Recupero di spazi tecnologici in sotterraneo, nell'ambito di Restauri di edifici esistenti. L'esempio dell'Ex Tribunale di Treviso

F. Biscaro

CEV S.p.a., Impresa di Costruzioni Generali, Treviso

S. Carraro, B. Bakijasi

SOGEN S.r.l., Progettazione Geotecnica e Strutturale, Padova

V. Zanatta

EDIZIONE Property S.p.a., Treviso

SOMMARIO: La presente memoria illustra l'intervento in sotterraneo realizzato nell'ambito dei lavori di Restauro e Miglioramento Sismico dell'Ex Tribunale di Treviso. L'importanza di creare spazi impiantistici adeguatamente dimensionati e relativamente poco impattanti, ha richiesto di creare un piano interrato all'interno di una struttura storica in muratura. Si sono così coniugate esigenze geotecniche di consolidamento delle fondazioni preesistenti e restauro statico della sovrastruttura, con recupero funzionale di spazi ipogei. Il tutto è stato pensato e realizzato sovrapponendo le fasi costruttive, in sotterraneo e fuori terra, al fine di rispettare cronoprogramma ed esigenze della Committenza. Lo studio approfondito sia delle caratteristiche geotecniche e stratigrafiche del sottosuolo sia meccaniche della muratura, ha permesso di progettare un intervento rapido ed economicamente sostenibile, in un contesto urbano angusto ed idraulicamente delicato.

1 INTRODUZIONE

I centri storici delle città sono caratterizzati dalla multiforme presenza di edifici, strade, sottoservizi e preesistenze ipogee le più svariate possibili, spesso interagenti con reperti archeologici anche molto eterogenei tra loro come forma, dimensione ed età.

Il recupero degli spazi urbani, coinvolgenti il sottosuolo, risulta pertanto un processo costruttivo che in alcuni casi assume i contorni di una vera e propria sfida.

Il recente progetto di recupero di un edificio storico nel centro storico di Treviso, nell'ambito più ampio di riqualifica di un complesso edilizio, ha rappresentato un importante e complesso esercizio di sintesi di possibili soluzioni costruttive, funzionali a rispondere alle stringenti richieste della Committenza, in termini di qualità, tempi e costi.

La società Edizione Property S.p.a., incaricata dalla Committenza per le attività di Alta Sorveglianza e Project Management ha incaricato la società di progettazione SOGEN S.r.l. di redigere il progetto esecutivo degli interventi strutturali previsti e la relativa direzione dei lavori.

Il progetto ha previsto la costruzione di un park interrato nello spazio esterno e la creazione di un interrato tecnico al di sotto dell'impronta dell'Ex Tribunale. Questo è stato interessato anche da un intervento di restauro conservativo con miglioramento sismico dell'edificio e consolidamento delle fondazioni esistenti.

Gli input della Committenza, espressi in termini di richiesta prestazionale con salvaguardia di tempi e costi, in particolare hanno riguardato la quasi completa eliminazione delle interferenze del cantiere con il centro città, cercando di contenere qualsivoglia lavorazione interferente con l'esterno del fabbricato.

L'Ex Tribunale è sito in Piazza Duomo a Treviso e lambisce una piazza adibita parzialmente a parcheggio, con transito limitato al centro storico, con intenso flusso ciclopedonale cittadino: alberi, panchine, sottoservizi e pavimentazione pubblica in pietra naturale, fanno da contorno ad uno spaccato di città che rappresenta un piccolo salotto nel centro storico.

Interventi di sottomurazione, consolidamento e scavo che avessero coinvolto i lati esterni del fabbricato, sicuramente avrebbero avuto un forte impatto del cantiere nei confronti delle preesistenze e del tessuto urbano, oltre a delineare una forte incertezza nella definizione del budget preciso di spesa, anche a fronte di indagini conoscitive estese.

I tre lati del fabbricato afferenti gli spazi pubblici sono solo stati interessati dalla presenza dei ponteggi di facciata per il restauro delle stesse. Si è deciso di operare nel sottosuolo solo ed unicamente all'interno della proprietà.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOTECNICO

Il sottosuolo del centro di Treviso è caratterizzato dalla presenza di importanti orizzonti ghiaiosi, presenti a qualche metro di profondità da p.c., sede di falda in movimento.

In sede di progettazione sono state condotte un numero adeguato di verticali di indagini geognostiche, con lo scopo soprattutto di limitare incertezze nella progettazione e definire in modo preciso il livello della falda presente nell'acquifero in questione.

Solo grazie a questo è stato possibile eliminare la presenza del tampone di fondo all'interno dell'Ex Tribunale, in quanto dello strato superficiale di terreno (cfr. Unità2) risultava soddisfatta la verifica a sollevamento del fondo scavo.

Le indagini geognostiche condotte in sito sono consistite in:

– n° 10 sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità variabile tra i 15 e i 30m da p.c., corredati dall'esecuzione di prove scissometriche (Pocket e Tor Vane), prove S.P.T e dal prelievo di n°7 campioni indisturbati per successive analisi di laboratorio;

– n°1 prove di permeabilità a carico variabile tipo Lefranc eseguite all'interno del sondaggio S1;

– n°1 rilievo geofisico con tecnica Downhole sul sondaggio S1.

Inoltre sono state eseguite prove di laboratorio sui campioni indisturbati con determinazione delle caratteristiche fisiche, granulometrie, limiti di Atterberg, prove Edometriche, TD e ELL.

Per quanto riguarda la falda, essa è stata rilevata su ciascun foro d'indagine nei sondaggi, con soggiacenza variabile tra -0.9 e -2.02m dal c.s, con variazioni freatimetriche valutabili approssimativamente nell'ordine di 0,5 – 1 m.

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata in Figura 1.

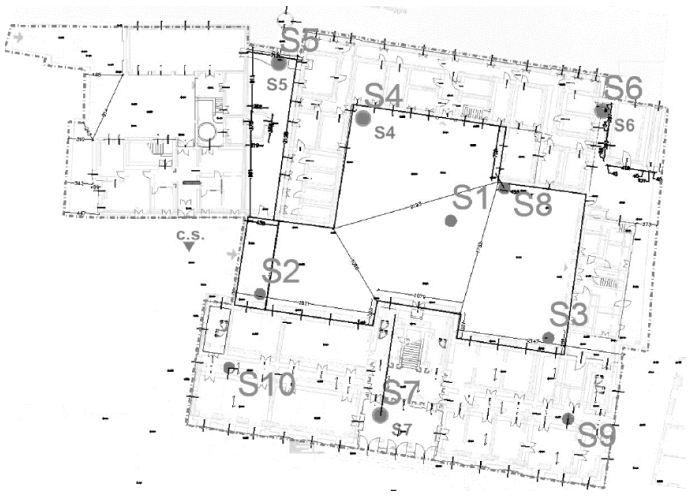


Figura 1. Ubicazione planimetrica indagini geognostiche.

La stratigrafia ottenuta è caratterizzata dalla presenza di cinque formazioni principali, di quota variabile, suddivise come in seguito riportate:

– Unità 1: Terreno di riporto costituito da ghiaia e frammenti di laterizi soprattutto nella parte superiore in matrice mista limo argillosa e sabbioso limosa;

– Unità 2: Limo da debolmente a moderatamente argilloso con intercalazioni di sabbia fini;

– Unità 3: Limi sabbiosi argillosi con rari livelli torbosi e sabbie fini sciolte con elementi ghiaiosi e lignei;

– Unità 4: Ghiaia medio grossa in matrice sabbioso limosa addensata;

– Unità 5: Limo sabbioso debolmente argilloso;

I valori caratteristici dei principali parametri geotecnici si riportano nella seguente tabella:

Tabella 1. Riassunto dei parametri geotecnici caratteristici

Unità	Drk	Φk	Ek	C'k	Cuk
	%	(°)	Mpa	kPa	kPa
1	26	24	18	-	-
2		29	6	8	54
3	27	25	19	-	-
4	73	27	44	-	-
5	-	30	6	9	59

Il livello di scavo (quota magrone) su corte interna si trova a -4.05m e interrato Ex-tribunale a -1.97 m.

