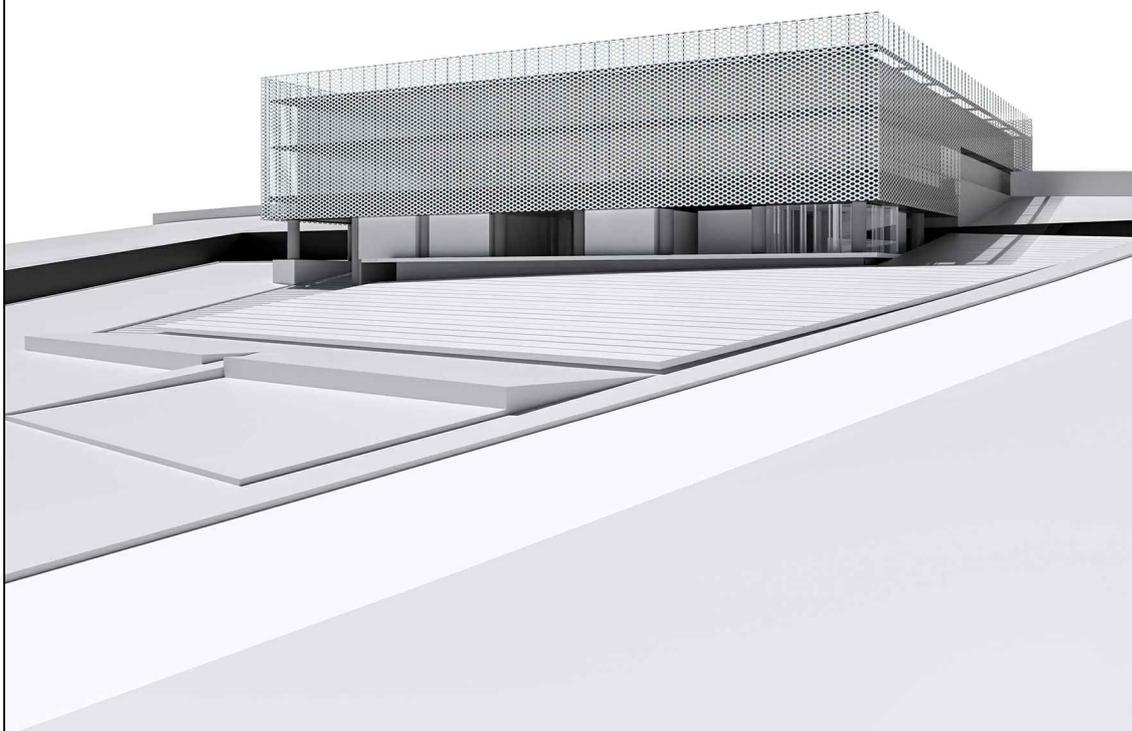


Comune di Camerino
CRU_CENTRO RICERCA UNIVERSITARIA
Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n.489 / 2017 art.6

PROGETTO ESECUTIVO



UNIVERSITA' DI CAMERINO
SAAD

Scuola di Ateneo
Architettura e Design "E. Vittoria"

Responsabile Unico del Procedimento:
Ing. Gian Luca Marucci

Coordinamento Progetto:
prof. Luigi Coccia
prof. Graziano Leoni

Progettazione Architettonica:
prof. Luigi Coccia
prof. Marco D'Annunziis

Progettazione Strutturale:
prof. Andrea Dall'Asta
ing. Stefano Pasquini

Progettazione Impiantistica:
ing. Matteo Massaccesi

Monitoraggio e sensoristica
Prof. Alessandro Zona

Consulenza Geologica:
dott. Giuseppe Capponi

Consulenza Geotecnica:
ing. Michele Morici

Progettazione del verde:
arch. Sara Cipolletti
arch. Alessandro Gabbianelli

Collaboratori:
arch. Alessandro Caioni
dott. Jacopo Di Antonio
ing. Laura Gioiella
ing. Fabio Micozzi
arch. Fabio Scarpecci

ELABORATO:
D R 0 4 (0)

relazione sulle prove
speciali

15.12.2018

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 1 di 16

SOMMARIO	1
1 INTRODUZIONE	2
1.1 <i>Obiettivo generale delle prove</i>	2
2 PROVE SUI PALI DI FONDAZIONE	3
2.1 <i>Obiettivi e informazioni generali sulle prove</i>	3
2.2 <i>Definizione del sistema di monitoraggio e di acquisizione</i>	6
3 PROVE DI IDENTIFICAZIONE DINAMICA	8
3.1 <i>Obiettivi delle prove dinamiche</i>	8
3.2 <i>Strumentazione e tempi di prova</i>	8
4 PROVE DI SPINTA	9
4.1 <i>Organizzazione della prova</i>	9
4.2 <i>Dimensionamento di massima del sistema di spinta e del contrasto</i>	11
4.3 <i>Programma di prova</i>	14
5 CALCOLO SOMMARIO DELLA SPESA	15
5.1 <i>Premessa</i>	15

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 2 di 16

1 INTRODUZIONE

1.1 Obiettivo generale delle prove

La presente relazione descrive il progetto delle prove sperimentali necessarie alla caratterizzazione della risposta strutturale dell'edificio, al controllo dell'affidabilità delle previsioni di progetto e al controllo della corretta esecuzione. Le prove descritte non sostituiscono i controlli già previsti dalle norme vigenti e forniscono informazioni integrative.

