

Servizio tecnico riguardante
indagini sperimentali ed analisi
statica da eseguire sull'edificio ex
sali potassici
Relazione Tecnica

Sommario

Premessa	3
Indagine Pacometrica sul calcestruzzo	4
Indagine pull-out sul calcestruzzo	5
Indagine sclerometrica sul calcestruzzo	6
Indagine ultrasonica sul calcestruzzo	7
Indagine termografica sul calcestruzzo	8
Indagine endoscopica sulla muratura	9
Indagine ultrasonica sul legno	10
Misura dell'umidità e della temperatura sul legno	11
Carotaggio sul legno	12
Indagine termografica sul legno	13
Rilievo del potenziale di corrosione sul calcestruzzo	14
Indagine georadar sul calcestruzzo	15
Indagine georadar sulla muratura	16
Microsismica sulle murature	17
Indagine sclerometrica sul legno	18
Saggio sulla murature	19
Analisi chimica per la misurazione del tenore di cloruri e solfati sul calcestruzzo	20
Prova di carico statico trave lignea 1	21
Prova di carico statico Trave lignea 2	22
Prova di carico statico Solaio Ligneo	23
Prova di carico statico Trave in acciaio	24
Analisi delle strutture portanti	25
Allegati	28
Prova di carico statico Trave Lignea 1	29
Prova di carico statico Trave Lignea 2	30
Prova di carico statico Solaio Ligneo	31
Prova di carico statico Trave in acciaio	31
Documentazione Fotografica Prove di Carico	32

PREMESSA

La scrivente società Geotech S.r.l. è stata incaricata dal Parco Regionale Naturale Molentargius- Saline di avviare un servizio tecnico riguardante una campagna di indagini sperimentali ed analisi statica sull'edificio ex sali potassici situato all'interno del parco e meglio identificato nella figura seguente.



3

Figura 1 Collocazione edificio indagato individuato tramite ortofoto.

INDAGINE PACOMETRICA SUL CALCESTRUZZO

L'indagine pacometrica è stata eseguita attraverso il Pacometro P331-Serie H, in dotazione della scrivente società. Tale indagine si basa sulla propagazione di segnali elettromagnetici. La sonda in dotazione allo strumento emette un campo elettromagnetico che in presenza di materiali ferrosi e conduttivi dà luogo alla generazione di correnti parassite che generano un campo elettromagnetico secondario. Facendo scorrere la sonda sulla superficie del cemento armato è possibile apprezzare l'intensità dei campi secondari, rilevando in questo modo la presenza delle armature all'interno dei pilastri.

La prova è stata eseguita su 6 punti indagine, precisamente sui pilastri di cemento armato del livello zero e sono state analizzate per ciascuno di essi le quattro superfici libere. In ciascun pilastro sono così state individuate le barre di armatura, costituite da due ferri longitudinali, poste verticalmente a una distanza media di circa 20 centimetri e una decina di staffe disposte orizzontalmente, a una distanza media di circa 20 centimetri.

Per maggiori dettagli si fa riferimento alle tavole allegate PR01 e PC1.



Figura 2 Pacometro P331-Serie H utilizzato per l'individuazione delle armature.

INDAGINE PULL-OUT SUL CALCESTRUZZO

La campagna di indagine ha previsto l'esecuzione di indagini pull-out sul calcestruzzo. Queste ultime sono state condotte mediante strumentazione in dotazione alla scrivente società e costituita da un cilindro oleodinamico cavo a trazione, una pompa idraulica, un manometro idraulico di precisione. La prova è stata condotta mediante l'inserimento nel calcestruzzo di un tassello ad espansione post-inserito di tipo Fischer FZA. Tale tassello è stato quindi estratto dal calcestruzzo mediante il cilindro oleodinamico che esercitava una pressione su una corona circolare concentrica rispetto al tassello, conseguentemente, raggiunta una sufficiente pressione nel circuito idraulico per il tramite della pompa idraulica, si generava una superficie conica di rottura sul volume di calcestruzzo causandone l'espulsione. Il monitoraggio della pressione idraulica durante la prova ha consentito di misurarne il valore massimo che è correlabile alla resistenza a compressione R_{mc} (espressa in daN/cm^2) del materiale con curva di correlazione fornita dal produttore della strumentazione.

Sono state eseguite complessivamente 14 prove che consentono di valutare cautelativamente il valore di RMC pari a 350 daN/cm^2 , valore superato da tutte le prove da PO1-PO12 sui pilastri indicati in allegata tavola PR02. Il valore di RMC può essere fissato a 250 daN/cm^2 per le prove PO13 e PO14 i cui pilastri presentavano evidenti segni di ammaloramento.

Per i valori puntuali rilevati si rimanda all'allegata tavola PR02.



Figura 3 A sinistra si osserva il foro effettuato sulla parete del pilastro durante la prova pull-out: a destra è possibile osservare il cono di estrazione.

INDAGINE SCLEROMETRICA SUL CALCESTRUZZO

Nel contesto della campagna di indagine sono state eseguite prove sclerometriche sul calcestruzzo mediante sclerometro di Schmidt. L'indagine consiste nella misura dell'energia di rimbalzo generata sull'asta dello strumento e fornisce una stima della durezza del materiale e indirettamente della sua resistenza a compressione RMC.

Sono state eseguite 8 prove che hanno fornito valori variabili compresi tra 420 e 900 daN/cm².

Vista l'ampia indeterminatezza della prova nella stima della resistenza del materiale il risultato è stato utilizzato unicamente per confermare, a favore della sicurezza, un valore di RMC di 350 daN/cm² determinato con le prove di pull-out.

La tavola PR03 mostra la localizzazione delle diverse prove e il risultato della stima del valore di RMC in funzione dell'indice di rimbalzo ottenuto. Lo strumento è stato verificato mediante incudine di taratura prima e dopo l'esecuzione delle battute sclerometriche.



Figura 4 Sclerometro o martello di Schmidt utilizzato per misurare la resistenza a compressione del calcestruzzo.