3 DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE ESISTENTI

Il complesso di edifici, manufatti e spazi aperti, di cui l'ex Tribunale fa parte, è situato nel centro storico della città di Treviso e si affaccia su Piazza Duomo a sud-est, in corrispondenza del fronte principale dell'ex Tribunale; è accessibile dalla stessa Piazza Duomo e dalla laterale Via Riccati (a sud-ovest). A nord-ovest l'area è delimitata dal canale della Roggia.

L' Ex Tribunale o Palazzo di Giustizia, definito come Parte A nella Figura 2, sito in Piazza Duomo, è l'edificio oggetto del presente progetto, consistente in manutenzione straordinaria con miglioramento sismico e adeguamento funzionale dello stesso.

Esso presenta strutture verticali in muratura portante in mattoni pieni a più teste, che continuano a tutti i piani dell'edificio (le murature interne di spina si interrompono al piano sottostante la copertura, con struttura lignea), che consistono:

– nei muri perimetrali;

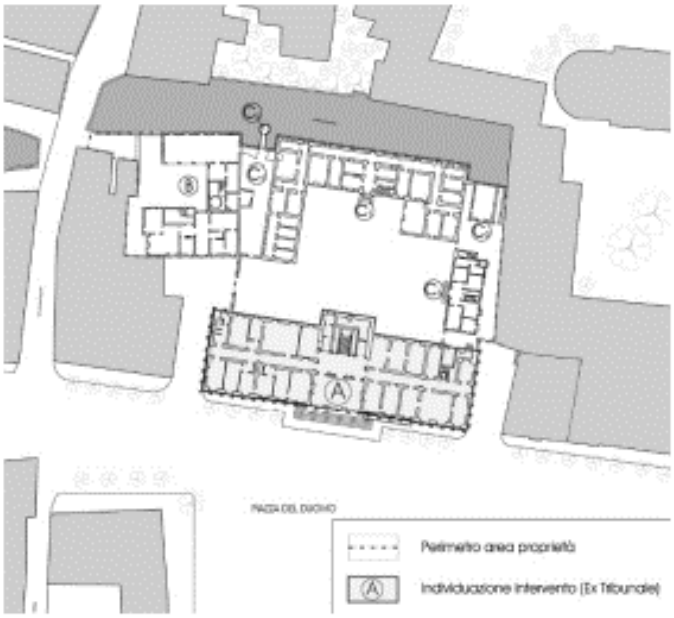


Figura 2. Planimetria generale Compendio Ex-Tribunale.

– nei muri di spina trasversali d'impianto che distinguono i due avancorpi laterali simmetrici, individuati nella facciata principale in quanto lievemente sporgenti e ivi contraddistinti da aperture articolate in tre fornici;

– nei muri di spina trasversali d'impianto che distinguono il corpo dello scalone centrale, sporgente rispetto al piano della facciata retrostante. Un muro di spina longitudinale d'impianto divide il corpo vero e proprio dello scalone dal portico di ingresso antistante, proseguendo anche ai piani superiori;

– nei doppi muri di spina longitudinali d'impianto corrispondenti ai due corridoi centrali che attraversano le due ali laterali simmetriche, a partire dal corpo dello scalone centrale (il muro di spina longitudinale di quest'ultimo trova continuità nei muri dei corridoi, sul lato delle stanze disposte lungo la facciata principale).

Le due ali laterali, attraversate dai rispettivi corridoi centrali, risultano costituite ciascuna da un corpo di fabbrica intermedio, contraddistinto da aperture nella facciata principale articolate in tre fornici, nonché dal corpo di fabbrica di testa cui si è già accennato, che si presenta in facciata principale come avancorpo lievemente sporgente.

Tutte le murature portanti sopra descritte presentano fondazioni in muratura impostata ad una certa profondità dal p.c. I saggi effettuati, spinti sino alla base delle murature, al fine di metterne in luce le strutture di fondazione originarie, hanno mostrato la seguente configurazione: sull'intero perimetro e sui muri trasversali che delimitano il vano scale centrale, vi è la presenza di strutture di fondazione impostate su un terreno consolidato con pali in legno.

Il paramento murario si allarga all'interno del terreno con sezione a trapezio isoscele sino ad assumere spessore massimo alla base. Il piano di posa di tali fondazioni si trova a circa -3 m dal piano finito pedonale interno. I restanti muri strutturali sono caratterizzati da un allargamento secondo una sezione strutturale a trapezio isoscele, in analogia ai muri perimetrali. Il piano di posa di questi muri si trova ad una profondità di circa -1.8 m rispetto al piano finito pedonale interno. Queste fondazioni sono prive di pali in legno. Le strutture dello scalone centrale sono caratterizzate da rampe sostenute da archi rampanti e da volte, a crociera in corrispondenza dei pianerottoli; questi ultimi presentano travi in cemento armato sui lati perimetrali interni, realizzate in occasione di un intervento degli anni Cinquanta del secolo scorso. La campagna di indagini svolta ha consentito di individuare la presenza delle strutture orizzontali originarie dell'edificio, solo in parte conservate, consistenti in volte a botte e a padiglione in mattoni (attualmente parzialmente esistenti e con tutta evidenza originariamente presenti solo in corrispondenza del primo solaio fuori terra) e solai costituiti da travi in legno e tavolato (tipologia di orizzontamento presente in tutti i piani fuori terra), spesso consolidati con travi in acciaio, presumibilmente con interventi degli anni Cinquanta del secolo scorso, e comunque per la maggior parte sostituiti con solai lignei di realizzazione novecentesca, probabilmente tra le due Guerre. La copertura a padiglione dell'edificio è costituita da capriate in legno, tavolato ligneo su orditura secondaria e manto di copertura in coppi. Un'articolazione (a padiglione) della copertura a padiglione principale si sviluppa in direzione ortogonale al lato lungo della fabbrica, a copertura del vano scala. Sul perimetro della copertura è stata rilevata la presenza di un cordolo di coronamento in c.a., probabilmente realizzato in occasione di un intervento degli anni Cinquanta del secolo scorso.

4 INTERVENTO E SUE FASI REALIZZATIVE

L'intervento strutturale nel corpo di fabbrica di Ex-tribunale si è attenuto alla creazione di uno spazio interrato, con strutture in c.a., quali platea, muri e solaio superiore ricavato all'interno del corpo di fabbrica, e sottostante le strutture murarie portanti dell'edificio esistente. La fase B del progetto del complesso Ex-Tribunale, ha previsto la realizzazione di un parcheggio interrato, su corte interna, mediante platea, muri perimetrali, pilastri interni e solaio superiore in c.a. L'autorimessa presenta un solo livello ipogeo con limiti laterali imposti dagli edifici adiacenti, quali Ex-Tribunale, Ex-Carceri (l'autorimessa comprende l'ala Ovest dell'edificio Ex- Carceri) e l'edificio C3. Il sistema delle nuove fondazioni dell'Ex Tribunale è costituito da una platea in c.a. spessore 50 cm posta con quota estradosso a -1.37 m (lo "0" di riferimento a pavimento del P.T. ha una quota estradosso pari a +1.93 m. p.g). Le murature perimetrali ai lati Est, Ovest e Sud rimangono sostenute dalle fondazioni

originali, le quali risultano integrate dal sistema di micropali inclinati e verticali e tramite essi collegati al nuovo sistema fondazionale. Le fondazioni della muratura perimetrale lato Nord e zona scale risultano fondate su platea in c.a. di spessore 60cm a quota -3.35 m in continuità strutturale con il parcheggio interrato.

Paramenti delle murature in c.a. perimetrali lato nord risultano in condivisione con le strutture del parcheggio esterno interrato, per cui le opere interrate dell'Ex Tribunale e del parcheggio risultano un unico continuo strutturale. Le opere provvisionali (i micropali) per il sostegno delle Ex Carceri e dell'edificio Ex-Tribunale rimanendo annegati nella platea svolgono una funzione di riduttori di cedimenti.