In particolare, sono prove speciali finalizzate al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- verifica dell'integrità dei pali di fondazione e misurazione degli stati tensionali in alcune fasi significative del processo costruttivo (Prove sui pali di fondazione);
- caratterizzazione della risposta strutturale in condizioni di esercizio della sola struttura e del sistema costruttivo completo (Prove di identificazione dinamica);
- caratterizzazione della risposta dinamica in condizioni di elevate sollecitazioni sismiche (Prove di spinta).

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 3 di 16

2 PROVE SUI PALI DI FONDAZIONE

2.1 Obiettivi e informazioni generali sulle prove

Le prove sui pali permetteranno di valutare le tensioni lungo i pali a diversi livelli di sollecitazione e verranno effettuate con l'obiettivo di caratterizzare le reali modalità di trasferimento del carico agli strati di terreno. I risultati verranno poi confrontati con le ipotesi di progetto per valutare l'effettivo raggiungimento delle condizioni di sicurezza ipotizzate.

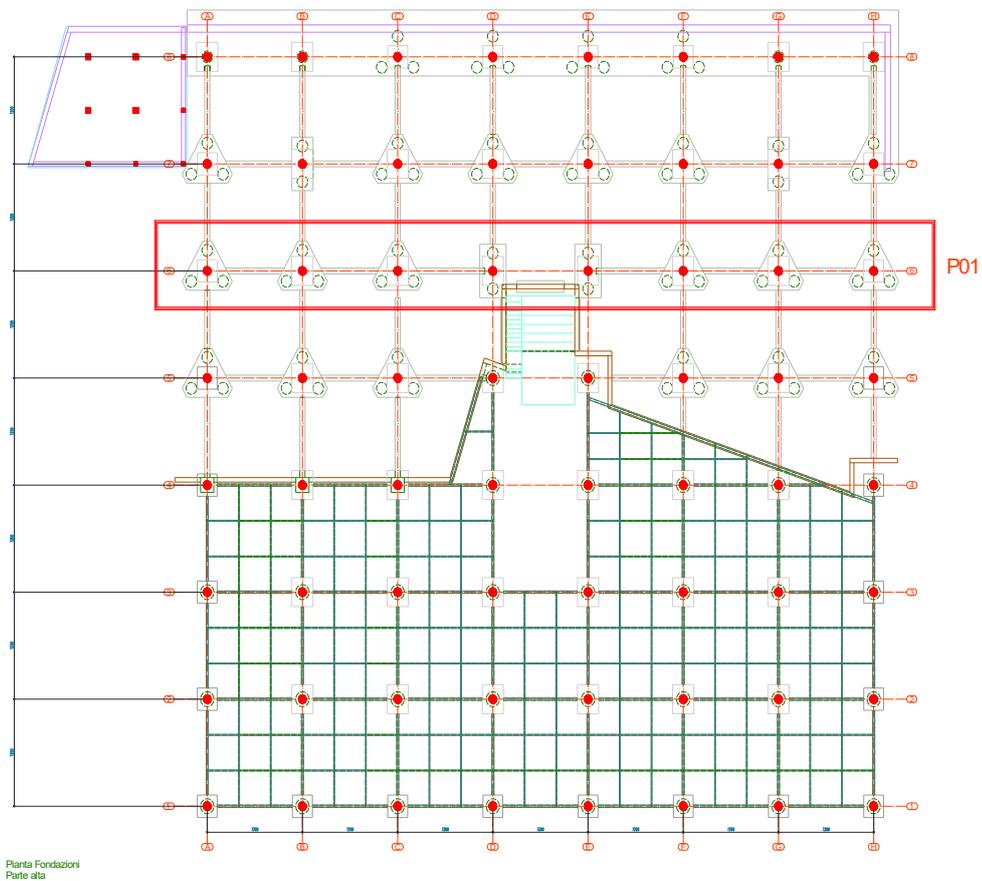
Il sistema di fondazione previsto nel progetto è di plinti su gruppi di pali trivellati di diametro 800mm gettati in opera di lunghezza tale da permettere il raggiungimento dello stato consistente caratterizzato da parametri di resistenza superiori ed in accordo con quanto previsto dal progetto strutturale.

