



REGIONE SICILIA
COMUNE DI SANT'ALESSIO SICULO
PROVINCIA DI MESSINA

OGGETTO:

"Lavori di Recupero ristrutturazione e/o costruzione nuovo edificio scolastico scuola A. Gussio".

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTISTA:

Ing. Faranna Claudio G.



ELABORATO C

TAV. 1

**RELAZIONE DEI CALCOLI
STATICI E TABULATI**

DATA: 16/05/2022

RUP :

Ing. Pietro Mifa



N°	Data	Descrizione della Revisione o Sostituisce

RELAZIONE DEI CALCOLI STATICI

INDICE

1- NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	2
2- CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	2
3- DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE	4
5- VERIFICHE DI SICUREZZA E CLASSE D'USO	5
6- ANALISI DELLE AZIONI E DEI CARICHI	6
7- CRITERI DI ANALISI E VERIFICHE	8
8- CARATTERISTICHE E VALIDAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO ADOPERATO	10
9 - CALCOLO DEL FATTORE DI STRUTTURA ADOPERATO	11
10- GIUDIZIO MOTIVATO SULLA ACCETTABILITA' DEI RISULTATI E CONCLUSIONI	11
TABULATI DELLE ELABORAZIONI SVOLTE.....	11

PREMESSE

Il sottoscritto in qualità di progettista dei lavori di "Recupero, ristrutturazione e costruzione nuovo edificio scolastico A. Gussio" in oggetto, in adempimento all'incarico ricevuto da parte dell'amministrazione comunale, con la presente illustra la stesura definitiva del progetto.

Si espongono, nella presente relazione specialistica, le analisi svolte sul comportamento statico e deformativo delle strutture oggetto di demolizione e ricostruzione con opere infrastrutturali connesse.

Si precisa che le strutture in esame ricadono in zona dichiarata sismica così come confermato dalla nuova classificazione sismica del territorio italiano di cui all' OPCM 3274 e s.m.i. e di cui al Decreto regionale Sicilia del 15.01.04, si è dunque tenuto conto, nel corso del progetto delle azioni e relative combinazioni di carico nonché prescrizioni sismiche contenute nella normativa tecnica attualmente vigente (DM 17.01.2018).

1- NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Nella verifica strutturale in oggetto si sono tenuti presenti, in particolare, le seguenti leggi e decreti:

- [1] Legge 5.11.1971 n. 1086 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”
- [2] Legge 2.2.1974 n.64 “Provvedimenti per le costruzioni per le zone sismiche”
- [3] D.M. 17 gennaio 2018 “Nuove Norme tecniche per le Costruzioni” e circolare applicativa.

2- CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Come specificamente sancito dal D.M. 17.01.2018 i materiali ed i prodotti per uso strutturale, utilizzati nelle opere strutturali devono rispondere ai requisiti indicati nel seguito.

I materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

- identificati univocamente a cura del produttore, secondo le procedure applicabili;
- qualificati sotto la responsabilità del produttore, secondo le procedure applicabili;
- accettati dal Direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

In particolare, per quanto attiene l'identificazione e la qualificazione, possono configurarsi i seguenti casi:

A) materiali e prodotti per uso strutturale per i quali sia disponibile una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE. Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se in possesso della Marcatura CE, prevista dalla Direttiva 89/106/CEE “Prodotti da costruzione” (CPD), recepita in Italia dal DPR 21/04/1993, n.246, così come modificato dal DPR 10/12/1997, n. 499;

B) materiali e prodotti per uso strutturale per i quali non sia disponibile una norma armonizzata ovvero la stessa ricada nel periodo di coesistenza, per i quali sia invece prevista la qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle presenti norme. E' fatto salvo il caso in cui, nel

periodo di coesistenza della specifica norma armonizzata, il produttore abbia volontariamente optato per la Marcatura CE;

C) materiali e prodotti per uso strutturale innovativi o comunque non citati nel presente capitolo e non ricadenti in una delle tipologie A) o B). In tali casi il produttore potrà pervenire alla Marcatura CE in conformità a Benestare Tecnici Europei (ETA), ovvero, in alternativa, dovrà essere in possesso di un Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Ad eccezione di quelli in possesso di Marcatura CE, possono essere impiegati materiali o prodotti conformi ad altre specifiche tecniche qualora dette specifiche garantiscano un livello di sicurezza equivalente a quello previsto nelle presenti norme. Tale equivalenza sarà accertata attraverso procedure all'uopo stabilite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sentito lo stesso Consiglio Superiore.