La strategia dell'intervento di prima fase prevedeva di trasferire i carichi al terreno sotto lo scavo tramite fondazioni profonde costituite da micropali, ad elevata capacità portante.

La struttura provvisoria in carpenteria metallica di sostegno dei setti centrali in muratura, è stata completamente sostituita in sede costruttiva.

Accogliendo la proposta tecnica di CEV Spa, impresa aggiudicatrice dell'appalto dei lavori, ampie porzioni orizzontali di soletta definitiva di copertura dell'interrato (livello P.T.) sono state utilizzate in sede provvisionale per il sostegno delle murature ed il trasferimento dei carichi ai micropali.

In particolare, la sequenza realizzativa è sintetizzata nelle fasi di seguito descritte.

4.1 *Sostegno setti interni dell'edificio*

– Scavo archeologico sino a quota +0.90 m;
– realizzazione della berlinese tipologica e dei micropali autoperforanti di sostegno della sovrastruttura. La tipologia più diffusa è quella di diametro reso 220mm con armatura tubolare di diametro 139.7mm, spessore 10 mm, sull'impronta interna dell'edificio;
– scavo archeologico di seconda fase sino a quota piano fondazionale esistente;
– realizzazione dei scassi sulla muratura per inserimento montanti metallici (altresì definiti in modo improprio "martinetti"), come in Figura 3, e messa in carico mediante Emaco. Realizzazione solette di prima fase in c.a di spessore 35 cm inglobando i martinetti di sostegno muratura. L'appoggio delle solette di prima fase è avvenuto su capitelli saldati sui micropali, e sulla struttura esistente mediante delle tasche praticate sui setti perimetrali dell'edificio (Figg. 5-6);
– all'avanzare dello scavo sino alla quota di progetto, si è realizzato il sistema di controventamento dei micropali;
– demolizione delle fondazioni esistenti.

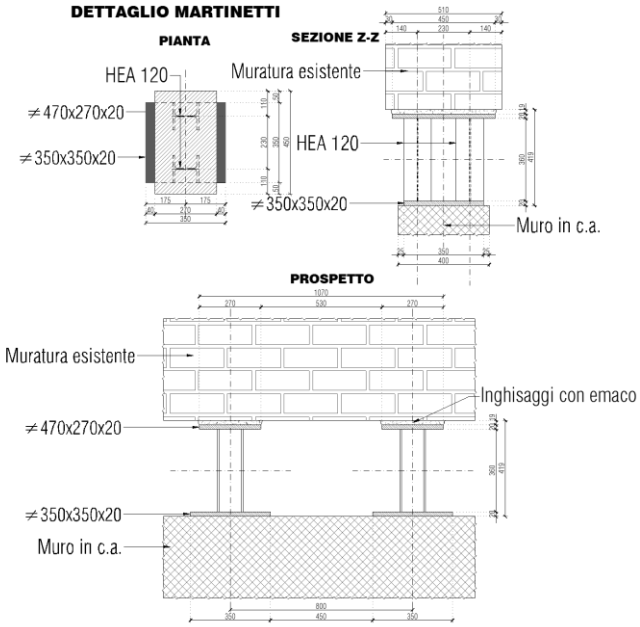


Figura 3. Particolare sostegno con "martinetti" passivi per getto soletta di sostegno

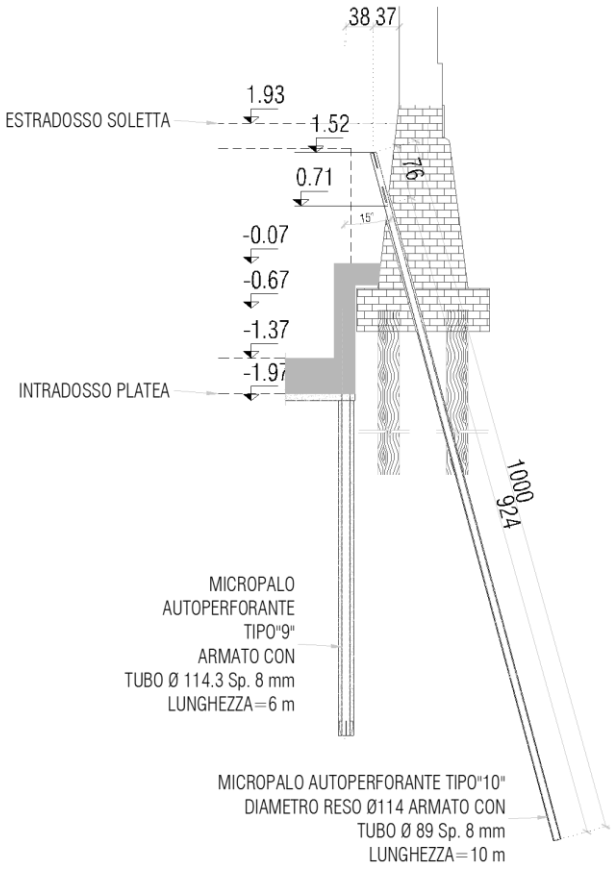


Figura 4. Particolare sostegno muro perimetrale esterno, lati Sud, Est e Ovest.

4.2 *Sostegno setti esistenti perimetrali sud-est-ovest*

I tre lati verso l'esterno su suolo pubblico (Piazza Duomo e lati Minori Perimetrali) non sono stati interessati dalla demolizione delle fondazioni in muratura, ma dal loro consolidamento con micropali (inclinati), che nella fase di scavo hanno costituito ausilio portante alla fondazione stessa. Un palo verticale al piede della fondazione esistete ed internamente al fabbricato, ha assicurato il successivo scavo al di sotto del piano fondazionale esistente.

La successione lavorativa indicativamente era la seguente:
– scavo archeologico sino alla quota + 0.90 m;
– realizzazione micropali autoperforanti inclinati dall'interno vs l'esterno, di diametro reso 114mm, armati con tubolari lunghi 10 m, di diametro 89 mm, sp. 6 mm. Contemporaneamente si sono eseguiti i micropali verticali autoperforanti, lunghi 6 m con diametro reso 220 mm, armati con tubolari di diametro 114.3 mm, sp. 8 mm (Fig. 4);
– varie fasi di scavo sino alla quota magrone.

4.3 *Sostegno muro perimetrale nord e setti scala centrale*

Il muro di confine tra l'edificio e lo spazio esterno di proprietà (lato corte interna), è stato sostenuto mediante i micropali verticali (esterni e interni all'edificio), sulle quali appoggiavano i profili in acciaio IPE 270 longitudinali e HEB220 trasversali di sostegno alla muratura sovrastante. In seguito vengono indicati le fasi del sostegno:
– scavo archeologico sino a quota +0.90m;
– realizzazione micropali esterni con profili HEB180, con perforazione a rivestimento e i micropali interni autoperforanti di diametro reso 220 mm, armati con tubolari di lunghezza e diametro variabile;
– scavo archeologico sino a quota -0.30 m;
– esecuzione dei fori su muratura esistente mediante carotaggio per il passaggio dei profili HEB220;
– posa profili longitudinali IPE 270, saldati sui capitelli dei micropali;
– posa profili HEB220 sulle IPE 270, mediante saldatura;
– scavo sino a quota -1.97 m;
– Taglio fondazione esistente in conci per facilitare la rimozione;
– Controventamento micropali;
– Scavo sino a quota magrone.

Prima dello scavo, nelle zone "a cavallo" del muro di confine con l'autorimessa interrata e nella zona scale, è stato eseguito un tampone di fondo per garantire la sicurezza nei confronti del sollevamento del fondo scavo, come da progetto. Tale tampone è stato eseguito con tecnica jet grouting e in alcune zone con iniezioni a bassa pressione.