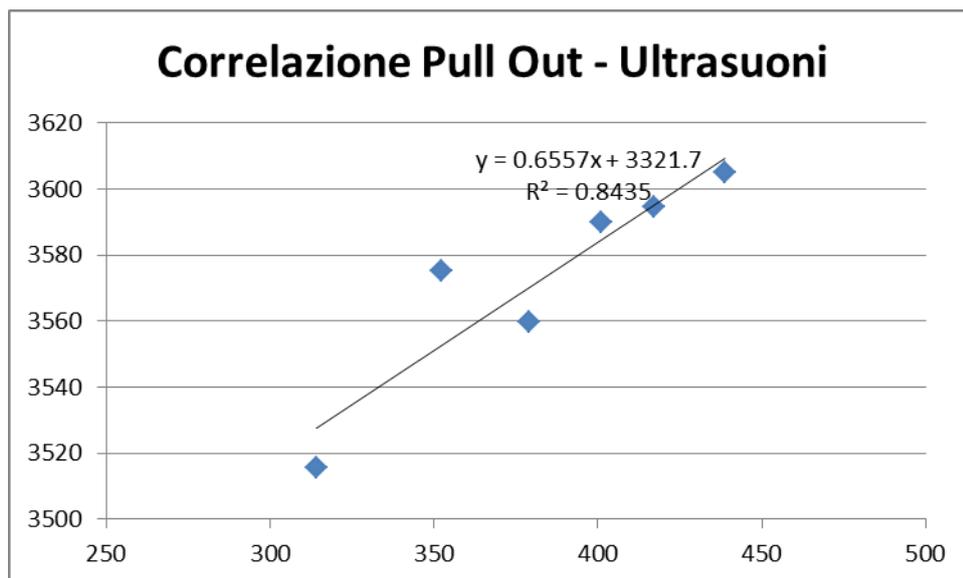
INDAGINE ULTRASONICA SUL CALCESTRUZZO

Sono state eseguite mediante strumento Pundit Lab + della Proceq prove ultrasoniche sul calcestruzzo. Lo strumento prevede l'utilizzo di un trasduttore emettitore ed un trasduttore ricevitore, entrambi collegati via cavo schermato alla centralina. Lo strumento genera un impulso elettrico che eccita il trasduttore emettitore a produrre un'onda ultrasonica di frequenza prossima a quella propria del trasduttore (54KHz). L'onda elastica P a frequenza ultrasonica si propaga nel materiale fino a giungere al trasduttore ricevitore generando un segnale elettrico che viene registrato dalla centralina. Confrontando l'istante in cui il segnale elettrico è stato emesso, l'istante in cui è stato ricevuto, e la distanza misurata tra i due trasduttori è possibile calcolare la velocità di propagazione dell'onda di pressione ultrasonica, valore indicativo della qualità del calcestruzzo in cui l'impulso si è propagato.

Sono state eseguite complessivamente 8 prove, i cui esiti sono riportati nella tavola allegata PR04 che mostrano velocità superiori ai 3.500 m/s per le prove UT1-UT6 e inferiori per le UT7 e UT8, confermando il giudizio delle prove di pull-out che avevano evidenziato resistenze inferiori proprio per i pilastri interessati dalle prove UT7 e UT8.

Complessivamente è possibile indicare come buona la qualità del calcestruzzo con velocità superiori ai 3.500 m/s, mentre i pilastri corrispondenti alle prove UT7 e UT8 mostrano segni di ammaloramento.

I dati della velocità di propagazione dell'impulso ultrasonico sono state correlate con il valore di RMC ricavato dalle prove di pull-out, al fine di validarne i risultati. La dispersione dei dati è riportata nel grafico seguente.



Risulta evidente dal grafico che esiste una correlazione lineare tra il valore di RMC ricavato dalle prove pull-out (riportato in ascissa) e il valore della velocità di propagazione dell'impulso ultrasonico (riportato in ordinata). Il coefficiente di correlazione R^2 pari a 0,84 conferma la relazione e consente di validare il risultato delle prove di pull-out.

INDAGINE TERMOGRAFICA SUL CALCESTRUZZO

L'indagine termografica consente di rilevare in una prova non distruttiva senza contatto le temperature superficiali dell'elemento inquadrato otticamente da un apposito dispositivo, concettualmente simile a una macchina fotografica ma il cui elemento sensibile (microbolometro) è in grado di ricavare la temperatura. Tale strumentazione prende il nome di termocamera e nel caso specifico è stata utilizzata una termocamera di produzione Flir modello S65 con risoluzione di 320x640 pixel capace di una risoluzione termica migliore del decimo di grado centigrado.

La prova è stata condotta inquadrando mediante la termocamera la superficie dei pilastri e analizzando qualitativamente la distribuzione delle temperature alla ricerca di eventuali anomalie che fossero riconducibili a eventuali nidi di ghiaia o distacchi di copriferro.

Complessivamente sono state eseguite 8 prove i cui esiti sono riportati nelle tavole allegate PR05 che mostrano un campo di temperatura uniforme e l'assenza di anomalie di temperatura ascrivibile ai difetti citati.

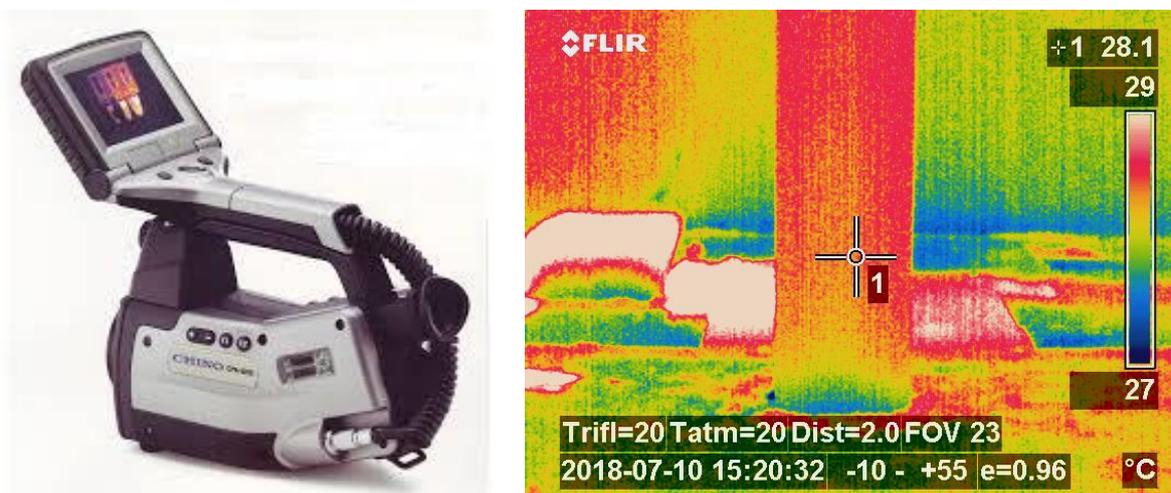


Figura 5 A sinistra si osserva la termocamera di produzione Flir modello S65 utilizzata per condurre l'analisi; a destra è possibile osservare un esempio di termogramma effettuato su uno dei pilastri presenti all'interno dell'edificio analizzato.

INDAGINE ENDOSCOPICA SULLA MURATURA

L'indagine endoscopica è stata realizzata per valutare la costituzione interna della porzione di edificio realizzato in muratura. L'indagine si effettua praticando mediante trapano a percussione di un foro nella struttura che si vuole investigare e inserendo successivamente una sonda alla cui estremità è posizionata una camera fotografica miniaturizzata ed un elemento illuminante. In questo modo è possibile scattare dei fotogrammi dell'interno della struttura ed effettuare opportune considerazioni circa l'uniformità e la costituzione interna di elementi costruttivi non accessibili.