Dato che il piano di fondazione si sviluppa su tre diverse quote di imposta, sarà previsto il monitoraggio di 3 pali, ciascuno dei quali appartenente ad un diverso piano di imposta e localizzato lungo gli allineamenti maggiormente caricati. Si provvederà dunque alla strumentazione di un palo su ognuna delle zone P01, P02 e P03, indicate nelle figure. La scelta di tali allineamenti, limita le possibili interferenze che potrebbero instaurarsi con le strutture di contenimento del terreno tra i diversi livelli del piano di fondazione.

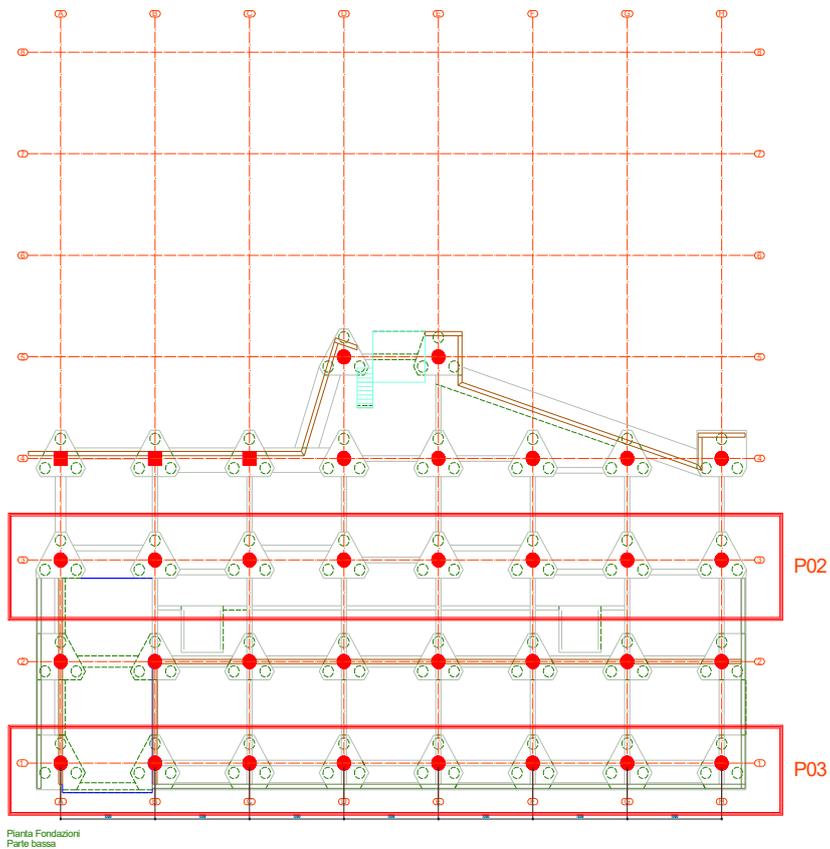
Le prove verranno effettuate a diversi livelli di carico, ripetendo le misurazioni durante 4 fasi costruttive:

- al termine della realizzazione del palo (condizione di carico nullo);
- al termine della realizzazione della fondazione e della struttura in c.a. al di sotto del piano di isolamento;
- al termine della realizzazione della sovrastruttura in acciaio;
- a struttura completata.

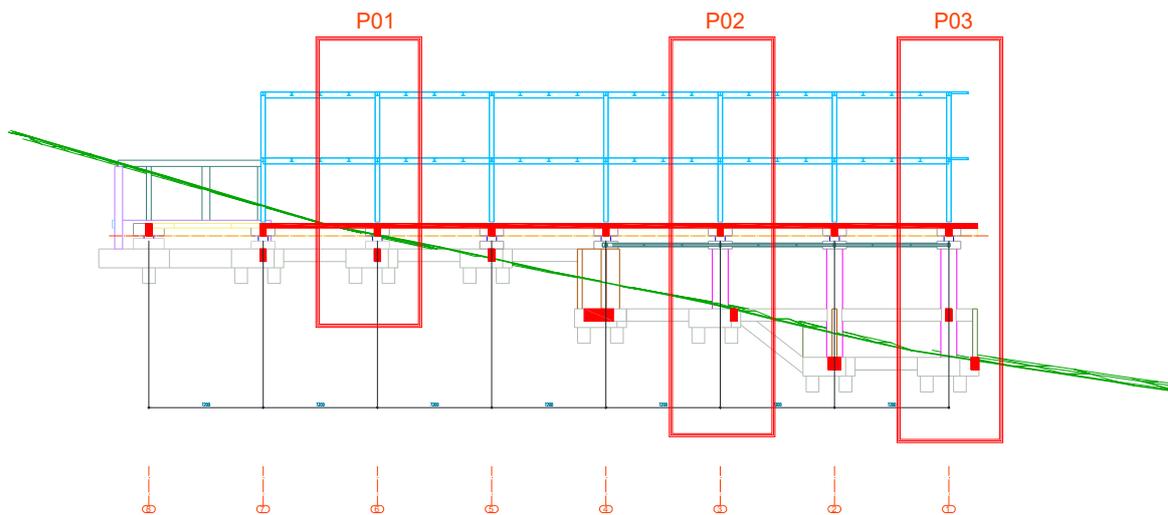
Le acquisizioni delle misure saranno effettuate prevedendo diversi istanti temporali nell'arco della giornata programmata per l'acquisizione, con lo scopo di eliminare possibili interferenze con variazioni di temperatura.