4.4 *Opere provvisionali di sostegno scavo su corte interna.*

A seguire la descrizione delle fasi di lavoro:
– scavo archeologico sino a quota +0.20 m;
– esecuzione micropali armati con profili tubolari della berlinese perimetrale allo scavo, interasse 45 cm, adiacente agli edifici C3, Ex-Carceri;
– realizzazione l'impermeabilizzazione laterale dell'opera di sostegno alternando ai micropali armati della berlinese, colonne in jet grouting a risalire, allo scopo di solidarizzare tra loro i pali realizzati e garantire il confinamento idraulico laterale dello scavo nei confronti delle preesistenze esterne;
– realizzazione micropali di sostengo delle strutture di elevazione in muratura, edificio Ex-Carceri, ala Ovest;
– realizzazione tampone di fondo in jet-grouting bifluido su tutta l'area dello scavo da -7.50 m a -9.00 m. All'interno dell'ala Ovest dell'edificio Ex-Carceri è stata adottata la tecnica monofluido;
– evoluzione scavo archeologico;
– realizzazione del cordolo perimetrale in c.a. di solidarizzazione delle teste dei micropali (cordolo di ripartizione superiore), e successivamente la posa in opera di puntoni metallici di contrasto delle spinte delle terre, in corrispondenza del cordolo superiore della berlinese, con profili tubolari metallici (Fig.15);
– posa carpenteria metallica di sostegno strutture ala Ovest dell'edificio Ex-Carceri, composta da travi HEA 450, e IPE 270 (Fig.16);
– scavo sino alla quota del magrone come da progetto.

Essendo lo scavo di tipo archeologico, è stato neccessario rivedere e ottimizzare la logistica di cantiere, le tempistiche e la realizzazione delle opere di carattere provvisionale, in funzione dell'evoluzione dello scavo. La realizzazione delle opere provvisionali, non solo all'interno dell'edficio Ex-Tribunale, ma anche fuori, è avvenuta in contemporaneo con lo scavo archeologico.

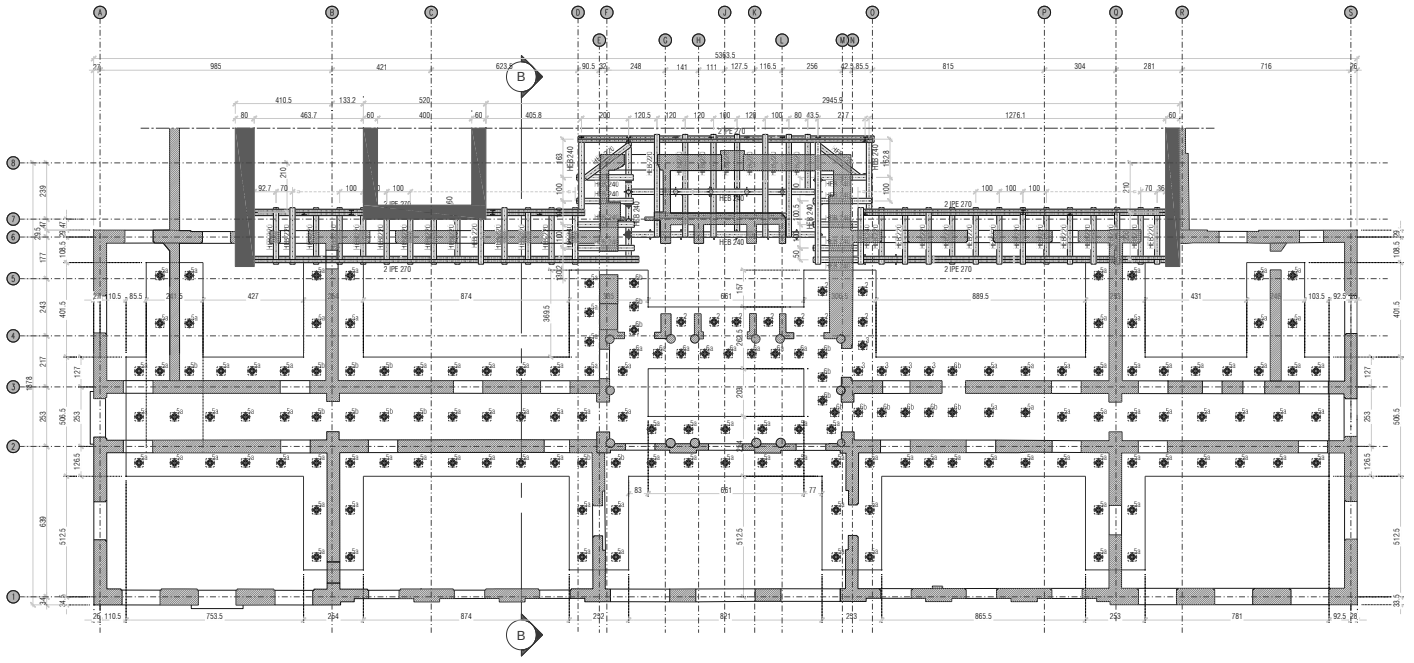


Figura 5. Planimetria micropali interni di sostegno struttura su solette in c.a di prima fase, e micropali interni di sostegno muro perimetrale vs cortile interno, lato Nord, su carpenteria metallica.

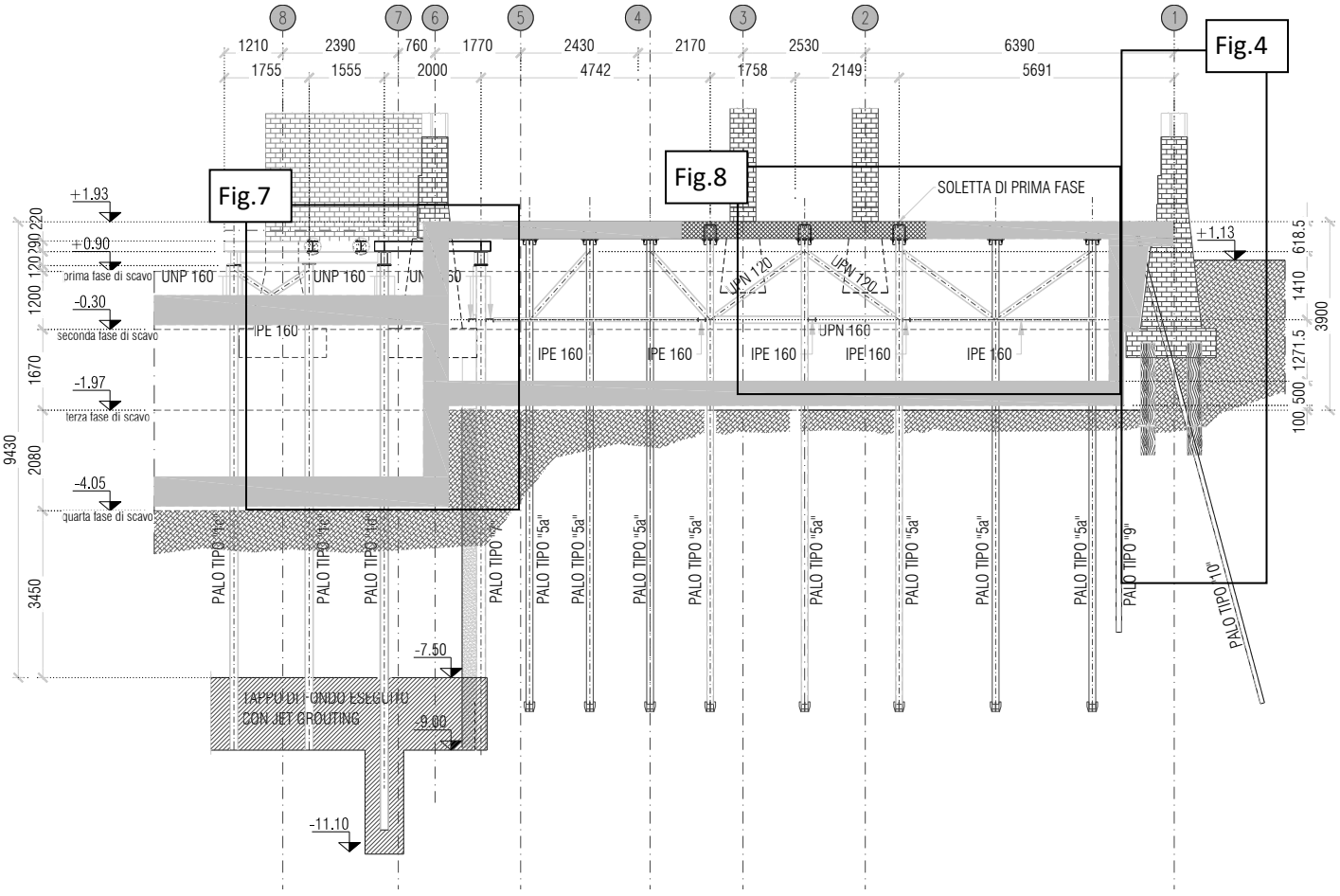


Figura 6 – Sezione trasversale B-B. A dx lato Piazza Duomo sostegno murature, a six lato corte interna sostegno con carpenteria metallica. Al centro sostegno su solette in c.a. di prima fase

