

COMUNE DI SANTA ELISABETTA

Libero Consorzio Comunale di Agrigento

**LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE, PROMOZIONE DELL'ECONOMICITÀ E RIDUZIONE DEI
CONSUMI ENERGETICI DEL PALAZZO DI CITTA' DI SANTA ELISABETTA
CIG 8499097CB5 - CUP C44H17001010005**

Elaborato:

Relazione di calcolo delle strutture

TAV.

ST1

Visti e approvazioni

DATA: ottobre 2021

I Progettisti: Raggruppamento Temporaneo di Professionisti
G.P.T. Progetti s.r.l. (mandataria) ING. ANTONIO COVAIS (mandante)

 **PROGETTI**

Arch. Ing. Pietro Tabbuso
Arch. Giorgia Palizzolo

Ing. Antonio Covais





1. Premessa ed oggetto

La presente relazione si riferisce all'ambito strutturale del progetto per i "Lavori di ristrutturazione, promozione dell'eco-efficienza e riduzione dei consumi energetici del Palazzo di Città di Santa Elisabetta" per la proposta progettuale redatta dalla società di ingegneria G.P.T. Progetti s.r.l. con sede in via Aquileia n. 10 a Palermo.

Il progetto prevede principalmente opere di tipo impiantistico e di efficientamento energetico attraverso il rifacimento dell'involucro opaco e trasparente dell'edificio.

Dal punto di vista strutturale è prevista la realizzazione di una passerella esterna giuntata in c.a. per il collegamento del primo piano dell'edificio direttamente con la Piazza Giovanni XXIII al fine del superamento delle barriere architettoniche visto che l'edificio è sprovvisto di mezzi meccanici di collegamento verticale. Inoltre, a parziale copertura del nuovo ingresso è prevista la realizzazione di una pensilina in acciaio con copertura in vetro prefabbricata in stabilimento e collocata in opera.





Prima di procedere alla progettazione delle opere strutturali, è stata acquisita la relazione geologica a firma del dott. Geol. Paolo Vizzì, che individua e caratterizza dal punto di vista fisico-meccanico e sismico i terreni interessati dalle opere.

La presente relazione che illustra l'ambito strutturale, per una migliore esplicitazione, è stata suddivisa in capitoli che riguardano il quadro normativo di riferimento, le caratteristiche del sito e dei materiali, le strutture in progetto e le azioni considerate ai fini del dimensionamento, il codice di calcolo utilizzato, la modellazione strutturale, il giudizio sull'attendibilità dei risultati.

Per tutto quanto non espressamente riferito nella presente relazione e per i dettagli costruttivi, si rimanda ai tabulati di calcolo ed alle tavole esecutive allegate.

2. Riferimenti normativi

Le strutture in progetto sono del tipo in conglomerato cementizio armato e a struttura metallica e pertanto le norme di riferimento da osservare risultano essere:

- **Legge 05.11.1971 n. 1086:** Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- **Legge 02.02.1974 n. 64:** Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- **D.M. LL.PP. del 11/03/1988:** Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le



prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;

- **Testo Unico Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018);**
- **Circolare del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici del 21 gennaio 2019, n. 7,** recante “Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.

3. Caratteristiche del sito

Dall'osservazione di campagna e grazie ai sondaggi acquisiti sono stati riconosciuti dall'alto verso il basso, i seguenti termini litologici:

- a) Riporto eterogeneo (spessore inferiore ad 1 metro);
- b) Coltre detritica marnosa con inclusi gessosi e marnoso calcarei (spessore di 7 metri);
- c) Marne calcaree con livelli argillo-marnosi;

La fondazione sarà poggiata sullo strato di coltre detritica marnosa. Tale piano di fondazione, rilevati i carichi trasmessi ed eseguite le opportune verifiche di sicurezza previste dalla normativa tecnica di settore, è idoneo a costituire il piano di posa delle fondazioni previste in progetto, le quali verranno impostate su di uno strato di “magrone” da 10 cm.