In particolare sono state eseguite 3 indagini endoscopiche (indicate in tavola allegata PR06a-b-c) che consentono di fornire indicazioni circa la natura della muratura che potrebbe essere costituita da conci di materiali lapidei di pezzatura variabile legati con malta. L'indagine consente di escludere l'utilizzo di laterizi nei siti di indagine.



Figura 6 A sinistra si osserva l'endoscopio utilizzato per l'esecuzione dell'indagine; a destra è possibile osservare un fotogramma della struttura muraria.

INDAGINE ULTRASONICA SUL LEGNO

La campagna di indagine ha interessato anche le strutture lignee dell'edificio. Nello specifico caso è stata eseguita un'indagine ultrasonica con strumentazione di produzione Proceq modello Pundit Lab+. La prova analogamente a quanto eseguito sul calcestruzzo prevede la generazione mediante un trasduttore piezoelettrico a 54 KHz di un impulso ultrasonico che genera un treno d'onde di pressione che si propagano nel materiale fino a giungere al trasduttore ricevitore che le trasforma in un impulso elettrico. Misurando il tempo trascorso tra l'emissione dell'impulso e la sua ricezione è possibile calcolare, nota la distanza emettitore-ricevitore, il tempo di transito che consente di stimare la qualità del materiale indagato.

Si è scelto di realizzare la prova sul tavolato del solaio ligneo in quanto quest'ultimo presentava i più severi segni di ammaloramento provocati probabilmente dalla sua prolungata esposizione alle intemperie e alle deiezioni dei volatili che hanno scelto l'edificio quale proprio habitat.

L'indagine è stata eseguita sul punto di misura UT1, la cui localizzazione è riportata nelle tavole allegate PR07, ed ha rivelato una velocità di propagazione media dell'impulso ultrasonico pari a 1566 m/s, velocità che vista la direzione perpendicolare alle fibrature si pone nella parte alta del range di letteratura (400/2.000 m/s) e consente di affermare che il materiale, sebbene superficialmente alterato, nei suoi strati più interni si è mantenuto integro. Ciò non esclude che localmente alcune tavole della struttura abbiano risentito degli effetti del tempo e richiedano degli interventi di riparazione.



Figura 7 Si osserva il Proceq modello Pundit Lab+, strumento utilizzato per condurre le indagini ultrasoniche.

MISURA DELL'UMIDITÀ E DELLA TEMPERATURA SUL LEGNO

L'indagine sulle strutture lignee non poteva prescindere dalla misura dell'umidità. Questo parametro influenza infatti significativamente la conservazione dello specifico materiale, che se esposto eccessivamente alla presenza di acqua risente dell'attacco di agenti biotici quali muffe e microrganismi che ne possono compromettere la durabilità. In generale si utilizza un valore di soglia per distinguere la severità dell'ammaloramento e che in questo specifico caso è stato fissato nel valore del 20% di umidità.

Le prove hanno previsto il ricorso alla strumentazione di produzione Testo modello 606-2. Questo strumento presenta in sommità una coppia di elettrodi che infissi a una profondità di qualche millimetro nel materiale misurano la quantità di corrente che circola nel legno sotto l'azione di una predefinita differenza di potenziale. Ricorrendo alla ben nota legge di Ohm è possibile calcolare la resistenza del legno che risente sensibilmente della presenza di acqua e il cui valore è facilmente correlabile dallo strumento, nota anche la temperatura, con il valore percentuale di umidità.

Sono state eseguite 6 prove, variamente distribuite sull'impalcato ligneo dell'edificio. Le prove sono state eseguite sulla superficie superiore del tavolato, valutato come la parte di struttura maggiormente esposta alle intemperie per via della vicinanza alle aperture delle finestre, prive di infissi. La localizzazione delle prove è indicata nell'allegata tavola PR08 e mostra valori di umidità variabili da un minimo del 15,3%, in corrispondenza del punto di indagine RH3, a un massimo di 19,2%, in corrispondenza del punto di indagine RH5. Il valor medio di tutte le prove è pari al 17,5%.

Sebbene le prove risultino al di sotto del valore di soglia del 20%, alcuni punti risultano estremamente vicini a questo valore, e lo stato superficiale degli strati più esterni del tavolato mostrano un avanzato livello di degrado superficiale che richiede un appropriato intervento di recupero per garantire la conservazione nel tempo delle proprietà del materiale.



Figura 8 Misuratore di umidità Testo modello 606-2; utilizzato per la misurazione dell'umidità e della temperatura nelle strutture lignee.

CAROTAGGIO SUL LEGNO

La localizzazione del carotaggio sul legno è riportata nella tavola allegata PR09 ed indicata con la sigla CAR1, volutamente in prossimità della posizione del rilievo ultrasonico UT1.

Il carotaggio è stato eseguito sul tavolato del livello soppalco servendosi di una carotatrice a tazza di diametro 60mm.

La carota lignea è illustrata nella documentazione fotografica della tavola citata e mostra gli evidenti segni del degrado superficiale subito dal legno nei suoi strati superiori, inferiormente, al riparo dagli agenti atmosferici e dalle deiezioni dei volatili, il livello di degrado è minimo essendosi persino conservata la verniciatura.

Internamente il legno si presenta asciutto e ben conservato.

Lo spessore rilevato della carota è pari a 36mm.



Figura 9 A sinistra si osserva la carota estratta dal soppalco; mentre a destra si osserva il foto ottenuto a seguito del carotaggio.

INDAGINE TERMOGRAFICA SUL LEGNO

Per eseguire tale prova è stata utilizzata la metodica e la strumentazione precedentemente descritta a pagina 6.

La prova è stata condotta inquadrando mediante la termocamera la superficie del legno costituente il soppalco e analizzando qualitativamente la distribuzione delle temperature alla ricerca di eventuali anomalie.

Sono state eseguite 2 prove i cui esiti sono riportati nelle tavole allegate PR10 che mostrano un campo di temperatura uniforme e l'assenza di anomalie di temperatura.



Figura 10 A sinistra si osserva la termocamera di produzione Flir modello S65 utilizzata per condurre l'analisi; a destra è possibile osservare un esempio di termogramma effettuato sul soppalco ligneo dell'edificio.

RILIEVO DEL POTENZIALE DI CORROSIONE SUL CALCESTRUZZO

L'indagine relativa al rilievo del potenziale di corrosione è stata eseguita sul calcestruzzo dei pilastri del livello 0 tramite l'utilizzo di una semicella a elettrodo Rame-Solfato di Rame (Cu-CuSO_4) collegata ad un pacometro dotato di funzionalità di millivolmetro ad alta impedenza, precisamente il modello Elcometer P331-Serie H illustrato in figura. In questo modo, collegando il polo positivo di riferimento ad una barra di armatura, si è proceduto alla misurazione della differenza di potenziale di corrosione del calcestruzzo.

