologiche della struttura in esame, si ritiene opportuno assumere un valore del fattore di struttura sufficientemente cautelativo. Pertanto si assume si determina il fattore di struttura: **$q = 1,50$** .

A3.4 Conclusioni

Le analisi già effettuate per la determinazione della vulnerabilità statica e sismica della Tribuna Ovest dello Stadio di Pistoia hanno evidenziato delle carenze strutturali dell'opera in oggetto.

Sotto l'aspetto statico le criticità sono state rimosse attraverso una serie di interventi che hanno messo in sicurezza la struttura. Tra gli interventi effettuati si segnalano la ricostruzione dei parapetti laterali della gradinata, la chiusura della scala elicoidale, il recupero corticale di alcune porzioni ammalorate delle gradinate, la riduzione del carico ammissibile sulla gradinata (portato attualmente a 2,50 kN/mq).

Per quanto riguarda la vulnerabilità sismica della struttura le analisi condotte hanno evidenziato essenzialmente una criticità nei pilastri posti al livello superiore, causata dalla copertura metallica sui quali appoggia.

In questa fase pertanto si interviene per migliorare sismicamente la struttura attraverso una serie di interventi che ci portino ad avere una $PGA_{SLV,c}$ in termini di **capacità** pari almeno al 60% rispetto alla $PGA_{SLV,d}$ in termini di **domanda** (ossia, ai sensi delle NTC 2018, avere uno $z_E > 0,6$).

L'analisi sismica globale effettuata è stata tesa a valutare, per quanto possibile, sia la resistenza sia la duttilità disponibili. In tal senso si è appunto adottato, come già detto in precedenza, un fattore di comportamento sufficientemente cautelativo.

Nell'analisi effettuata per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi duttili sono state impiegate le proprietà dei materiali esistenti divise per i fattori di confidenza corrispondenti al livello di conoscenza adottato (LC1). Per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi fragili, le resistenze dei materiali sono divise per i corrispondenti coefficienti parziali e per il fattore di confidenza corrispondente al livello di conoscenza raggiunto (FC = 1,35). Per i materiali nuovi o aggiunti si impiegano le proprietà di calcolo come per le nuove costruzioni.

Oltre alla verifica della struttura nella sua composizione globale si è intervenuti anche localmente, su particolari zone di collegamento o dissipative, al fine di limitare e/o evitare eventuali meccanismi di collasso locale.

Maggiori dettagli su quanto sopra si possono ritrovare nella relazione di calcolo.