Dalle indagini geofisiche eseguite si è potuto determinare il valore del V_{S30} in corrispondenza del litotipo costituente il piano di fondazione che risulta compreso tra 360 m/s e 800 m/s, pertanto, ai fini della definizione della azione sismica si può assumere il piano di posa delle fondazioni come un terreno appartenente alla categoria “B”, “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati con spessori superiori a 30m, ...”.

I parametri geotecnici che possono essere utilizzati per i calcoli e le verifiche geotecniche, desunti dalla relazione geologica, per lo strato di coltre detritica marnosa sono peso dell'unità di volume $\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$, angolo d'attrito $\phi = 10^\circ$, coesione non drenata $c' = 0,10 \text{ daN/cm}^2$ mentre i parametri per lo strato inferiore di marne calcaree sono $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$, angolo d'attrito $\phi = 18^\circ$, coesione non drenata $c' = 0,10 \text{ daN/cm}^2$.



4. Caratteristiche dei materiali

Per l'esecuzione delle opere in progetto si prevede l'adozione di materiali aventi le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Calcestruzzo per strutture di fondazione e d'elevazione classe di esposizione XC1, XC2 e XC3:
- calcestruzzo per sottofondazioni (magrone) $R_{ck} \geq 15$ MPa
- calcestruzzo in fondazione ed in elevazione classe di resistenza C28/35 (resistenza caratteristica cubica, R_{ck} 35 MPa)
- Acciaio per getti B450C (Fe B 44k) controllato in stabilimento la cui tensione di snervamento caratteristica è pari a f_{yk} 450 MPa;

Il copriferro minimo sarà di 2,5 cm sulle barre longitudinali e 2,5 cm sulle staffe e dovrà essere garantito tramite l'uso di opportuni distanziatori.

Il cemento dovrà rispondere ai requisiti di cui alla legge 26.05.1965 n. 595 ed al D.M. 06.03.1968 e successive modifiche ed integrazioni, nonché alla norma UNI-EN 197/1:2011.

La sabbia, naturale o artificiale, dovrà essere, in ordine di precedenza, silicea, quarzosa o granitica ed in ogni caso dovrà essere ricavata da rocce di elevata resistenza a compressione. Il pietrisco proveniente dalla frantumazione delle rocce dovrà avere dimensioni massime pari a 20 mm.

L'acqua per la formazione del calcestruzzo dovrà essere limpida, dolce, priva di materiali terrosi od organici, priva di solfati e potrà contenere al massimo 0,1 g/l di cloruri. Dovrà limitarsi al minimo il rapporto acqua cemento in modo da consentire la riduzione dei fenomeni di ritiro e delle conseguenti fessurazioni, la corretta lavorabilità dell'impasto sarà assicurata dall'aggiunta di fluidificanti.

L'impasto dovrà essere fatto con mezzi idonei e il dosaggio dei componenti eseguito con modalità atte a garantire la costanza del proporzionamento previsto in fase di progetto. Per quanto riguarda i calcestruzzi preconfezionati si farà riferimento alla norma UNI 7163.

Per quanto riguarda invece la costruzione della copertura in carpenteria metallica l'acciaio dovrà essere del tipo S 275.



5. Le strutture in progetto e le azioni considerate ai fini del dimensionamento

Come già esplicitato in premessa, il progetto dal punto di vista strutturale riguarda la costruzione di una passerella in c.a. ad una sola elevazione fuori-terra in giunto rispetto all'edificio principale e la collocazione di una pensilina prefabbricata in acciaio e vetro per la copertura di una parte della passerella stessa.

Per semplicità di trattazione si procederà a descrivere la struttura della passerella e successivamente quella della copertura prefabbricata in acciaio.

La struttura portante della passerella sarà costituita da 6 pilastri di sezione trasversale 30x30 cm e da travi alte con sezione trasversale 30x50 cm di cui alcune a sbalzo rispetto all'allineamento nord dei pilastri.

L'impalcato di piano primo sarà realizzato a struttura mista latero-cementizia (tipo Fauci F1) di altezza $H=20+5$ cm, costituito da travetti in cemento armato precompresso (C45/55) di dimensione 9×12 cm con suola in granulato di laterizio, da blocchi interposti in laterizio con interasse 50 cm e caldana di completamento da 5 cm gettata in opera con calcestruzzo C28/35.

