RELAZIONE TECNICA STRUTTURE

CONCORSO PER UN NOUVO
POLO SCOLASTICO ONNICOMPRENSIVO INNOVATIVO
MONDELLO, SICILIA

SECONDO GRADO

1 INTRODUZIONE

La struttura del nuovo polo didattico riflette ed esalta i caratteri essenziali del progetto architettonico: il sistema intelaiato fornisce la massima flessibilità in pianta nel rispetto delle moderne esigenze didattiche e dei possibili usi futuri dell'edificio.

Dall'esterno, l'edificio è definito a livello geometrico dall'accostamento di tre prismi, lunghi circa 125 metri e con una larghezza complessiva di 43. All'interno, alla divisione funzionale degli ambienti corrisponde un analogo schema strutturale. Le fasce laterali, dedicate alla didattica, presentano una struttura regolare in calcestruzzo armato, basata sul modulo di 6 metri per 8 definito dalle aule; la fascia centrale, dedicata agli ambienti comuni, presenta luci più ampie ed è caratterizzata da una leggera copertura lignea. La struttura è suddivisa in unità dinamicamente indipendenti mediante giunti che, disposti all'intersezione tra strutture di tipo diverso, forniscono la massima regolarità in pianta e in alzato, ricalcando peraltro la già citata suddivisione funzionale dell'edificio.

Più in generale, il progetto è il risultato di un approccio multidisciplinare alla progettazione in cui attraverso l'integrazione delle varie discipline ingegneristiche si sono massimizzati i requisiti del bando minimizzando al tempo stesso i costi e i tempi di costruzione.

2 SITO E GEOLOGIA

Come illustrato nella relazione geologica fornita tra i documenti del concorso di progettazione (allegato 01), il sito è sostanzialmente pianeggiante e gradualmente digradante verso nord in direzione della spiaggia e del golfo di Mondello.

Il terreno del sito è costituito da uno strato superficiale di natura detritica avente spessore massimo di mezzo metro che ricopre uno strato di rocce tenere di natura detritica (calcarenite), tipico della Piana di Palermo.

Ai fini della progettazione preliminare si sono considerati valori tipici della resistenza di tali rocce (solitamente compresi tra i 1200 e 11300 kN/m2).

Come chiarito nella relazione geologica, le future fasi progettuali dovranno essere basate su una campagna di indagini geologiche che consenta di definire le proprietà geomeccaniche delle rocce, anche in riferimento alla risposta sismica locale.

3 NORMATIVA E RIFERIMENTI PER LA PROGETTAZIONE

Normativa nazionale e internazionale

Decreto Ministero delle Infrastrutture 17 Gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. Nell'attesa della relativa circolare applicativa, ove necessario, si è fatto riferimento anche alle precedenti Norme Tecniche del 2008 con circolare applicativa - CC. MM. Infrastrutture e Trasporti del 2 febbraio 2009: Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme.

Inoltre sono state utilizzate come riferimento le seguenti norme europee ed internazionali:

UNI EN 206-1:2006 Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità

UNI EN 1990:2006 (Eurocodice 0) Criteri generali di progettazione strutturale

UNI EN 1991-1-1 Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici

UNI EN 1991-1-2 Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco

UNI EN 1991-1-3 Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve

UNI EN 1991-1-4 Azioni in generale - Azioni del vento

UNI EN 1991-1-5 Azioni in generale - Azioni termiche

UNI EN 1991-1-6 Azioni in generale - Azioni durante la costruzione

UNI EN 1991-1-7 Azioni in generale - Azioni eccezionali

UNI EN 1992-1-1 Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1992-1-2 Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Regole generali - Progettazione

UNI EN 1995-1-1 Progettazione delle strutture in legno – Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici

UNI EN 1995-1-2 Progettazione delle strutture in legno – Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

UNI EN 1997-1 Progettazione geotecnica –Regole generali

UNI EN 1997-2 Progettazione geotecnica – Indagini e prove nel sottosuolo

UNI EN 1998-1 Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

UNI EN 1998-5 Progettazione delle strutture per la resistenza sismica –Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici

UNI EN 1995-1-1: Eurocodice 5 -Progettazione delle strutture di legno – Regole generali - Regole generali e regole per gli edifici.