L'indagine è stata ripetuta su 2 pilastri, effettuando 8 misurazioni su ciascun pilastro e misurando i valori di potenziale, espresso in mV, partendo dalla base del pilastro verso l'alto.

Gli esiti delle 2 prove sono riportati nella tavola allegata PR11 mostrano valori medi di potenziale rispettivamente di 47,25mV per la prova PT1 e 40,25mV per la prova PT2. I valori relativamente alti di potenziale lasciano escludere il possibile innesco di fenomeni di corrosione.



Figura 11 L'immagine mostra il Pacometro P331-Serie H corredato della semicella avente l'elettrodo di Rame-Solfato di Rama (Cu-CuSO_4), utilizzato per la misura del potenziale di corrosione.

INDAGINE GEORADAR SUL CALCESTRUZZO

Le indagini georadar sulle strutture vengono utilizzate per identificare i ferri di armatura, nidi di ghiaia, di umidità e la presenza di eventuali discontinuità all'interno del materiale indagato.

Lo strumento comprende un'antenna, un trasmettitore, un ricevitore ed un'unità di elaborazione. Il trasmettitore genera un impulso elettrico convertito dall'antenna in un'onda elettromagnetica di frequenza dominante di 2GHz, il segnale si propaga all'interno del materiale e viene riflesso verso l'antenna ricevente dove viene campionato e rappresentato dall'unità di elaborazione in radargrammi ovvero sezioni bidimensionali del materiale su cui viene fatta scorrere l'antenna in cui sull'asse delle ascisse viene mostrata la distanza progressiva e nell'asse delle ordinate la profondità degli echi.

La localizzazione delle barre di armatura viene effettuata mediante l'individuazione dei vertici delle iperboli di diffrazione che compaiono nei radargrammi.

L'esecuzione della prova è avvenuta seguendo due direzioni ortogonali, identificando una sezione orizzontale e una sezione verticale. In questo caso è stato possibile osservare la presenza dei ferri caratterizzanti le armature dei pilastri in esame. Le misurazioni sono state eseguite dal basso verso l'alto per le sezioni verticali, mentre da destra verso sinistra per le sezioni orizzontali.

L'indagine è stata eseguita in 2 punti. Gli esiti delle 2 prove sono riportati nelle tavole allegate PR12.

INDAGINE GEORADAR SULLA MURATURA

L'indagine georadar è stata eseguita anche sulla muratura.

L'indagine è stata eseguita in 1 punto effettuando un rilievo seguendo una sezione orizzontale, con direzione da sinistra verso destra.

Gli esiti della prova sono riportati nelle tavole allegate PR12.



16

Figura 12 Georadar per strutture utilizzato per il rilievo sulle murature e sul calcestruzzo.

MICROSISMICA SULLE MURATURE

L'analisi microsismica è stata eseguita utilizzando l'indagine ultrasonica con strumentazione di produzione Proceq modello Pundit Lab+. La prova prevede la generazione mediante un trasduttore piezoelettrico a 54 KHz di un impulso ultrasonico che genera un treno d'onde di pressione che si propagano nel materiale fino a giungere al trasduttore ricevitore che le trasforma in un impulso elettrico. Misurando il tempo trascorso tra l'emissione dell'impulso e la sua ricezione è possibile calcolare, nota la distanza emettitore-ricevitore, il tempo di transito che consente di stimare la qualità del materiale indagato.

In questo caso, a differenza della classica indagine ultrasonica, la prova microsismica è stata eseguita lungo un profilo scelto sulla muratura, di lunghezza pari ad un metro, nella quale è stato individuato il punto relativo al tempo (t_0); in tale punto è stato posizionato un trasduttore, detto ricevitore, che ha mantenuto la stessa posizione durante tutta la prova. Inoltre è stato utilizzato un secondo trasduttore, detto trasmettitore, che ha subito spostamenti in funzione della prova. Per l'esecuzione è stato indicato l'off-set, ossia la distanza tra i due trasduttori; ad ogni misurazione l'off-set è stato aumentato di 10 cm.

Tale indagine ha permesso di calcolare, data la distanza (off-set) e il tempo misurato dallo strumento, la velocità delle onde che hanno attraversato la muratura; in media il valore ottenuto è di 1730 m/s.

Dall'analisi dei dati è stato possibile osservare un andamento pressoché lineare, in cui non si è verificata rifrazione.

Gli esiti della prova sono riportati nelle tavole allegate PR13.

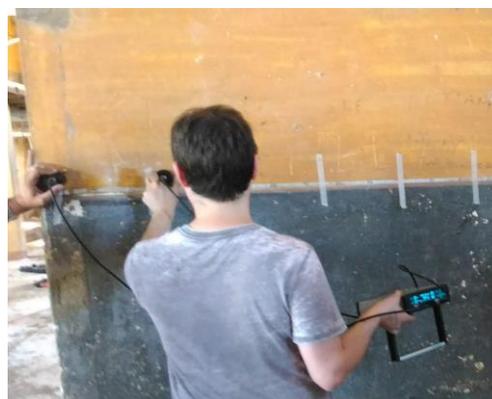


Figura 13 A sinistra si osserva il Proceq modello Pundit Lab+, strumento utilizzato per condurre le indagini microsismiche; a destra si osservano gli operatori che eseguono l'indagine.

INDAGINE SCLEROMETRICA SUL LEGNO

L'indagine sclerometrica sul legno è stata eseguita tramite un penetrometro meccanico Wood Pecker, che ha consentito di imprimere una forza d'impatto costante per infliggere un ago indeformabile nel legno oggetto d'indagine. La misura della penetrazione dell'ago è correlabile alla resistenza meccanica del materiale ligneo.

La prova è stata eseguita su 1 punto d'indagine, precisamente su una trave lignea del soppalco; come da normativa sono state eseguite 9 misurazioni, che hanno consentito di misurare la Penetrazione utile, espressa in mm, dell'ago all'interno del legno e di ricavare il Modulo di Elasticità a flessione e il Modulo di Resistenza a flessione. È stata rilevata una penetrazione dell'ago di 22,70 mm.

Gli esiti della prova sono riportati nella tavola allegata PR14.