Planimetria possibile ubicazione pali di fondazione oggetto di strumentazione - Zona P01



Planimetria possibile ubicazione pali di fondazione oggetto di strumentazione - Zona P02-P03.



Sezione trasversale edificio.

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 6 di 16

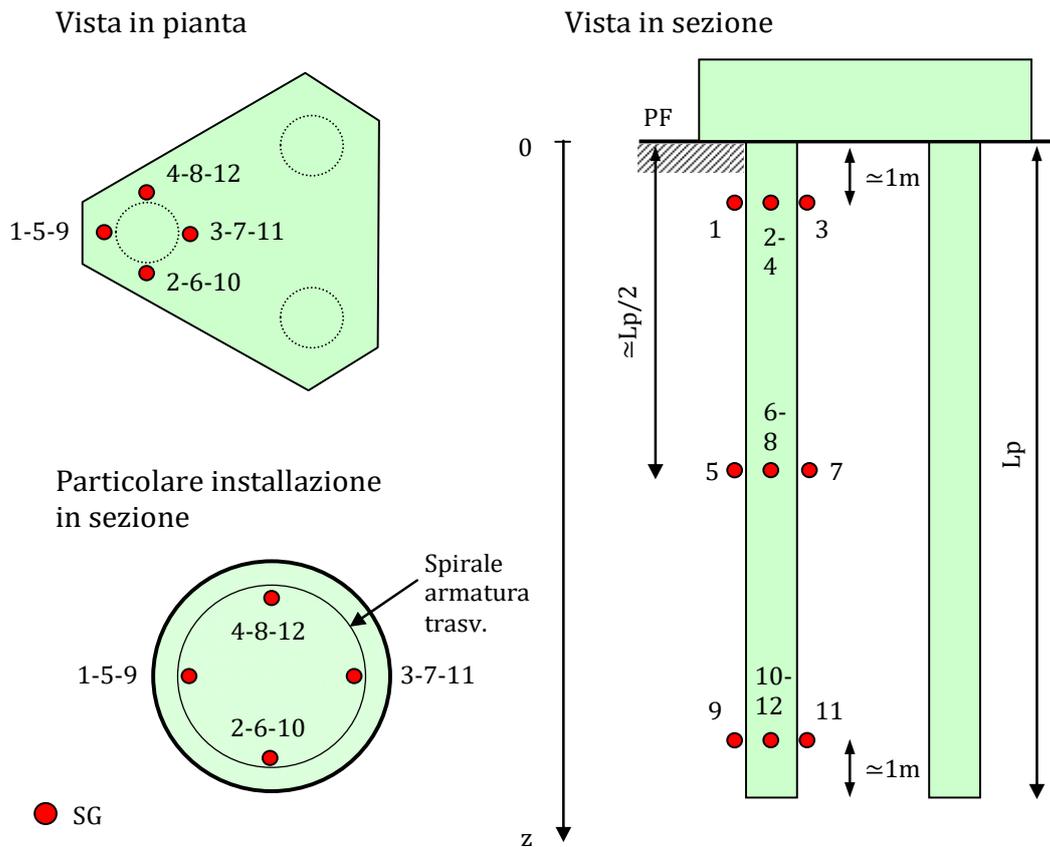
2.2 Definizione del sistema di monitoraggio e di acquisizione

Lo stato di tensione all'interno del palo verrà ricostruito mediante misure estensimetriche.

Per ogni palo strumentato si prevede l'installazione di 4 estensimetri su 3 diverse sezioni trasversali distribuite lungo il fusto del palo per un totale di 12 estensimetri per ogni palo. Tali sezioni saranno individuate rispettivamente in prossimità della punta della testa e della mezzeria del fusto stesso (vedi figura). Tale configurazione permetterà l'acquisizione del livello di carico trasferito al palo durante le diverse fasi di realizzazione dell'edificio e di valutare il progressivo trasferimento del carico dal palo al terreno lungo il suo sviluppo.

Per ogni sezione di misura, si prevede l'installazione di 4 estensimetri applicati a 4 spezzoni di barre di armatura installati in posizione diametralmente opposta, fissate con la gabbia di armatura prevista dal progetto ed annegati nel getto di calcestruzzo. Tale configurazione permette di ottenere misure corrette del reale livello deformativo all'interno della sezione stessa, risalendo in maniera indiretta allo stato di sollecitazione interno e permettendo di valutare, oltre alle sollecitazioni assiali, anche la presenza di possibili sollecitazioni flettenti.