UNI EN 1998-1: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.

UNI CNR DT 206:2007 "Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno".

UNI EN 14080:2013: Strutture di legno – Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato - Requisiti.

UNI EN 14081:2011: Strutture di legno - Legno str utturale con sezione rettangolare classificato secondo la resistenza - Parte 1: Requisiti generali.

ACI 318 American Concrete Institute. 1999 [2002]. Building Code Requirements and Commentary for Structural Concrete.

NZS 3101: 2006 New Zealand Standard, Concrete Structures Standard.

4 LINEE GUIDA

Oltre alle normative italiane ed europee vigenti, alcuni ambiti della progettazione sono stati svolti secondo i principi di linee guida di valenza internazionale, elencate di seguito, sulle quali si ritiene che l'approfondimento del tema individuato venga affrontato in modo più specifico.

SCI P354 Design of Floors for Vibration: A New Approach.

CIRIA Report 139: Water-resisting basements – Guide – Safeguarding new and existing basements against water and dampness.

5 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURE

Fondazioni

Le fondazioni sono di tipo diretto con plinti in calcestruzzo armato collegati tra loro da travi cordolo a formare una maglia chiusa in grado di assorbire le azioni orizzontali dovute al sisma, garantendo anche al sistema fondazionale una maggiore rigidezza.

Il solaio al piano interrato - che ospita palestra e locali tecnici - è una platea contro terra.

Il dimensionamento proposto per le fondazioni consente di limitare le pressioni sul terreno e contenere eventuali cedimenti differenziali entro limiti accettabili.

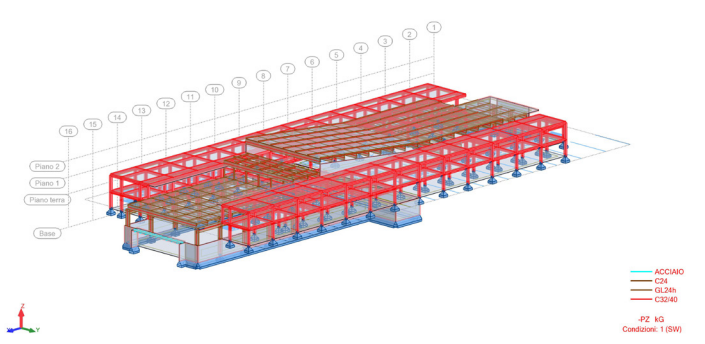
Strutture fuori terra

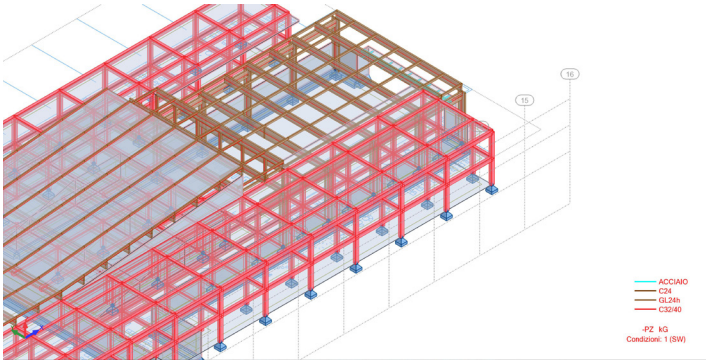
Le fasce laterali dell'edificio presentano sia a piano primo (livello +4.0m) che a secondo (livello +8.0m) un solaio a piastra in cemento nervato bidirezionale con elementi di alleggerimento in polistirene espanso (del tipo Cube o equivalente).

I pilastri tra piano terra e copertura nelle fasce laterali sono del tipo in cemento armato gettato in opera.

La copertura della fascia centrale, generalmente accessibile solo per manutenzione, è costituita da travi in legno lamellare collegate in sommità da pannelli in XLam. Tali pannelli, oltre a costituire l'estradosso continuo della copertura, irrigidiscono la copertura impedendo lo svergolamento delle travi. La copertura è incernierata alla sommità del telaio in calcestruzzo armato sul lato nord e semplicemente appoggiata sul lato sud, risolvendo in questo modo gli sforzi dovuti a deformazioni termiche e azioni orizzontali.