4.5 *Realizzazione opere definitive*

A scavo ultimato, all'interno dell'Ex-tribunale si è proceduto con la realizzazione dell'interrato. Il getto delle strutture in c.a, è avvenuto per conci. In corrispondenza di ogni getto, si è proceduto con la realizzazione dei giunti di water stop per le riprese di getto. Prima di realizzare la platea e i setti perimetrali, lato piazza Duomo e laterali, è stata eseguita l'impermeabilizzazione del fondo e dei lati dello scavo. Dopo si è preceduto con il getto della platea di fondazione, dei setti verticali perimetrali e interni, e successivamente delle parti di completamento della soletta di prima fase a P.T. Analogamente, si è proceduto con la costruzione degli elementi strutturali dell'autorimessa, quali platea di fondazione, elementi verticali e solaio di copertura. Al completamento del getto delle platee elementi verticali e solette, dell'interrato e autorimessa è stata eliminata la porzione superiore dei micropali tra soletta al P.T. e la platea di fondazione a livello -1 (di fondazione), lasciando il tratto rimanente nel terreno con la funzione di riduzione del cedimento.

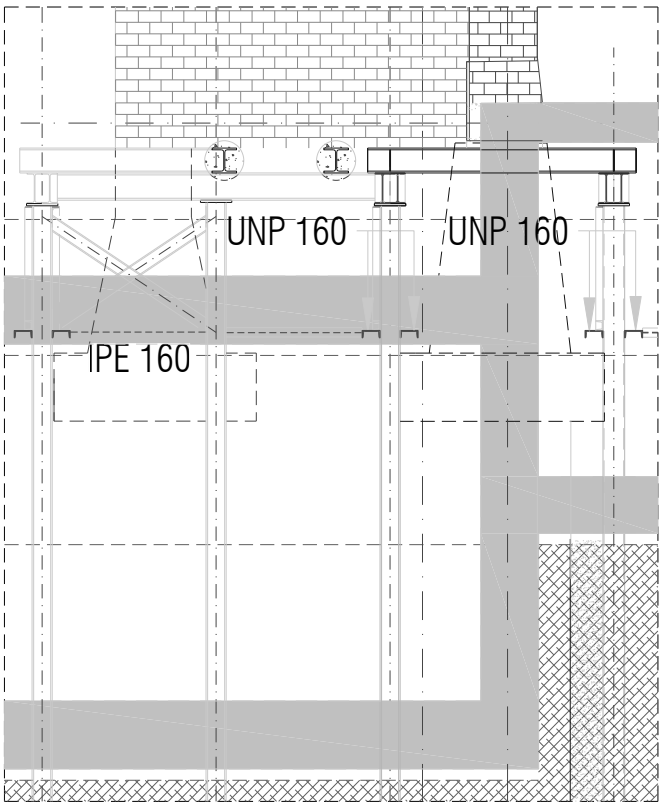


Figure 7. Particolare micropali-carpenteria metallica di sostegno muratura superiore lato cortile interno.

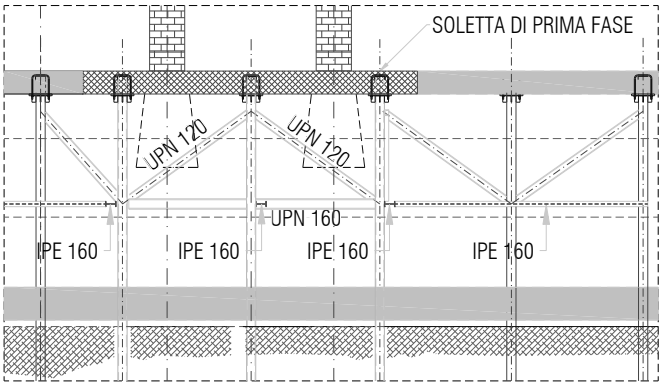


Figure 8. Particolare controvento micropali di sostegno soletta in c.a di prima fase.

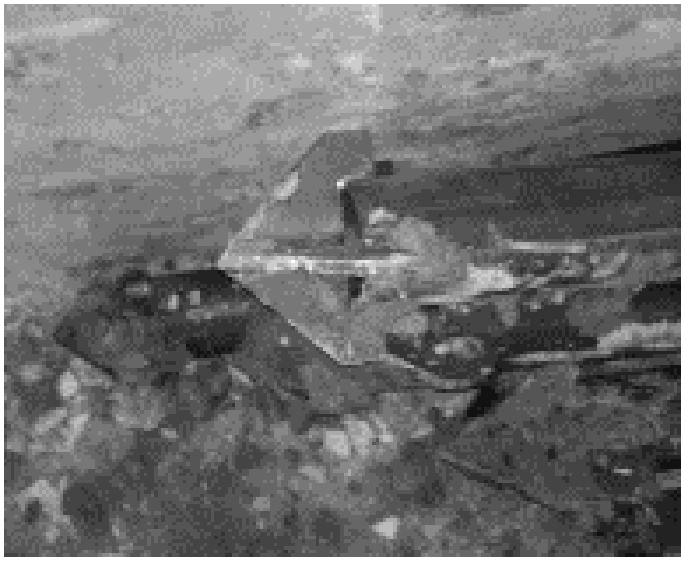


Figure 9. Puntazza micropali autoperforanti.



Figure 10. Micropali interni e soletta in c.a., carpenteria metallica lato Nord (vs cortile interno).



Figure 11. Micropali interni, lato Sud-Ovest Ex-Tribunale.

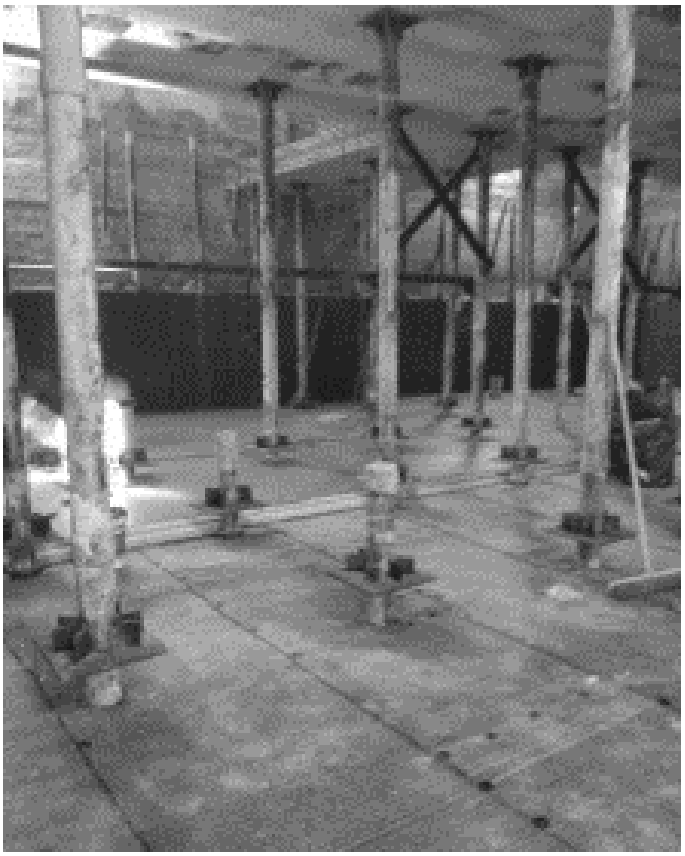


Figure 12. Micropali di sostegno setti interni e soletta in c.a di prima fase.