Infine la postazione per l'installazione temporanea del sistema di acquisizione delle letture estensimetriche sarà posizionato al di fuori della zona delle lavorazioni di cantiere, in modo da non creare interferenze con il cantiere stesso e con le lavorazioni previste in organigramma.



Posizione estensimetri lungo il fusto dei pali ed in sezione.

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 8 di 16

3 PROVE DI IDENTIFICAZIONE DINAMICA

3.1 Obiettivi delle prove dinamiche

Le prove sono finalizzate ad un'identificazione in esercizio delle caratteristiche di risposta elastica della costruzione e rendono possibile la separazione tra risposta del solo sistema strutturale e la risposta del sistema costruttivo completo costituito dalla struttura e da tutti i componenti non-strutturali. Queste misurazioni rendono possibile la verifica dei modelli strutturali e delle conseguenti risposte alle azioni esterne e la valutazione del contributo in massa e rigidità degli altri elementi (tramezzi, massetti, pavimenti, ecc...) che alterano il comportamento dinamico. Le prove permetteranno quindi una previsione più realistica della risposta dell'edificio in condizioni di esercizio (azione del vento, terremoti di modesta intensità).

3.2 Strumentazione e tempi di prova

Per la costruzione è già previsto un sistema di monitoraggio con acquisizione di misure accelerometriche e di spostamento ai vari livelli. In particolare, il sistema di monitoraggio comprende un set temporaneo, da utilizzare per le misure in fase di costruzione, e un set fisso che rimarrà attivo sulla costruzione ultimata.

Si prevedono 2 misurazioni in fase costruttiva: la prima da realizzare a struttura ultimata e la seconda sulla struttura completa. La prima misurazione sarà effettuata utilizzando il sistema di monitoraggio temporaneo mentre la seconda utilizzerà il sistema fisso. Per i dettagli sul sistema di monitoraggio si rimanda alla relazione specifica.

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 9 di 16

4 PROVE DI SPINTA

4.1 Organizzazione della prova

La prova prevede la messa in carico del sistema di isolamento mediante spostamento della parte superiore dell'edificio e il successivo rilascio improvviso. La misurazione delle forze in fase di carico e la misurazione del moto conseguente al rilascio permettono la caratterizzazione dell'effettiva risposta dinamica della costruzione in condizioni simili a quelle che possono essere prodotte da un terremoto violento.

La prova è ripetibile e il set-up può essere utilizzato per verifiche periodiche della funzionalità del sistema di protezione sismica.

La prova potrà essere realizzata con il sistema di monitoraggio attivo. Permetterà in questo caso la verifica della sua funzionalità ad elevati livelli di energia e l'affidabilità del sistema di attivazione a soglia.

Il sistema di spinta è a controllo di forza e risulta più sicuro rispetto a sistemi alternativi a controllo di spostamenti. Sistemi analoghi sono stati utilizzati in esperienze precedenti di spinta di edifici isolati (Solarino, Augusta). Il sistema è alloggiato all'interno di una nicchia ricavata nella parete di monte e i sistemi di controllo (centralina martinetti, acquisizione dati) si trovano all'esterno. La prova può quindi essere effettuata in condizioni di elevata sicurezza.

Durante la prova verrà disposta una cella di carico tra sistema di spinta e edificio e verranno posizionati 6 trasduttori di spostamento sul piano di spinta. I dati raccolti da questa strumentazione saranno integrati da quelli provenienti dal sistema di monitoraggio fisso, che comprende misure accelerometriche e di spostamento in fondazione e a tutti i livelli superiori.

Nelle figure sono rappresentati il set-up generale e il sistema di spinta.