18



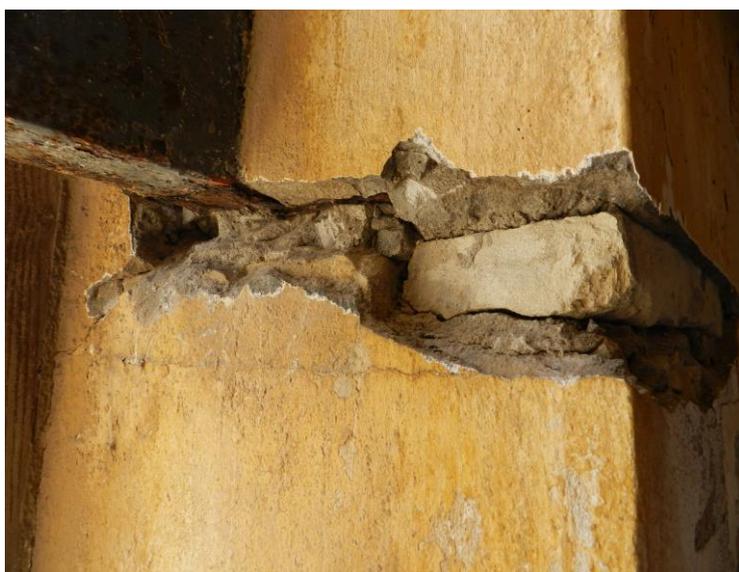
Figura 14 Si osserva il penetrometro meccanico Wood Pecker utilizzato per l'indagine sclerometrica sul legno.

SAGGIO SULLA MURATURE

Il saggio sulle murature è stato eseguito per verificare la composizione della struttura muraria.

È stato eseguito su 2 punti indagine ed è stata individuata una natura calcarea del materiale utilizzato, inoltre in alcune porzioni è stata individuata la presenza di inserti in laterizio pieno.

Gli esiti della prova sono riportati nelle tavole allegate PR15.



19

Figura 15 A sinistra si osserva un saggio in cui è evidente la presenza di laterizio; mentre a destra si osserva la struttura muraria attraverso un carotaggio.

ANALISI CHIMICA PER LA MISURAZIONE DEL TENORE DI CLORURI E SOLFATI SUL

CALCESTRUZZO

Per effettuare l'analisi chimica per la misurazione del tenore dei cloruri e dei solfati, la scrivente società si è rivolta al Laboratorio certificato Conserlab Sardegna Srl Controlli e servizi ambientali di Cagliari.

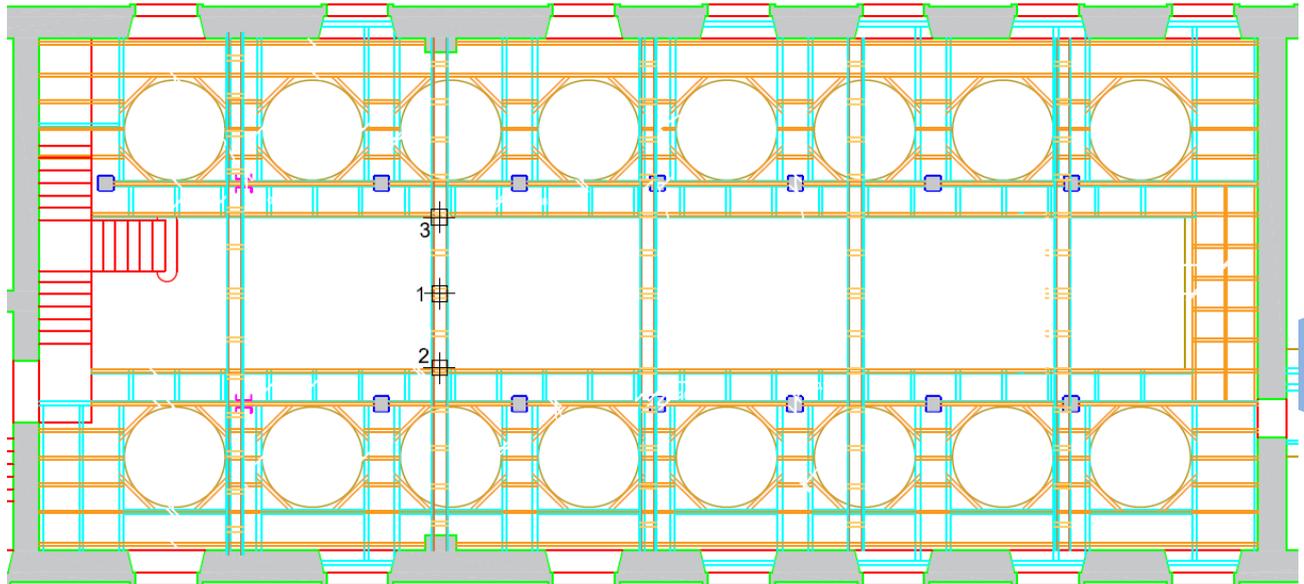
L'analisi è stata effettuata su un campione di calcestruzzo prelevato dalla struttura in esame ed è stato analizzato nel succitato laboratorio di analisi.

I valori ottenuti risultano essere relativamente bassi rispetto alla letteratura; da ciò si può affermare che non vi è interferenza di corrosione da parte di cloruri e solfati sulle armature.

Gli esiti della prova sono riportati nella tavola allegata PR16.

PROVA DI CARICO STATICO TRAVE LIGNEA 1

La prova di carico è stata realizzata sulle travi di sostegno della copertura lignea indicate nella planimetria seguente:



21

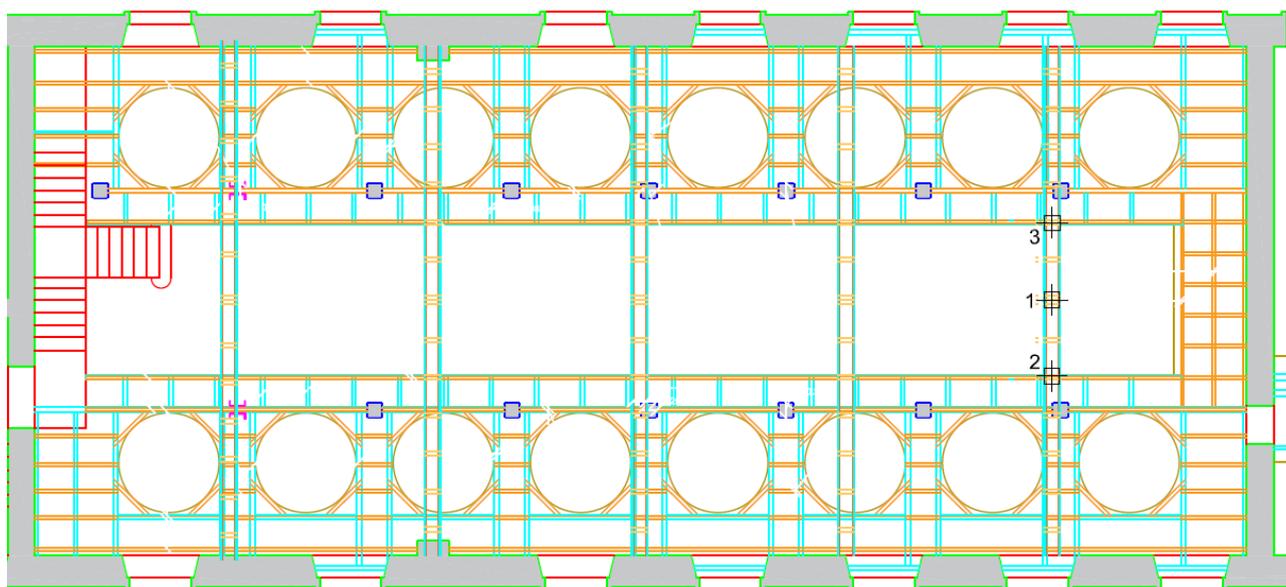
Sono stati posizionati tre trasduttori di spostamento con risoluzione del centesimo di millimetro il cui numero identificativo è riportato in planimetria e le cui letture sono riportate negli allegati.