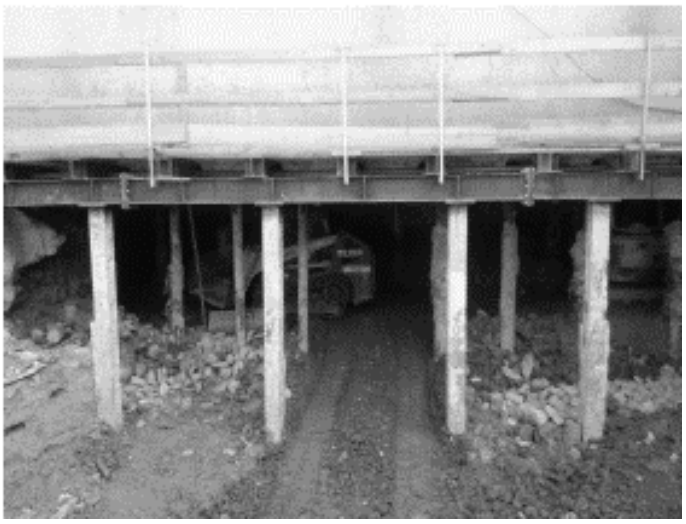


Figure 13. Avanzamento scavo meccanico da esterno, sotto fabbricato Ex-Tribunale.

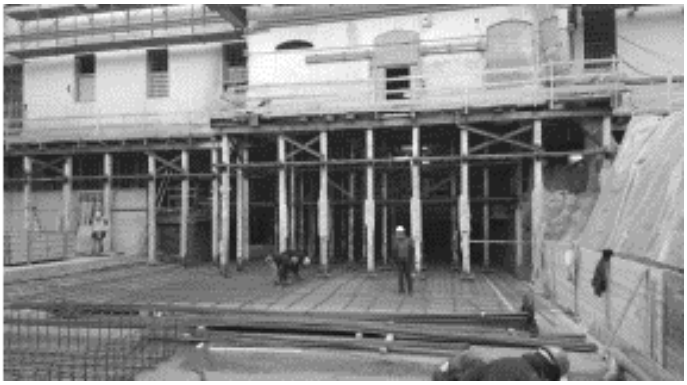


Figure 14. Vista dal cortile interno scavato, vs fabbricato Ex-Tribunale.



Figure 15. Scavo archeologico su corte interna, di fronte all'edificio Ex-Carceri, cordolo in c.a. e puntoni metallici



Figure 16. Scavo archeologico su corte interna, ala ovest Ex-Carceri, sistema di sostegno delle strutture sovrastanti

5 CALCOLO, PROVE DI CARICO E MONITORAGGIO

5.1 *Analisi calcolo*

La valutazione delle azioni sui singoli micropali in fase provvisionale si è basata su un modello di calcolo FEM strutturale agli elementi finiti (fondazione provvisoria sostegno dell'Ex Tribunale) in cui è stata schematizzata la soletta di prima fase con elementi bidimensionali a 3 e 4 nodi con comportamento flessionale, dello spessore pari a 35 cm, e classe di resistenza del calcestruzzo C28/35, i singoli micropali, e la carpenteria metallica di sostegno, di sezioni variabili, in acciaio del tipo S355. I micropali sono stati schematizzati nella loro posizione effettiva, con elementi tipo trave a 2 nodi e 6 gradi di libertà associati ad ogni nodo. Per le condizioni di vincolo al contorno si è considerato: una rigidezza verticale concentrata alla base del micropalo pari Kv = 150 kN/mm, una rigidezza laterale della parte immersa del micropalo secondo una schematizzazione alla Winkler con modulo costante e stimato con la seguente formulazione kw =E/b essendo E il modulo di elasticità del terreno (assunto in coerenza con la relazione geotecnica prodotta in sede di progetto definitivo pari a 6 MPa per gli stati limosi e 45 MPa per gli strati ghiaiosi) e b la larghezza del micropalo il che corrisponde per i micropali ø220 a coefficienti di sottofondo orizzontale kw = 27272 kN/m^3 = 2,77 daN/cm^3 per il primo tratto nello stato limoso. Si è ritenuto opportuno assumere un valore inferiore del coefficiente di sottofondo pari a kw = 10000 kN/m^3= 1 daN/cm^3. La sovrastruttura è stata calcolata con modello FEM indipendente, vincolato alla base (piano campagna) con cerniere distribuite per ogni singolo metro di sviluppo della muratura. Le azioni (forze) da applicare ai micropali sottostanti e alla struttura di sostegno provvisionale, sono i risultanti dall'analisi della sovrastruttura. E' stato anche eseguito un confronto con un predimensionamento mediante un'analisi dei carichi semplificata per unità di lunghezza sulle murature. Dal confronto dei valori dedotti dall'analisi dei carichi semplificata con quelli effettivamente introdotti nel modello FEM, si rileva una sostanziale corrispondenza nei valori medi di questi ultimi. I valori delle reazioni alla base delle murature sono stati applicati direttamente alla soletta come carico distribuito, con un andamento che rispecchiasse, per quanto possibile, lo stato tensionale descritto dal primo modello. Le azioni permanenti (SLE) individuate sono risultate variabili in un range tra 180 kN/m e 360 kN/m. Si è implementato inoltre un altro modello di calcolo FEM strutturale complessivo dell'interrato e dell'autorimessa (fondazioni definitive) in cui si sono inserite le opportune rigidezze nodali in corrispondenza della effettiva posizione dei pali provvisionali e berlinesi, sia all'interno, che all'esterno dell'edificio Ex Tribunale, nonché dei pali provvisionali per il sostegno delle Ex Carceri e del plinto gru.

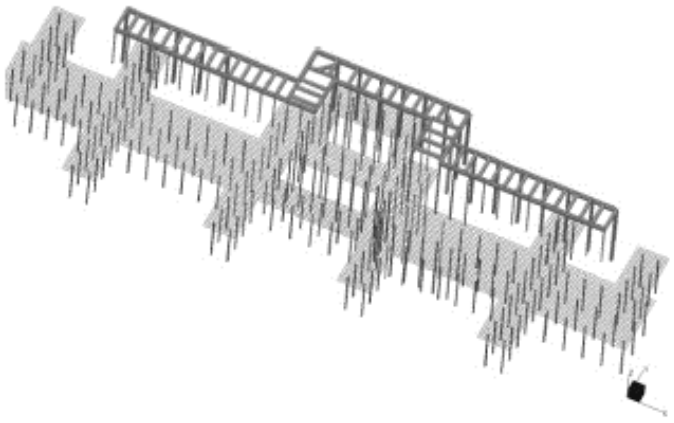


Figure 17. Vista modello FEM della soletta di prima fase e dei micropali provvisionali Ex Tribunale (sottostruttura Ex Tribunale provvisoria).

Le platee, le solette e gli elementi verticali sono stati modellati con elementi bidimensionali a 3 e 4 nodi con comportamento flessionale, dello spessore pari a quello di progetto, con calcestruzzo avente classe di resistenza C28/35. Dal punto di vista della

modellazione numerica i micropali sono stati schematizzati con elementi molla con rigidezza solo in direzione verticale collocati nella loro effettiva posizione.