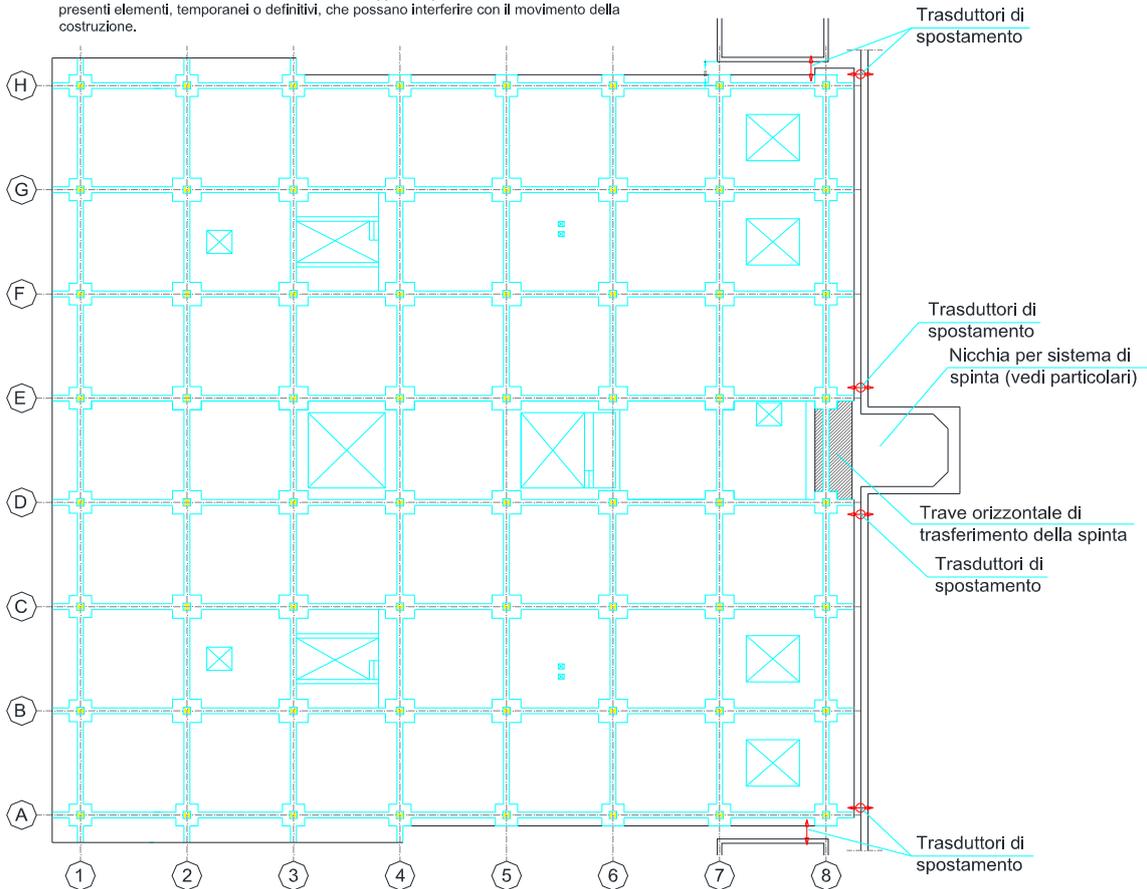
SCHEMA GENERALE DI PROVA
scala 1:250

-  Trasduttore di spostamento corsa +/- 350mm
-  Trasduttore di spostamento corsa +/- 50mm

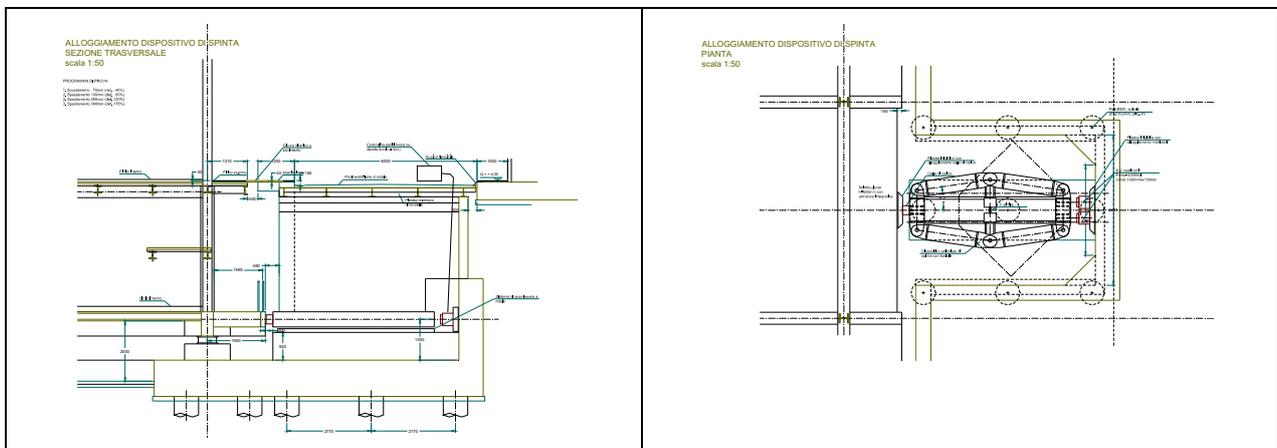
N.B.

Le informazioni raccolte dai sensori indicati andranno integrate con le misurazioni fornite dal sistema di monitoraggio che dovrà risultare attivo.

La prova dovrà essere effettuata prima del montaggio dei giunti e non dovranno essere presenti elementi, temporanei o definitivi, che possano interferire con il movimento della costruzione.



Posizione degli strumenti e del dispositivo di spinta



Particolari del sistema di spinta

4.2 Dimensionamento di massima del sistema di spinta e del contrasto

Azione di progetto

Il sistema è dimensionato per una forza di spinta di progetto di $FH=6300\text{kN}$, corrispondente ad uno spostamento del sistema di isolamento di 300mm e ad una deformazione a taglio della gomma ad alto smorzamento del 175%.