La fondazione sarà costituita da una platea dello spessore di 30 cm (Fig. 1).

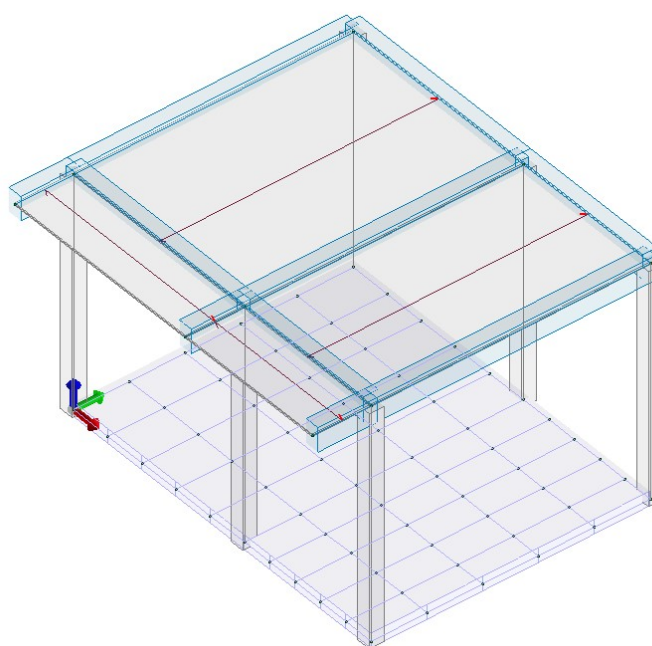


Figura 1 Telaio spaziale in cemento armato con fondazioni superficiali a platea.



Per il calcolo della struttura in c.a. si è tenuto conto delle azioni trasmesse dalla copertura in acciaio che per ovvie ragioni è stata calcolata come una struttura secondaria (Fig. 2).

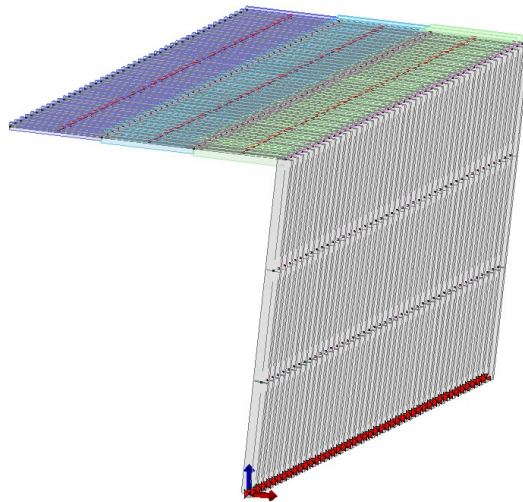


Figura 2 Pensilina in acciaio e vetro.

La pensilina in acciaio, come già affermato in precedenza, dovrà essere prefabbricata in stabilimento secondo lo schema degli esecutivi di progetto e dovrà essere collocata in opera mediante il collegamento bullonato di quattro blocchi di struttura.