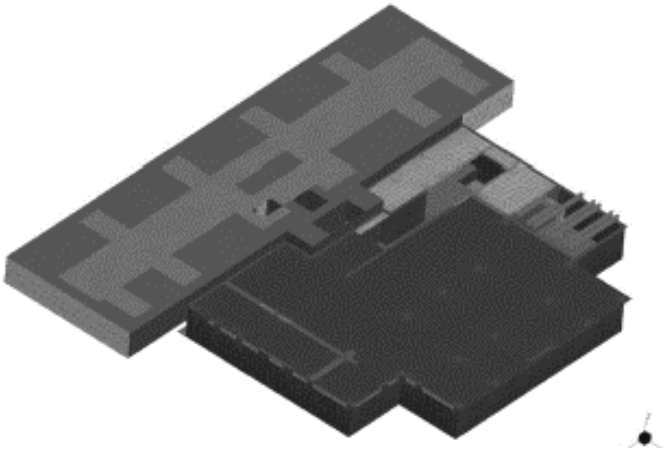


Figure 18. Modello globale FEM interrato Ex Tribunale+autorimessa (sottostruttura definitiva).

Il parametro di rigidezza per lo schema alla Winkler del terreno di fondazione e stato assunto pari a: kw = 20.000kN/m^3=2.0 daN/cm^3. La rigidezza verticale dei micropali provvisionali annegati in platea e stata assunta pari a kv = 150 kN/mm. La sottospinta dell'acqua e stata inserita come pressione uniforme all'intradosso della platea del parcheggio interrato ed introdotta con valore caratteristico pari a 27.5 kN/m^2. L'effetto della sottospinta idraulica e stato analizzato con una analisi di tipo non lineare per analizzare l'influenza di eventuali zona di distacco tra platea e terreno. L'azione della spinta della berlinese perimetrale sui muri controterra all'atto della rimozione dei puntoni e stata schematizzata con la equivalente forza lineare distribuita a livello del cordolo. Tale azione risulta variabile tra 160 kN/m e 170 kN/m. Dal punto della risposta sismica si possono distinguere una parte con comportamento strutturale dissipativo (Edificio Ex Tribunale al di sopra della soletta del piano terra) ed una parte di elevata rigidezza con comportamento non dissipativo (sistema fondazionale costituito dall'interrato dell'Ex Tribunale ed Autorimessa). La scatola interrata quindi viene calcolata come elemento senza capacita dissipative, controllando la sola capacita di resistenza nei confronti dei vari stati limite; in particolare le murature sono considerate come pareti estese debolmente armate. La modellazione generale in cui si sono inserite le rigidezze verticali puntuali dei pali provvisionali annegati in platea, consente di meglio cogliere l'effetto di interazione complessivo. L'azione massima agente sui micropali provvisionali annegati nella platea vale NEd = 334 kN allo SLU, valore inferiore a quello di progetto previsto durante il funzionamento in fase provvisionale. La sovrastima dell'azione assiale sul micropalo di sostegno del muro di confine tra Ex Tribunale ed interrato esterno, con il modello semplificato, rispetto al modello completo, è risultata quasi doppia (390×1,5=585 kN e 406x1,5=609 kN per alcuni pali ϕ270mm, rispetto al valore di 334 kN), in quanto ora è stata considerata anche la presenza della platea. La verifica di punzonamento del capitello di ancoraggio del micropalo su platea è stata invece condotta con il valore più cautelativo.

5.2 *Prove di carico di progetto su micropali*

Il micropalo di portata maggiormente diffuso, è di tipo autoperforante, con diametro reso di 220 mm, ed è stato testato mediante la prova di rottura su campo prova, oltre che con le prove di collaudo. Fino al carico di progetto di 780 kN, il micropalo ha dimostrato un comportamento elastico, con residuo allo scarico praticamente nullo, senza una mobilitazione completa della resistenza per attrito laterale. Fino al carico di progetto di 780 kN, il micropalo ha dimostrato un comportamento elastico, con residuo allo scarico praticamente nullo, senza una mobilitazione completa della resistenza per attrito laterale. Fino al carico di progetto di 780 kN, il micropalo ha dimostrato un comportamento elastico, con residuo allo scarico praticamente nullo, senza una mobilitazione completa della resistenza per attrito laterale.

Tabella 2. Risultati prova di carico su micropalo di progetto.

Carico [kN]	Mp Prova [mm]	Mp Contrasto 1 [mm]	Mp Contrasto 1 [mm]
0	0.00	0.00	0.00
50	0.15	-0.28	-0.54
120	0.33	-0.55	-1.01
180	0.51	-0.80	-1.40
240	0.67	-1.00	-1.71
300	0.90	-1.26	-2.09
360	1.11	-1.48	-2.40
420	1.33	-1.71	-2.74
480	1.55	-1.97	-3.10
540	1.73	-2.17	-3.40
660	2.28	-2.70	-4.14
780	2.96	-3.32	-5.16
600	2.64	-3.04	-4.77
400	1.95	-2.37	-3.79
200	0.96	-1.38	-2.44
0	-0.06	-0.18	-0.68

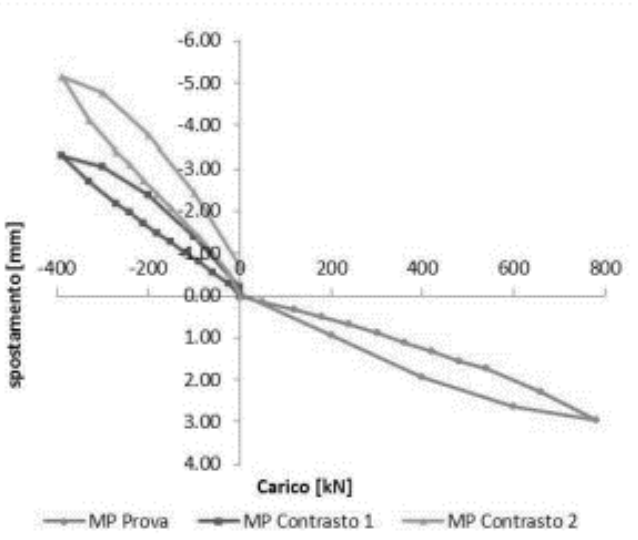


Figure 19. Curva carico -cedimento palo autoperforante campo prova.

5.3 *Monitoraggi*

Il sistema di monitoraggio è stato concepito con l'obbiettivo di porre sotto sorveglianza il comportamento delle strutture, durante lo scavo e la costruzione dell'interrato.
Per il monitoraggio delle solette di prima fase, che sostituiscono l'appoggio della struttura sovrastante è stato adottato un sistema di monitoraggio risultava costituito da:

– n°2 basi di misura per stadia in invar da 60 cm posti sulla facciata esterna rivolta verso piazza Duomo;
– n°17 basi di misura a pavimento a centramento forzato per stadia in invar da 2 m all'interno dell'edificio dell'ex tribunale, a livello del piano terra;
– °2 basi di misura temporanee su travi in acciaio (solo per le misure n°4 e n°5);
– n°1 punto di riferimento per le quote posizionato su un edificio vicinante.

Per la misura degli abbassamenti si è utilizzato un livello elettronico di altissima precisione Leica DNA03 e stadie a codice a barre in acciaio invar posizionate sui punti di misura (più un caposaldo).

Sulle solette di prima fase sono stati eseguiti dei monitoraggi relativi agli spostamenti in vari punti significativi.

L'abbassamento della soletta di prima fase, durante lo scavo e la costruzione dell'interrato, è risultato dell'ordine di 2.5 mm (P13, rilievo del 25/01/2016) (spostamento maggiore, influenzato dalla rimozione dei micropali di portata). I spostamenti sono rimasti decisamente contenuti e compatibili con i lavori di scavo in corso, con una leggera tendenza a crescere all'avanzare dello scavo e dei lavori eseguiti. All'esecuzione della quasi totalità dei lavori delle opere strutturali, il rilievo del 10/06/2016, indica i spostamenti massimi intorno ai 3 mm, compatbili e accettabili per la struttura considerata.