Il carico è stato applicato mediante un martinetto oleodinamico a tiro disposto in mezzeria, ancorato alle fondazioni dell'edificio e collegato mediante una catena di collegamento a ulteriori due catene che trasmettevano il carico simmetricamente e di uguale intensità in corrispondenza del secondo arcareccio a partire dal colmo della copertura.

Il carico massimale applicato dal martinetto si ripartiva in due forze verticali di uguale entità pari a 800 daN applicato sulla campata della trave, generando una sollecitazione sulla trave lignea a cui corrisponde un carico distribuito equivalente il carico concentrato applicato pari a 50 daN/mq sulla copertura. La freccia teorica calcolata in base alla geometria della sezione risulta pari a 4,46 mm, superiore a quella massima misurata di 4,45 mm. Le frecce residue rilevate al termine della prova rientrano nella tolleranza strumentale e consentono di affermare che non è presente freccia residua strumentalmente rilevabile.

PROVA DI CARICO STATICO TRAVE LIGNEA 2

E' stata effettuata una prova di carico su una seconda travatura della copertura lignea per valutare l'uniformità di comportamento della struttura. La prova risulta analoga alla precedente ed è stata realizzata sulle travi di sostegno della copertura lignea indicate nella planimetria seguente:



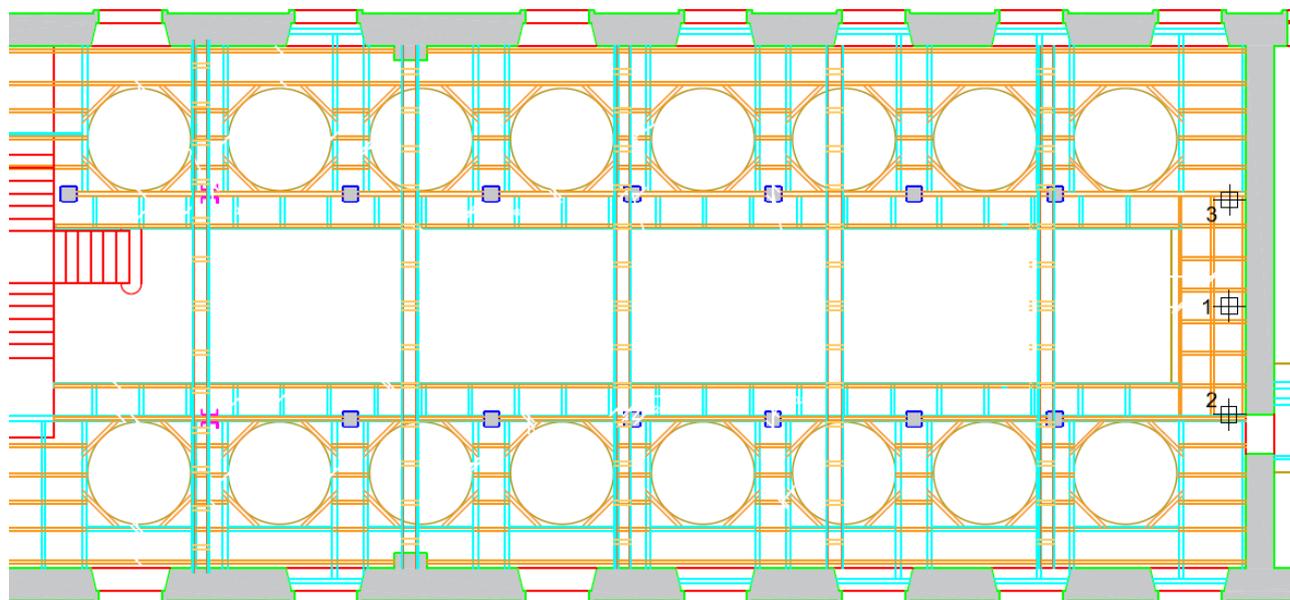
Sono stati posizionati tre trasduttori di spostamento con risoluzione del centesimo di millimetro il cui numero identificativo è riportato in planimetria e le cui letture sono riportate negli allegati.

Anche in questo caso il carico è stato applicato mediante un martinetto oleodinamico a tiro disposto in mezzeria, ancorato alle fondazioni dell'edificio e collegato mediante una catena di collegamento a ulteriori due catene che trasmettevano il carico simmetricamente e di uguale intensità in corrispondenza del secondo arcareccio a partire dal colmo della copertura.

Il carico massimale applicato dal martinetto si ripartiva in due forze verticali di uguale entità pari a 800 daN applicato sulla campata della trave, generando una sollecitazione sulla trave lignea a cui corrisponde un carico distribuito equivalente il carico concentrato applicato pari a 50 daN/mq. La freccia teorica calcolata in base alla geometria della sezione risulta pari a 4,46 mm, superiore a quella misurata di 4,13 mm. Le frecce residue rilevate al termine della prova rientrano nella tolleranza strumentale e consentono di affermare che non è presente freccia residua strumentalmente rilevabile.