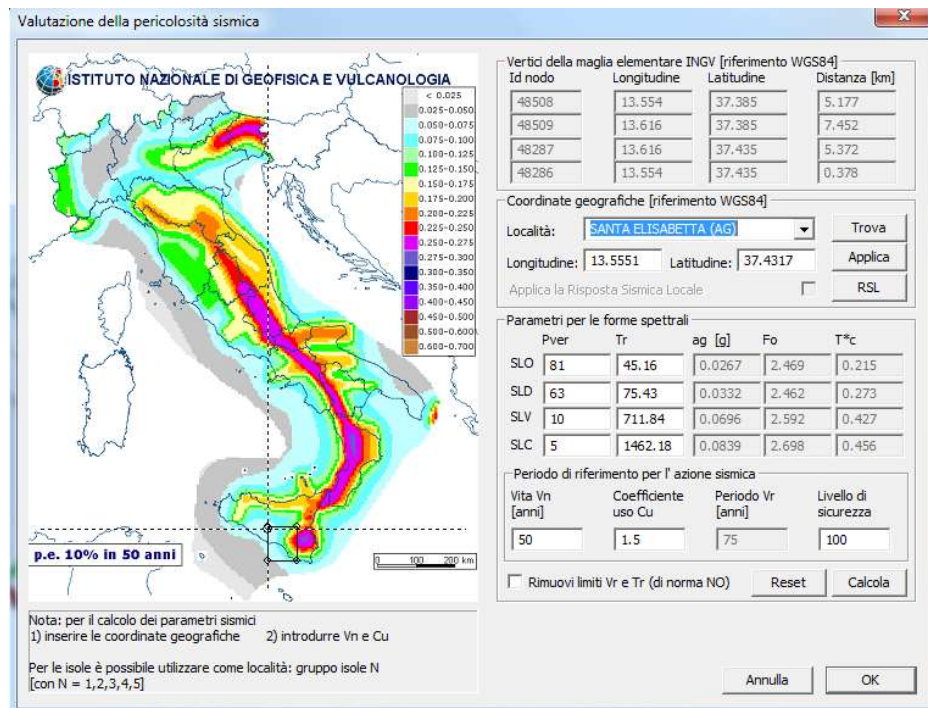
Ciascun blocco di struttura sarà formato da 11 elementi ad L rovesciata con profili scatolari in acciaio S275 dello spessore di 2 mm a sezione variabile opportunamente sagomati e saldati in stabilimento. Ognuno degli 11 elementi sarà collegato a quello limitrofo attraverso 5 barre Ø20 lisce in acciaio alloggiare in fori predisposti e solidarizzate ai profili attraverso saldature a completa penetrazione.

Il collegamento alla passerella sottostante avverrà attraverso una “tasca” in acciaio per ogni elemento saldata con piatti di spessore 5 mm a sua volta saldata in stabilimento ad una contropiastra di aggancio alla trave in c.a. dello spessore di 10 mm. La contropiastra opportunamente forata accoglierà i tirafondi M10 classe 8.8. preventivamente annegati nel calcestruzzo.

Infine, la connessione tra i quattro blocchi di struttura avverrà a mezzo di appositi collegamenti bullonati M10 classe 8.8. mentre il vetro sarà fissato all'estradosso del traverso mediante incollaggio strutturale in opera.



Di seguito, si esplicitano i parametri che caratterizzano i livelli di sicurezza delle strutture previste e le verifiche prestazionali eseguite in fase di progettazione.



Gli interventi in oggetto, essendo situati nel comune di Santa Elisabetta (AG), presentano le seguenti coordinate geografiche: longitudine 13,5551 latitudine 37,4317. Da tali coordinate è possibile desumere, per lo stato limite di salvaguardia della vita, l'accelerazione orizzontale al suolo $ag=0.0696$ g, il fattore di amplificazione dello spettro $Fo=2,592$ ed il periodo di inizio dello spettro $T^*C=0,427$, i cui valori sono riportati in seno ai tabulati di calcolo.

Il suolo di fondazione, come prima riportato, è classificato di tipo "B", mentre il coefficiente di amplificazione topografica ST, essendo la zona classificabile con categoria T1, è pari a 1,00.

La struttura oggetto delle analisi è inquadrabile in classe d'uso III, per essa, dato il fatto che può essere utilizzata da affollamenti significativi, si fissa una vita nominale V_N di 50 anni. Definite la vita nominale e la classe d'uso della struttura si determina il periodo di riferimento dell'azione sismica:

$$VR=VN \cdot CU=50 \cdot 1,5=75 \text{ anni}$$

dove CU è il coefficiente d'uso il cui valore varia in base alla classe d'uso secondo quanto riportato nella tabella 2.4.II. del D.M. 17/01/2018.



La struttura in c.a. in esame presenta un “fattore di comportamento” dipendente dal materiale, dalla tipologia strutturale dell'edificio e dalle caratteristiche geometriche.

La struttura è definibile come “regolare in pianta” poiché la distribuzione di masse e rigidezze è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali. La forma in pianta è compatta, ossia il contorno di ogni orizzontamento è convesso.

Anche in elevazione le membrature mostrano un comportamento “regolare in altezza” in quanto tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza della costruzione, massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente dalla base alla sommità della costruzione.