Per i materiali e prodotti recanti la Marcatura CE sarà onere del Direttore dei Lavori, in fase di accettazione, accertarsi del possesso della marcatura stessa e richiedere ad ogni fornitore, per ogni diverso prodotto, il Certificato ovvero Dichiarazione di Conformità alla parte armonizzata della specifica norma europea ovvero allo specifico Benestare Tecnico Europeo, per quanto applicabile. Sarà inoltre onere del Direttore dei Lavori verificare che tali prodotti rientrino nelle tipologie, classi e/o famiglie previsti nella detta documentazione.

Per i prodotti non recanti la Marcatura CE, il Direttore dei Lavori dovrà accertarsi del possesso e del regime di validità dell'Attestato di Qualificazione (caso B) o del Certificato di Idoneità Tecnica all'impiego (caso C) rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale del C.S.LL.PP.

Caratteristiche dei Nuovi Materiali per le nuove opere

Per quanto attiene alla realizzazione delle nuove strutture si prevede l'utilizzo di calcestruzzo a prestazione garantita appartenente alla classe di resistenza C28/35 ed acciaio ad aderenza migliorata tipo B450C con acciaio di carpenteria metallica del tipo S355. Si sono adottate pertanto,

per le relative verifiche, le seguenti tensioni di lavoro che dovranno essere rispettate durante l'esecuzione delle opere:

Calcestruzzo C28/35 **gc=1,6** **fcd= 164,60 kg/cm²;**

Acciaio B450C **ga=1,15** **f_{yd} = 3.913 kg/cm²;**

Acciaio S355 **f_{yd} = 3.550 kg/cm²;**

3- DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

Le strutture oggetto delle seguenti verifiche di sicurezza, riguardano un fabbricato in elevazione in carpenteria metallica e strutture di fondazione in c.a. con alcune pareti al piano terreno controterra debitamente giuntate dalle strutture in elevazione in carpenteria metallica ma incastrate sulla trave di fondazione comune ed un serie di opere di contenimento dei terrapieni da eseguirsi a mezzo di paratie di pali in c.a. e muri di sostegno sempre in c.a. ordinario. La scala di collegamento del fabbricato in carpenteria metallica verrà realizzata in apposito vano, con struttura autonoma ed indipendente in c.a. del tipo a setto con scalinate rampanti del tipo a mensola.

In particolare si prevederà la realizzazione, dopo la demolizione dell'esistente corpo di fabbrica in muratura:

- 1) Il fabbricato scolastico con struttura in elevazione in profilati aperti di carpenteria metallica e strutture di fondazione rappresentate da travi rettangolari in c.a. con alcune pareti al piano terreno controterra, debitamente giuntate dalle strutture in elevazione in carpenteria metallica, ma incastrate sulla trave di fondazione comune.
- 2) La scala di collegamento del fabbricato che, realizzata in apposito vano, avrà con struttura autonoma ed indipendente del tipo in c.a. a setti con le scalinate rampanti del tipo a mensola incastrate nel nucleo centrale che rappresenta il vano ascensore.
- 3) Una paratia di pali in c.a. ordinario, da gettare in opera, da realizzare a monte del fabbricato per il contenimento del terrapieno esistente e quello derivante a seguito dell'aggiuntivo abbassamento del piano di imposta del fabbricato.