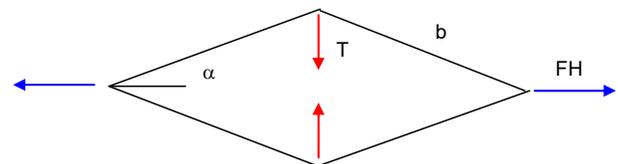
Gli elementi resistenti sono progettati assumendo un coefficiente di sicurezza delle azioni pari a 1.5 ($FHd=9450\text{kN}$) e utilizzando i criteri di verifica usuali per il dimensionamento. Per ogni prova verrà realizzata una serie di 3 fusibili identici, uno dei quali sottoposto a prova di trazione per controllare l'effettiva resistenza e forze più grandi del previsto. La forza trasmessa all'edificio sarà comunque monitorata durante la prova mediante cella di carico mentre la forza trasmessa al contrasto dai martinetti sarà controllata mediante misura della pressione.

Sollecitazioni sui componenti

Lo schema geometrico del sistema di spinta è riportato in figura, insieme alle dimensioni geometriche.

Sistema a controllo di forze (Solarino-Augusta)

lunghezza bracci	b	2400 mm
angolo iniziale	a	9.0 °
		0.157 rad
Ingombro lunghezza	x0	4741 mm
Ingombro larghezza	y0	751 mm



Geometria del sistema di spinta

Le sollecitazioni assiali N sugli elementi diagonali e le azioni T sul fusibile al crescere del carico sono riportate in tabella.

FH	N	T	s
kN	kN	kN	mm
1260.0	637.9	199.6	60
2520.0	1275.7	399.1	120
3780.0	1913.6	598.7	180
5040.0	2551.4	798.3	240
6300.0	3189.3	997.8	300

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 12 di 16

Fusibile

Il fusibile verrà realizzato mediante lavorazione meccanica di barre filettate ad alta resistenza (barre dywidag), asportando materiale nella parte centrale dove si innescherà la rottura. La parte filettata di estremità verrà utilizzata per il collegamento al sistema. Le dimensioni richieste per la forza massima sono le seguenti e il fusibile può essere ottenuto lavorando una barra di 65-70mm.

Fusibile

fu	800 N/mm ²
coeff. Sic.	1 -
A	12.5 cm ²
Φ	39.9 mm

Perno

La forza di taglio prevista sul perno è $F_{bd}=2835\text{kN}$ e il corrispondente taglio, considerando un numero minimo di 2 sezioni di taglio, è pari a 1417kN. Si prevede l'uso di un perno con diametro 130mm.

Traversa di spinta

La traversa di spinta è sottoposta a flessione e taglio. E' prevista la spinta con 2 martinetti, si procede comunque ad un dimensionamento più gravoso con un unico martinetto centrale per poter permettere questa soluzione alternative, se le condizioni operative la rendono preferibile.

Traversa di carico

L	1.3 m
f _{yd}	338
coeff. Sic.	1.5 -
V _d	4725 kN
A _{anima}	242 cm ²
M _d	3071 kNm
W	9084 cm ³

La traversa può essere realizzata mediante la composizione saldata di piatti da 30mm organizzati in modo da definire una sezione tubolare cava 500mmx500mm.

Braccio articolato

Il braccio articolato è sottoposto prevalentemente a sollecitazioni di compressione. La forza di progetto è $N_d=4784\text{kN}$. Adottando anche in questo caso una sezione tubolare quadrata,

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 13 di 16

l'instabilità può manifestarsi sul piano verticale. Nel caso di rigidità adeguata del collegamento a perno, si può assumere una lunghezza libera d'inflessione di circa 5000mm e adottare un profilo in composizione saldata 500mmx500mm con spessori 25mm.

Trave di ripartizione dei carichi sul solaio

La forza concentrata viene trasferita al solaio in c.a. mediante una trave orizzontale di ripartizione in c.a. che collega gli allineamenti centrali (allineamenti D-E), ottenuta nella parte a sbalzo. La trave ha spessore di 500mm e si può considerare un'altezza utile sul piano di flessione (piano orizzontale) di 1800mm. L'armatura a taglio è pari $2\phi 20/10\text{cm}$ e l'armatura a flessione, integrativa a quella prevista per i carichi verticali, è pari a $40\phi 26$ da disporre su più strati verticali. E' prevista un'armatura di frettaggio in corrispondenza del carico concentrato

Piastre di trasferimento del carico

Le piastre saranno irrigidite e provvedono al trasferimento delle forze concentrate dei martinetti e della cella di carico al contrasto posteriore e alla trave orizzontale. Sono dimensionate in modo da produrre tensioni di compressione limitate sul calcestruzzo. L'impronta lato edificio sarà 500mmx1600mm mentre quella lato monte sarà 800mm per 1600mm. Le dimensioni sono in parte condizionate dalla necessità di contenere gli alloggiamenti per i dispositivi.