La costruzione, nuova, è caratterizzata da regolarità sia in pianta sia in altezza ed è progettata considerando un comportamento non dissipativo (ND).

Parametri del fattore di comportamento in direzione x e y:

- Sistema costruttivo: calcestruzzo;
- Tipologia strutturale: strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste;
- Definizione rapporto α_u/α_1 : valore come da normativa;
- Riferimento normativo α_u/α_1 : strutture a telaio di un piano;
- Valore rapporto α_u/α_1 : 1.100;
- Valore base fattore = $q_0 = 3.000 \alpha_u/\alpha_1 = 3.300$;
- Fattore pareti $k_w = 1.000$;
- Fattore di regolarità $k_R = 1.0$;
- Fattore dissipativo $q_D = q_0 \cdot k_w \cdot K_R = 3.300$;
- Fattore non dissipativo $q_{ND} = 2/3 \cdot q_D = 1.500$.

Al fine di garantire la sicurezza delle costruzioni è stato utilizzato, rispettando le prescrizioni previste dalle normative in precedenza elencate, il metodo agli stati limite per verificare gli elementi strutturali e le sezioni sollecitate dalle azioni di modello. Nella fattispecie si è considerato:

STATO LIMITE ULTIMO: lo stato per cui si perviene a collasso strutturale, crolli, perdita di equilibrio e dissesti gravi, causati da deformazioni eccessive, dal raggiungimento della massima capacità di resistenza per parti della struttura o nel suo insieme, dalla rottura per instabilità degli elementi.



STATO LIMITE DI ESERCIZIO: lo stato per cui si giunge alla perdita di una particolare funzionalità, condizionando la prestazione dell'opera a causa di danneggiamenti locali, eccessive deformazioni che limitino l'efficienza della costruzione, di impianti o elementi non strutturali.

STATO LIMITE DI DANNO: previsto per costruzioni situate in zona classificata sismica.

Le verifiche delle strutture sono state eseguite tenendo conto delle seguenti azioni:

1. pesi propri e sovraccarichi permanenti corrispondenti ai materiali posti in opera;
2. sovraccarichi accidentali;
3. azione sismica;
4. azione del vento.

Per il particolare caso in esame, non è stata tenuta in considerazione la presenza del vento dato che per tale struttura è da ritenersi sicuramente preponderante l'azione sismica di progetto.

Si riportano i principali valori di carico dei solai utilizzati:

Sovraccarichi solai di piano:

- peso proprio travi;
- peso proprio solaio $2,50 \text{ kN/m}^2$
- permanenti non strutturali $2,00 \text{ kN/m}^2$
- sovraccarichi (Cat. C ambienti suscettibili di affollamento) $5,00 \text{ kN/m}^2$

6. Codice di calcolo utilizzato

Il codice di calcolo PRO_SAP, utilizzato per il calcolo della struttura in calcestruzzo armato, è un sistema integrato di procedure dedicate alla progettazione civile e strutturale prodotto e sviluppato dalla 2S.I. srl, con sede in via Garibaldi, 90 a Ferrara.

La procedura è sviluppata in ambiente Windows, ed è stata scritta utilizzando i linguaggi FORTRAN, C++ e BASIC.

PRO_SAP permette l'analisi elastica lineare di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà utilizzando un solutore ad elementi finiti.

Eventuali analisi sismiche possono essere effettuate sia in regime statico che dinamico tramite analisi modale, con o senza presa in conto di piani orizzontali rigidi. Il calcolo delle forze sismiche ed il successivo dimensionamento degli elementi resistenti può avvenire sia secondo il DM 16.01.96, sia secondo il Testo Unico "Norme Tecniche



delle Costruzioni” del 14.01.2008 che secondo le “Nuove Norme Tecniche delle Costruzioni” del 2018.

L'affidabilità del codice di calcolo è garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto, composta da un manuale d'uso contenente fra l'altro più esempi dettagliati di calcolo e da una vasta serie di test di validazione, sia su esempi classici di Scienza delle Costruzioni, sia su strutture particolarmente impegnative e reperibili nella bibliografia specializzata.