- 4) Una serie di muri di contenimento in c.a. ordinario, gettati in opera, da realizzare per contenere i terrapieni derivanti dall'adeguamento del piano di imposta del fabbricato con i terreni adiacenti a diverse quote composti da percorsi orizzontali ed inclinati con apposite scalinate esterne.

5- VERIFICHE DI SICUREZZA E CLASSE D'USO

Per gli interventi previsti in progetto le normative vigenti NTC 2018 impongono l'effettuazione della verifica di sicurezza delle nuove costruzioni. Per la valutazione della sicurezza delle strutture nella fattispecie, conformemente a quanto previsto nel D.M. 17.01.2018 la verifica nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza è stata effettuata con il metodo dei coefficienti parziali di espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$
$$R_d = f_i \left[\frac{R_{k,i}}{\gamma_{m,i}} \cdot \frac{1}{\gamma_{R,d}}; \alpha_d \right]$$
$$E_d = f_2 \left[F_{i,d} \gamma_{F,i} \gamma_{E,d}; \alpha_d; \psi_i \right]$$

R_d = è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

E_d = è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto $F_{d,j} = F_{k,j} \gamma_{F,j}$ delle azioni o direttamente $E_{d,j} = E_{k,j} \gamma_{E,j}$;

I coefficienti parziali di sicurezza associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

Le verifiche di sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprimono controllando gli aspetti di funzionalità all'uso e stato tensionale/deformativo.

Relativamente al metodo di calcolo, come d'obbligo è stato adoperato il metodo degli Stati Limite. La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella tabella che segue e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Nello specifico la vita utile di progetto V_N è stata 50 anni.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

La classe d'uso della struttura, edifici scolastici è stata assunta la III.

6- ANALISI DELLE AZIONI E DEI CARICHI

Come premesso sono state adoperate per le verifiche strutturali le indicazioni e prescrizioni contenute nelle normative tecniche di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

I carichi previsti agenti sulle opere e le relative combinazioni sono quelle previste nelle NTC 2018, pertanto per i dettagli sulle azioni sismiche e relative combinazioni di carico si rimanda ai tabulati allegati appositamente predisposti mentre a seguire si illustrano le analisi dei carichi degli impalcati presenti. Analoghe considerazioni valgono per le opere di contenimento previste ove i relativi carichi ed azioni sismiche sono state determinate in funzione della localizzazione del sito e delle caratteristiche geotecniche dei terreni di sedime secondo le specifiche previste dalle NTC 2018 per i cui dettagli si rimanda ai tabulati allegati appositamente.

1) Impalcato di copertura piana:

Carichi Fissi e permanenti (pesi propri):

Copertura lamiera coibent. = 0,100 t/mq

inc. tramez. Carichi appesi = 0,050 t/mq

0,150 t/mqTotale Carichi Fissi e permanenti **G = 0,150 t/mq**Sovraccarico Acc. (manutenzione) **Q = 0,080 t/mq**

Totale = 0,230 t/mq**2) Impalcati di piano:**

Carichi Fissi e permanenti (pesi propri):

Solaio c.a. e acciaio = 0,250 t/mq

inc. tramez. pav. inton. massett = 0,050 t/mq

Inc.tamp. perimetrali = 0,100 t/mq

0,400 t/mqTotale Carichi Fissi e permanenti **G = 0,400 t/mq**Sovraccarico Acc. (scuola) **Q = 0,400 t/mq**

Totale = 0,800 t/mq**3) Impalcati rampanti scala:**

Carichi Fissi e permanenti (pesi propri):

mensole c.a. = 0,250 t/mq

inc. pav. inton. massett = 0,050 t/mq

Inc.tamp. perimetrali = 0,100 t/mq

0,400 t/mqTotale Carichi Fissi e permanenti **G = 0,400 t/mq**Sovraccarico Acc. (scale) **Q = 0,400 t/mq**