PROVA DI CARICO STATICO SOLAIO LIGNEO

La prova di carico è stata realizzata sul solaio ligneo indicato nella planimetria seguente:



23

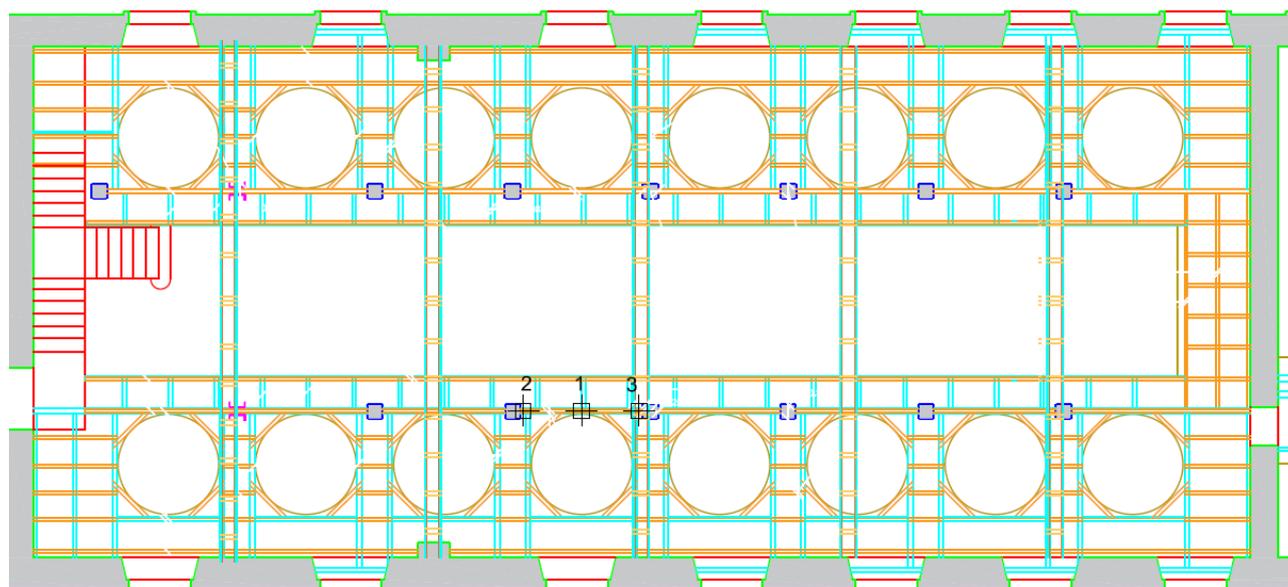
Sono stati posizionati tre trasduttori di spostamento con risoluzione del centesimo di millimetro il cui numero identificativo è riportato in planimetria e le cui letture sono riportate negli allegati.

Il carico è stato applicato mediante un martinetto oleodinamico a tiro disposto in mezzeria in corrispondenza del trasduttore n. 1, ancorato alle fondazioni dell'edificio e contrastato da un elemento metallico appoggiato sul pavimento del soppalco.

Il carico massimale è stato di 400,00 daN, Il vincolo di estremità del solaio è stato valutato, in un contesto di relativa incertezza dovuta alla mutua interazione del complesso trave principale, arcarecci, tavolato e carpenteria metallica, come un incastro derivante dalla rigidità del collegamento fra le varie travature. Conseguentemente il carico distribuito equivalente il carico concentrato applicato è risultato superiore a 200 daN/mq. La freccia teorica calcolata in base alla geometria della sezione ipotizzando il vincolo all'estremità di semplice appoggio risulta pari a 6.86 mm, mentre considerando il vincolo di incastro è pari a 1,99 mm, equivalente nei limiti dell'accuratezza strumentale a quella misurata di 2,00 mm. Le frecce residue rilevate al termine della prova rientrano nella tolleranza strumentale e consentono di affermare che non è presente freccia residua strumentalmente rilevabile.

PROVA DI CARICO STATICO TRAVE IN ACCIAIO

La prova di carico è stata realizzata sulla trave in acciaio a sostegno del soppalco indicata in planimetria:



Sono stati posizionati tre trasduttori di spostamento con risoluzione del centesimo di millimetro il cui numero identificativo è riportato in planimetria e le cui letture sono riportate negli allegati.

Il carico è stato applicato mediante un martinetto oleodinamico a tiro disposto in mezzeria, ancorato alle fondazioni dell'edificio e sulla mezzeria dell'ala inferiore della trave.

Il carico massimale è stato di 700,00 daN, Conseguentemente il carico distribuito equivalente il carico concentrato applicato è risultato superiore a 200 daN/mq applicato sul sovrastante solaio a cui sarebbe corrisposto un carico di 170 daN, tuttavia vista la buona linearità della prova si è preferito proseguire con un incremento significativo a dimostrazione del fatto che la struttura in acciaio è sovradimensionata rispetto al carico sopportabile dal solaio ligneo. La freccia teorica calcolata in base alla geometria della sezione risulta pari a 0,37 mm, superiore a quella misurata di 0,33 mm. Le frecce residue rilevate al termine della prova rientrano nella tolleranza strumentale e consentono di affermare che non è presente freccia residua strumentalmente rilevabile.

ANALISI DELLE STRUTTURE PORTANTI

In base alle richieste della committenza si è proceduto a realizzare un'analisi delle strutture portanti sulla base degli esiti delle indagini non distruttive, dell'analisi visiva e delle prove di carico eseguite sull'edificio.

Il modello di calcolo utilizzato nell'analisi ha sofferto di una certa dose di indeterminatezza legata alla mancanza di dati certi in merito ad alcuni aspetti strutturali quali:

- Geometria e caratteristiche degli elementi e dei terreni di fondazione
- Caratteristiche dei materiali relativi alle strutture in acciaio che in via cautelativa sono stati assunti della più bassa classe di resistenza fra quelle classificate dalla normativa
- Caratteristiche dei materiali relativi alle strutture in calcestruzzo che sono stati desunti dalle prove non distruttive
- Grado di vincolo tra i collegamenti lignei e presenza di degrado localizzato in alcuni elementi
- Caratteristiche dei materiali costituenti le murature portanti, realizzate in pietrame calcareo non squadrate con malta di cemento ma che presentano discontinuità dovute a integrazioni in muratura di laterizio pieno, desunte nel calcolo dall'esito delle indagini effettuate

Le strutture in acciaio e le strutture lignee, a meno di locali ammaloramenti, possono essere considerate accettabili rispetto alle regole di corretta esecuzione tuttavia rispetto alle attuali prescrizioni di buona arte e alle normative vigenti, sono presenti nella struttura alcune difformità nella scatola muraria:

- Mancanza di irrigidimenti (cordoli o attrezzature equivalenti) in corrispondenza dei vari piani
- Elementi portanti in acciaio e legno gravanti in corrispondenza delle aperture degli infissi e non sui maschi murari

Inizialmente si è previsto di modellizzare la struttura così come rilevata, tuttavia la presenza delle aperture degli infissi sulle pareti portanti in muratura determinavano a causa dei carichi gravanti su di esse, la mancata verifica di sicurezza sull'intero edificio. Pertanto, confidando che in sede di realizzazione dell'intervento si potesse trovare una soluzione a tale difetto (operando ad esempio la cerchiatura delle aperture e realizzando cordoli in calcestruzzo o strutture equivalenti meno invasive ai vari piani) si è preferito ignorare nel modello di calcolo le aperture presenti invece nell'edificio.

Definito il modello di calcolo, completo delle strutture in muratura, in acciaio, calcestruzzo e lignee, si è proceduto a calcolare deformazioni e sollecitazioni sulla struttura portante attraverso il calcolo agli elementi finiti, mediante il software di produzione Stacec denominato Fata-E, applicando diversi valori di carico di esercizio ed eseguendo le relative verifiche di normativa.