È possibile ottenere rappresentazioni grafiche di deformate e sollecitazioni della struttura, ed al termine dell'elaborazione viene valutata la qualità della soluzione, in base all'uguaglianza del lavoro esterno e dell'energia di deformazione.

PRO_SAP è dotato inoltre di moduli a corredo del solutore principale, che consentono il progetto e la verifica di membrature in acciaio, di travi, pilastri e piastre in calcestruzzo. Tali moduli leggono direttamente le sollecitazioni prodotte dal solutore e producono disegni e relazioni di calcolo secondo le ultime normative vigenti.

7. Modellazione strutturale e modello di calcolo

La modellazione strutturale è stata condotta coerentemente con la configurazione delle strutture in progetto e con le prescrizioni normative vigenti. Pertanto, per le strutture oggetto delle calcolazioni, è stata adottata una schematizzazione ad elementi finiti monodimensionali (beam) e bidimensionali (plate and shell). Si è utilizzato un modello agli elementi finiti applicato a sistemi tridimensionali e poiché il codice utilizzato consente l'analisi dinamica a sei gradi di libertà per nodo. L'interazione suolo struttura è stata schematizzata mediante vincoli esterni atti a impedire gli spostamenti di piano, affidando alla costante di Winkler del terreno l'ulteriore vincolo.

L'analisi dinamica è stata condotta secondo il metodo dell'analisi dinamica modale, rispettando una precisa combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica di seguito riportata.

Sono state individuate le seguenti azioni:

a) **azioni permanenti (G)**: pesi propri strutturali (pilastri, travi e solai), pesi di ciascuna sovrastruttura (massetti, tamponamenti, pavimenti, rivestimenti, controsoffitti, impianti e spinta terre);

b) **azioni variabili (Q)**: di lunga durata (carichi conseguenti alla destinazione degli ambienti) e di breve durata (neve e sisma).



La valutazione della sicurezza è stata condotta coerentemente con le prescrizioni normative, esaminando le azioni variabili a turno come dominanti affette dai relativi coefficienti (favorevoli o sfavorevoli alla sicurezza).

Nei confronti delle azioni sismiche per gli stati limite ultimo e di esercizio sono stati considerati rispettivamente lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e lo stato limite di danno (SLD). Eseguiti i calcoli delle sollecitazioni per le strutture sono state condotte singolarmente le conseguenti verifiche per tutti gli elementi che costituiscono le strutture ed in particolare sono state condotte in termini di resistenza per quanto attiene ai casi di carico contemplati per gli SLU, in termini di deformabilità e di fessurazione con riguardo agli SLE Frequenti, ed infine di resistenza e di fessurazione con riguardo agli SLE Permanenti e Rare ed in termini di spostamento strutturale (deformabilità) per quanto concerne lo stato limite di danno (SLD).

Per la determinazione dell'entità e della distribuzione spaziale e temporale dei sovraccarichi variabili si è fatto riferimento alla tabella del D.M. 17.01.2018 in funzione della destinazione d'uso.

8. Giudizio sull'accettabilità dei risultati

Nel presente paragrafo si relaziona in merito alla valutazione dell'affidabilità del codice di calcolo utilizzato e pertanto alla accettabilità dei risultati.

Come già richiamato nella relazione l'affidabilità dei codici di calcolo utilizzati è garantita dall'esistenza di una documentazione di supporto che confronta alcune strutture sia semplici che complesse con diversi codici e ne verifica l'attendibilità con i metodi classici della Scienza delle costruzioni.

Il modello di calcolo adottato è da ritenersi appropriato in quanto durante il processo di calcolo non sono state riscontrate labilità ed inoltre le reazioni vincolari equilibrano i carichi applicati.

L'analisi critica dei risultati e dei parametri di controllo nonché il confronto con calcolazioni di massima eseguite manualmente portano a confermare la validità dei risultati e pertanto l'attendibilità del codice utilizzato.

Per una migliore esplicitazione di quanto descritto e per l'indicazione delle armature previste si rimanda ai disegni esecutivi.

Palermo, ottobre 2021

Il Progettista Strutturale
Arch. Ing. Pietro Tabbuso