Totale = 0,800 t/mq

7- CRITERI DI ANALISI E VERIFICHE

Il calcolo di resistenza e stabilità delle diverse strutture si è svolto in base alle teorie e indicazioni esposte nei paragrafi precedenti ai quale espressamente si rinvia per ulteriori dettagli. Per l'esecuzione dell'analisi strutturale è stato utilizzato un codice di calcolo f.e.m. (ProSap "2si s.r.l."), regolarmente licenziato, che permette la risoluzione, anche in zona sismica, di generiche strutture, disposte nel piano o nello spazio, descritte appunto mediante un insieme di elementi finiti. Pertanto come specificamente richiesto dalle NTC 2018 i modelli analizzati sono tridimensionali e tali da rappresentare in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidezza e resistenza.

Di seguito viene descritta la procedura seguita dal programma di calcolo per l'esecuzione dell'analisi e della verifica degli elementi che compongono il sistema strutturale in esame secondo quanto stabilito dalla normativa vigente.

Pertanto con l'ausilio del predetto codice di calcolo agli elementi finiti (Pro_Sap 2SI s.r.l.) è stata eseguita la discretizzazione del sistema strutturale in un modello f.e.m. costituito nella generalità dei casi dai seguenti tipi di elementi:

- Elemento tipo TRUSS (elementi tipo biella)
- Elemento tipo BEAM (elemento finito tipo trave e ritto)
- Elemento tipo MEMBRANE (elementi tipo membrana)
- Elemento tipo PLATE (elementi tipo piastra-platea di base)
- Elemento tipo BOUNDARY (elemento tipo molla)
- Elemento tipo STIFFNESS (elemento matrice di rigidezza)

Le analisi di comportamento statico e deformativo sono state condotte portando in conto gli effetti derivanti dall'interazione struttura-fondazione, portando in conto la rigidezza torsionale delle varie travi e pilastri, portando in conto la relativa deformabilità assiale, ipotizzando inoltre che gli spostamenti dei nodi del telaio, provocati dai carichi su esso agenti, siano trascurabili rispetto alle sue dimensioni generali.

Per l'esecuzione dell'analisi strutturale, così come premesso, è stato utilizzato un codice di calcolo che nel caso di specie ha eseguito una analisi dinamica lineare (analisi modale con spettro di risposta) dell'intera struttura tridimensionale, prendendo in esame tutti i modi con massa partecipante significativa, opportunamente combinati. Alla luce dei suggerimenti dettati dalle normative tecniche in vigore sono stati considerati tutti i modi di vibrazione con massa partecipante superiore al 5% e comunque il totale dei modi presi in considerazione ha una massa partecipante superiore all' 85%. La combinazione di modi per calcolare le sollecitazioni e gli spostamenti complessivi è stata cautelativamente la combinazione quadratica completa CQC. Le azioni sismiche sono schematizzate attraverso l'introduzione differenti sistemi di forze orizzontali ed uno verticale agenti secondo le tre direzioni mutuamente ortogonali. Le forze sismiche alle diverse quote sono applicate in corrispondenza dei nodi del telaio tridimensionale. Le azioni sismiche applicate al modello tridimensionale scaturiscono da differenti parametri in funzione della collocazione del sito, delle caratteristiche del sottosuolo, della topografia dell'area per mezzo dello spettro di risposta dell'azione sismica, sia per gli stati limite ultimi che per quelli di esercizio.

Per tali dettagli si rimanda ai tabulati allegati in cui sono specificamente menzionati tali parametri ed i relativi valori di progetto desunti. Infine, i singoli elementi strutturali sono stati verificati in funzione delle sollecitazioni derivanti dall'involuppo delle combinazioni delle differenti condizioni di carico come definito dalla normativa sismica vigente i cui risultati positivi delle differenti verifiche sono riportati nei tabulati allegati.