Pali

Verranno disposti 9 pali, di diametro 800mm, alla base della zattera della nicchia. La fondazione su pali provvederà ad evitare cedimenti differenziali rispetto alle altre parti di fondazione.

La forza orizzontale di spinta viene trasmessa al sistema fondale dell'edificio. In ogni caso, il trasferimento della forza orizzontale determinerà una concentrazione di sollecitazione di taglio nei pali posti in corrispondenza della nicchia. A questi 9 pali viene affidato il 70% della forza di progetto ($0.7 \times 9450 = 6615\text{kN}$), e sono armati a taglio con una spirale f12, passo 150mm. La capacità resistente dei pali risulta maggiore della forza prevista per la prova, pari a 6300kN.

Pareti della nicchia

La parte posteriore della nicchia presenta spessori maggiori per un'altezza di 2.7m ed è

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 14 di 16

conformata in modo da trasferire le azioni di taglio alle pareti laterali. Nel dimensionamento si è considerato che le sollecitazioni, inizialmente concentrate sulla piastra del martinetto, si siano ripartite su un'altezza di 2.7m all'attacco delle pareti laterali, che presentano spessore di 500mm.

4.3 Programma di prova

La prova verrà realizzata una volta completata la struttura e gli elementi principali portati.

La prova dovrà essere effettuata prima della messa in opera dei giunti a pavimento. Si avrà cura di evitare che non esistano altri collegamenti tra le parti in movimento (opere provvisorie, impianti, ecc.) che possano interferire con il movimento della costruzione.

Sono previste 5 fasi di prova:

1. Spostamento impresso pari a 70mm (deformazione a taglio della gomma 40%)
2. Spostamento impresso pari a 135mm (deformazione a taglio della gomma 80%)
3. Spostamento impresso pari a 200mm (deformazione a taglio della gomma 120%)
4. Spostamento impresso pari a 300mm (deformazione a taglio della gomma 175%)
5. Valutazione degli spostamenti residui ed eventuale ricentraggio

Gli spostamenti di prova verranno raggiunti con applicazione graduale del carico. Dopo la prova verrà monitorato il ritorno di carattere viscoelastico per un tempo adeguato alle caratteristiche viscoelastiche della gomma, indicativamente 3 ore.

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 15 di 16

5 CALCOLO SOMMARIO DELLA SPESA

5.1 Premessa

Il calcolo sommario della spesa che segue considera i soli costi imputabili direttamente alla realizzazione della prova e sono esclusi i costi relativi alle predisposizioni già valutati nei lavori edili e i costi della strumentazione del sistema di monitoraggio, già valutati nella relazione specifica.

I costi di ammortamento degli strumenti (martinetti, centraline, sistemi di misura) sono da intendersi compresi nella prestazione di esecuzione delle misure, che verrà affidata ad un laboratorio qualificato.

D. R04	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sulle prove speciali</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 16 di 16

Prove sui pali di fondazione

<i>Descrizione</i>	<i>C.U.</i>	<i>Q</i>	<i>C.T.</i>
Materiale di consumo per ogni palo (barre armatura, estensimetri, cavi,...)	€ 300.00	3	€ 900.00
Predisposizione sensori e collegamenti per ogni palo	€ 400.00	3	€ 1,200.00
Esecuzione della prova (raccolta dati con centralina, memorizzazione)	€ 900.00	4	€ 3,600.00
Elaborazione dei risultati	€ 700.00	4	€ 2,800.00
TOTALE			€ 8,500.00

Prove di identificazione dinamica

<i>Descrizione</i>	<i>C.U.</i>	<i>Q</i>	<i>C.T.</i>
Esecuzione della prova (raccolta dati con centralina, memorizzazione)	€ 1,450.00	2	€ 2,900.00
Elaborazione dei risultati	€ 1,600.00	2	€ 3,200.00
TOTALE			€ 6,100.00

Prova di spinta

<i>Descrizione</i>	<i>C.U.</i>	<i>Q</i>	<i>C.T.</i>
Progetto esecutivo dei componenti	€ 3,000.00	1	€ 3,000.00
Esecuzione e posa in opera carpenteria metallica per il sistema di spinta, le piastre di collegamento, ecc. (prezzo a kg)	€ 2.50	8500	€ 21,250.00
Lavorazioni meccaniche per la realizzazione dei fusibili (3 fusibili per 4 livelli di carico), prove di resistenza, materiale di consumo.	€ 4,100.00	1	€ 4,100.00
Predisposizione, avvio e smantellamento del sistema di prova (posizionamento sensori, martinetti, celle di carico, centralina, verifica funzionalità)	€ 2,700.00	1	€ 2,700.00
Esecuzione delle prove (4 livelli di carico) e ricentraggio	€ 16,000.00	1	€ 16,000.00
Elaborazione dei risultati	€ 5,000.00	1	€ 5,000.00
TOTALE			€ 52,050.00

TOTALE PROVE SPECIALI

€ 66,650.00