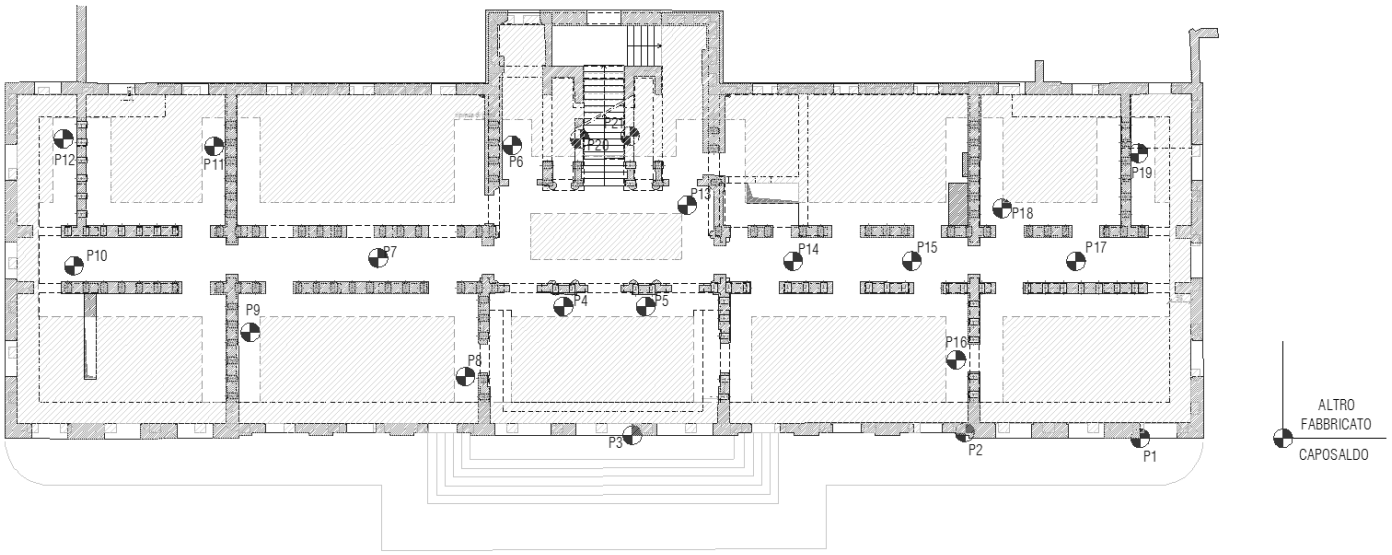


Figure 20. Planimetria basi di misura a pavimento P.T.

Tabella 3. Variazioni(mm) rispetto alla misura iniziale della soletta a P.T.

		ΔP 1	ΔP 2	ΔP 3	ΔP 4	ΔP 5	ΔP 6	ΔP 7	ΔP 8	ΔP 9	ΔP1 0	ΔP1 1	ΔP1 2	ΔP1 3	ΔP1 4	ΔP1 5	ΔP1 6	ΔP1 7	ΔP1 8	ΔP1 9	ΔP2 0	ΔP2 1
Mis. 0	21.09.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Mis. 1	30.09.15	-.06	-0.4	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.9	-0.7	-0.9	-0.7	-0.1	-0.6		
Mis. 2	16.10.15	-0.9	-0.7	-0.5	-1.5	-1.4	-0.3	-0.2	-1.3	-1.7	-0.7	-0.2	-0.4	-0.9	-1.4	-1.6	-1.4	-1.8	-0.9	-0.6		
Mis. 3	20.11.15	-1.3	-1.7	-1.2	-2.2	-2.1	-1.0	-0.8	-1.8	-2.1	-0.8	-.15	-1.4	n.r	-1.5	-1.8	-2.0	-1.4	-1.1			
Mis. 4	16.12.15	-1.4	-2.0	n.r	-2.1	-2.0	-0.8	-1.2	-1.6	-1.9	-1.2	-1.6	-1.4	n.r	-1.6	-1.7	n.r	-2.1	n.r	n.r	0.0	0.0
Mis. 5	25.01.16	-1.3	-2.2	n.r	-2.2	-2.4	-1.2	-1.8	-1.5	-1.7	-1.8	-2.0	-1.5	-2.5	-2.0	-1.4	-1.7	-2.0	-1.4	-1.0	-1.2	-0.7
Mis. 6	11.05.16	-1.5	-2.3	n.r	-2.5	-2.7	-1.4	-2.1	-1.7	-2.0	-2.2	-2.5	-1.7	-2.8	-2.6	-1.7	-1.8	-2.2	-2.1	-1.2		
Mis. 7	30.05.16	-1.8	-2.6	n.r	-2.7	-2.9	-1.7	-2.4	-2.1	-2.3	-2.6	-2.8	-2.1	n.r	n.r	n.r	n.r	n.r	n.r	n.r		
	10.06.16	-1.8	-2.6	n.r	-2.8	-3.0	-1.9	n.r	n.r	n.r	n.r	n.r	n.r	-3.1	-3.0	-2.1	-2.4	-2.5	-2.6	-1.7		

6 CONCLUSIONI

L'intervento di Restauro e Miglioramento sismico del Palazzo Ex Tribunale a Treviso, ha previsto anche la creazione di spazi impiantistici adeguatamente dimensionati e relativamente poco impattanti al di sotto del sedime di fondazione, creando così un piano interrato all'interno di una struttura storica in muratura. Si sono progettati ed eseguiti i consolidamenti delle fondazioni preesistenti ed il restauro statico della sovrastruttura, oltre alla creazione di nuovi spazi ipogei. Il tutto è stato pensato e realizzato sovrapponendo le fasi costruttive, in sotterraneo e fuori terra, al fine di rispettare cronoprogramma ed esigenze della Committenza. Lo studio approfondito sia delle caratteristiche geotecniche e stratigrafiche del sottosuolo, sia meccaniche della muratura, ha permesso di progettare un intervento rapido ed economicamente sostenibile, in un contesto urbano angusto ed idraulicamente delicato. All'interno dell'Ex Tribunale la profondità di scavo era tale, così come l'omogeneità dello strato di argilla presente, da consentire uno scavo in assenza di tampone di fondo. La zona del sottoscala piuttosto che il car-park presente nella corte interna, previste a profondità superiori, sono state interessate da un intervento di impermeabilizzazione del fondo scavo, mediante esecuzione di un tampone di fondo utilizzando sia la tecnica del jet-grouting che la tecnica delle iniezioni a bassa pressione. In sede di cantiere quasi ovunque i sostegni orizzontali per i micropali, di appoggio superiore della struttura da sostenere, sono stati sostituiti da pozioni di soletta definitiva in c.a., al livello del piano terra. Micropali di alta capacità portante, realizzati con tecnica autoperforante, sono stati adottati in numero contenuto per dare la possibilità di eseguire lo scavo agevolmente e senza interferire con gli stessi.

BIBLIOGRAFIA

Reese L.C.., Tower Wang S., Arrelaga J.A., Vasquez L.G., 2005. *Apile v.05, A program for the study of driven piles under axial loads.* ENSOFT INC.

Brinkgreve R.B.J., Broere W. (eds) 2008. *Plaxis-2D User Manual.*

ABSTRACT

CREATION OF UNDERGROUND TECHNOLOGICAL SPACES, IN RESTORATION OF EXISTING BUILDINGS. THE EXAMPLE OF EX TRIBUNALE IN TREVISO

The paper describes the restoration and seismic improvement of Ex Tribunale building in Treviso. The importance of creating relatively low impact and adequately sized plant spaces, required the construction of a basement inside a historic masonry structure.

The whole has been designed and created by overlapping underground construction phases, with the purpose to respect the time schedule and demands of the Customer.

The detailed study of geotechnical, stratigraphic characteristics of the subsoil, and existing masonry mechanical characteristics, helped us to design a quick and economically sustainable intervention, in a narrow and hydraulically delicate urban context.

The escavation depth inside Ex Tribunale building, as well as the homogeneity of the clay layer in the subsoil allowed an excavation without the need of the bottom seal.

Instead under staircase area rather than underground car-park in the courtyard, planned at greater depths, were subject to a bottom seal intervention, adopting both jet-grouting technique and the low-pressure injections.The adoption of a reduced number of self-drilling high bearing capacity micropiles, allowed to perform the excavation easily and without interfering to each other.