E' stata eseguita una prima verifica considerando la struttura quale nuova realizzazione, ignorando le azioni sismiche, e applicando vari carichi di esercizio ottenendo infine, dopo differenti cicli di calcolo e modifica dei carichi, le seguenti conclusioni:

- La struttura muraria risulta in gran parte verificata salvo alcune regioni soggette ad un eccesso di azione tagliante e di pressoflessione
- I solai lignei e le relative travi risultano verificate fino a un carico di esercizio di 200 daN/mq
- I solai di copertura risultano verificati fino a un carico di esercizio di 50 daN/mq
- Pilastrini in cemento armato e struttura in acciaio risultano verificati ma sollecitati in misure ridotte rispetto alle effettive capacità portanti

La stessa struttura è stata quindi successivamente analizzata quale edificio esistente, attribuendogli le sollecitazioni sismiche della classe IV. Sono state inserite nei pilastrini le armature rilevate in sede di indagini e l'edificio è stato sottoposto a verifica PGA (peak ground acceleration) escludendo dalla verifica le strutture murarie in quanto, già in assenza di azioni sismiche, quest'ultime risultano non verificate. Pertanto la verifica alle azioni sismiche PGA è stata limitata alle rimanenti porzioni di struttura (legno, acciaio, cemento armato). La struttura presenta una certa resistenza alle azioni sismiche fino ad un'accelerazione massima del suolo di 0,04 g con tempo di ritorno di 412 anni.

Alla luce dell'analisi dello stato dei luoghi, delle indagini realizzate, degli esiti delle prove di carico, delle calcolazioni effettuate si può affermare che, a meno dei necessari miglioramenti delle strutture in muratura, i carichi di esercizio che possono essere sopportati in sicurezza dall'edificio sono pari a 50 daN/mq per le coperture e 200 daN/mq per i piani intermedi salvo verifiche puntuali sulle strutture rimanenti.

In sede di ristrutturazione dell'edificio ci si permette di suggerire i seguenti interventi per incrementare la capacità portante della struttura:

- solai interni: adottare tavolati collaboranti con i sottostanti arcarecci (generando un comportamento statico di sezione a T e quindi aumentando la capacità portante dell'insieme strutturale)
- travi di copertura: trasformazione della capriata da semplice al tipo Polanceau
- solaio di copertura: utilizzare una soluzione analoga a quella suggerita per i solai interni
- murature: operare cerchiature con telai in acciaio delle aperture degli infissi, inserire cordoli in cls armato in corrispondenza dei vari piani o in alternativa, ad eccezione del livello di copertura, sconnessione della struttura in acciaio e legno dalla muratura dotandola di un'adeguata struttura indipendente di appoggio verticale

Cagliari, 02/08/2018

GEOTECH s.r.l.
VIA TRENINO N° 13
09127 CAGLIARI
Partita IVA 03178670927
Paolo Piga

ORDINE INGEGNERI
PROVINCIA CAGLIARI
N. 907 Dott. Ing. PAOLO PIGA

Paolo Piga

ALLEGATI

PROVA DI CARICO STATICO TRAVE LIGNEA 1

	Sensore 0	Sensore 1	Sensore 2	Carico
	Mezzeria	Arcareccio	Arcareccio	
Identificativo	Ch_1	Ch_2	Ch_3	Manuale
Unita'	mm	mm	mm	KG
Offset	4	3.09	15.37	0
1:15:38 AM	0	0	0	0
1:17:08 AM	0	0.57	0.39	300
1:18:08 AM	0.13	1.2	0.89	500
1:18:48 AM	0.25	1.75	1.35	700
1:19:38 AM	0.37	2.38	1.85	900
1:20:18 AM	0.42	2.64	2.07	1000
1:21:08 AM	0.5	2.95	2.31	1100
1:21:58 AM	0.54	3.23	2.56	1200
1:22:38 AM	0.6	3.5	2.79	1300
1:23:28 AM	0.67	3.8	3.04	1400
1:24:48 AM	0.69	4.09	3.31	1500
1:26:18 AM	0.78	4.45	3.61	1600
1:26:58 AM	-0.22	-0.1	-0.09	0

PROVA DI CARICO STATICO TRAVE LIGNEA 2

	Sensore 0	Sensore 1	Sensore 2	Carico
	Mezzeria	Arcareccio	Arcareccio	
Identificativo	Ch_1	Ch_2	Ch_3	Manuale
Unita'	mm	mm	mm	KG
Offset	25.73	35.45	39.01	0
12:32:30 AM	0	0	0	0
12:33:10 AM	0.12	0.6	0.58	300
12:34:00 AM	0.22	1.02	1.08	500
12:34:40 AM	0.33	1.5	1.59	700
12:35:20 AM	0.47	2.06	2.19	900
12:36:00 AM	0.56	2.32	2.45	1000
12:36:30 AM	0.64	2.56	2.72	1100
12:37:10 AM	0.68	2.81	3	1200
12:37:40 AM	0.73	3.04	3.26	1300
12:38:30 AM	0.77	3.28	3.52	1400
12:39:20 AM	0.84	3.55	3.81	1500
12:41:00 AM	0.92	3.88	4.13	1600
12:42:50 AM	0.02	0.08	0.04	0

PROVA DI CARICO STATICO SOLAIO LIGNEO

	Sensore 0	Sensore 1	Sensore 2	Carico
	Mezzeria	Estremità	Estremità	
Identificativo	Ch_1	Ch_2	Ch_3	Manuale
Unita'	mm	mm	mm	KG
Offset	39.8	48.12	61.63	0
12:10:30 AM	0	0	0	0
12:11:30 AM	0.43	0.05	0.01	100
12:12:40 AM	0.92	0.08	0.03	200
12:13:40 AM	1.45	0.1	0.06	300
12:15:10 AM	2	0.12	0.11	400
12:15:40 AM	0.02	0	0	0

31

PROVA DI CARICO STATICO TRAVE IN ACCIAIO

	Sensore 0	Sensore 1	Sensore 2	Carico
	Mezzeria	Estremità	Estremità	
Identificativo	Ch_1	Ch_2	Ch_3	Manuale
Unita'	mm	mm	mm	KG
Offset	60.27	40.73	67.91	0
12:00:20 AM	0	0	0	0
12:01:00 AM	0.05	0	0	100
12:01:40 AM	0.09	0	0.01	200
12:02:20 AM	0.14	0.01	0.02	300
12:03:00 AM	0.18	0.02	0.03	400
12:04:00 AM	0.24	0.03	0.03	500
12:04:40 AM	0.28	0.04	0.04	600
12:05:30 AM	0.33	0.05	0.04	700
12:05:50 AM	0.01	-0.01	0	0

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVE DI CARICO



32