Per quanto attiene alle opere di contenimento in muri ordinari in c.a. è stato adoperato un codice di calcolo regolarmente licenziato della AZTEC srl e specificatamente MAX 10 che esegue il calcolo e dimensionamento di muri di sostegno in c.a. come nel caso di specie seguendo le teorie di calcolo più accreditate di letteratura e le prescrizioni progettuali imposte per le opere geotecniche dalle normative attualmente vigenti per i cui dettagli si rimanda ai relativi tabulati.

Per quanto attiene alle opere di contenimento in paratie di pali in c.a. è stato adoperato un codice di calcolo regolarmente licenziato della AZTEC srl e specificatamente PAC 10 che esegue il calcolo e dimensionamento delle paratie di pali in c.a. come nel caso di specie seguendo le teorie di calcolo più accreditate di letteratura e le prescrizioni progettuali imposte per le opere geotecniche dalle normative attualmente vigenti per i cui dettagli si rimanda ai relativi tabulati.

8- CARATTERISTICHE E VALIDAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO ADOPERATO

Per l'esecuzione delle verifiche statiche in oggetto alla presente è stato adoperato un codice di calcolo Pro_Sap Professional prodotto dalla 2SI srl (Ferrara) regolarmente licenziato che esegue le verifiche di generiche strutture ed opere in c.a. e carpenteria metallica adoperando modelli agli elementi finiti come previsto dalla normativa vigente (NTC 2018) per i cui dettagli di calcolo e teorie adoperate si rimanda ai tabulati specifici allegati appositamente predisposti. In merito alla validazione del predetto codice si sottolinea che tale operazione è stata eseguita dai produttori della 2SI srl in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, con la collaborazione del Prof. Antonio Tralli ed con il Dipartimento Distart-Strade dell'Università di Bologna con la collaborazione del Prof. Giulio Dondi. Nel corso di tale procedure di validazione sono stati esaminati e validati molteplici casi specifici verificando la correttezza dei risultati con altri codici numerici presenti in commercio ed ove possibile con soluzioni ricavabili in forma chiusa. Tali test sono regolarmente depositati e resi pubblici su sito web: www.2si.it

Per quanto attiene ai codici di calcolo AZTEC srl adoperati nel presente progetto si precisa che sono sviluppati secondo le teorie di calcolo di letteratura e le prescrizioni imposte per le opere geotecniche dalle normative attualmente vigenti e le procedure di validazione sono state esaminate e validate con molteplici casi specifici verificando la correttezza dei risultati con altri codici numerici presenti in commercio ed ove possibile con soluzioni ricavabili in forma chiusa.

9 - CALCOLO DEL FATTORE DI STRUTTURA ADOPERATO

Circa il fattore di struttura adoperato per il fabbricato in carpenteria metallica, lo stesso è derivato da indicazioni normative in merito a caratteristiche di duttilità della struttura ovvero di eventuale regolarità geometrica e di carico della stessa. Per i dettagli si rimanda agli specifici tabulati ove sono riportate le indicazioni specifiche.

10- GIUDIZIO MOTIVATO SULLA ACCETTABILITA' DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Con i metodi di calcolo utilizzati, (N.T.C. 2018) e secondo le indicazioni contenute nelle normative di dettaglio specifiche, risultano verificate le differenti opere oggetto di verifica e nuova progettazione strutturale. In ciascuna sezione, di ciascun elemento strutturale le differenti tensioni di lavoro risultano compatibili con le rispettive resistenze ovvero con le capacità di stabilità possedute dalla struttura allo stato limite ultimo, inoltre le caratteristiche di deformabilità sono tali da soddisfare le verifiche agli stati limite di esercizio per le varie combinazioni.

TABULATI DELLE ELABORAZIONI SVOLTE

Si allegano i tabulati delle elaborazioni svolte con i codici di calcolo numerico. Si sottolinea che i tabulati sono preceduto da una descrizione e caratterizzazione del codice di calcolo, dalle differenti modellazioni eseguite, dai relativi carichi e combinazioni previste dalla normativa vigente (NTC 2018) ed infine vengono rappresentati i risultati e le relative condizioni di verifica degli elementi strutturali.