La struttura della palestra è costituita da portali in legno lamellare incernierati alla base e vincolati alla struttura in calcestruzzo armato a cui è affidata la stabilità.





6 CRITERI DI PROGETTAZIONE STRUTTURALE

La scelta di materiali e tecniche costruttive è il frutto di un'analisi multidisciplinare in cui sono stati considerati numerosi parametri allo scopo non solo di massimizzare l'efficienza strutturale dell'intervento ma anche la sua sostenibilità a livello ambientale ed economico.

Opzioni Materiali	Legno lamellare	c.a. in opera	c.a. prefab.
Efficienza strutturale	✓ ✓	✓	✓
Peso	✓ ✓	✗	✓
Rapidità esecuzione	✓ ✓	✗	✓
Costo	✓	✓ ✓	✓
Mercato locale	✗	✓ ✓	✓
Materiale riciclato	✓ ✓	✓	✓
Massa termica	✗	✓ ✓	✓
Acustica (Xlam)	✓	✓ ✓	✓

Tabella comparativa utilizzata per la scelta dei materiali

Partendo da quest'analisi, si è cercato di minimizzare per quanto possibile l'utilizzo di materiali vergini, preferendo in particolare elementi che fossero riutilizzabili in tutto o in parte alla fine del loro ciclo di vita.

Peraltro, l'utilizzo di materiali ecosostenibili è oggi richiesto dalle stazioni appaltanti in ottemperanza a direttive comunitarie e nazionali, e in particolare all'Allegato 2 del D.M. 11/01/2017 dove si definisco i Criteri Ambientali Minimi (CAM) per " l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione e di edifici pubblici".

Inoltre, laddove possibile, sono stati utilizzati materiali e tecniche costruttive diffusi nel mercato locale, riducendo significativamente l'impatto ambientale della costruzione.

Calcestruzzo. Il predetto decreto stabilisce che i calcestruzzi utilizzati devono essere prodotti con un contenuto minimo di materiale riciclato di almeno il 5% sul peso del prodotto.

Leganti: si propongono calcestruzzi eco sostenibili che fanno uso come legante della loppa di altoforno conosciuta anche con il termine anglosassone Ground Granulated Blast furnace Slag (GGBS). Il GGBS è un rifiuto delle industrie siderurgiche e viene prodotto in forma granulare e successivamente ridotto a polvere. Nella preparazione del calcestruzzo il GGBS sostituisce una porzione notevole del cemento Portland generalmente in una percentuale compresa tra il 50% e il 70%. Il calcestruzzo ottenuto con l'aggiunta di GGBS è anche detto calcestruzzo "verde" in quanto non solo viene riciclato un rifiuto ma anche viene sostituita una parte significativa del cemento Portland che si ottiene con una lavorazione che impiega molta energia. La produzione del GBBS richiede all'incirca 1/5 dell'energia necessaria a produrre la medesima quantità in peso di cemento. Un'altra caratteristica di eco-sostenibilità di questo tipo di calcestruzzo è che il processo di maturazione è più lento essendo accompagnato da minore emissione di calore e di anidride carbonica rispetto ad un calcestruzzo tradizionale. Dal punto di vista meccanico si ottengono le resistenze richieste con una opportuna miscela di cemento e GBBS e si riducono le deformazioni da ritiro state la minore emissione di calore con conseguente riduzione del numero di giunti di dilatazione e degli associati oneri di manutenzione. La durabilità aumenta considerevolmente, oltre che a causa della maturazione più lenta, anche per la minore permeabilità e per la maggiore stabilità chimica . Per il confezionamento del calcestruzzo si propone quindi l'aggiunta al calcestruzzo tradizionale del GBBS in sostituzione del cemento Portland nella percentuale del 50%.

Aggregati: per il magrone di fondazione si propone di utilizzare aggregati riciclati provenienti dalla demolizione di altre strutture. Tale pratica, ormai largamente diffusa, è espressamente prevista dal capitolo 11 delle NTC 2018. L'esatto contenuto di aggregati riciclati andrà definito nei successivi stadi di progettazione sulla base delle proprietà meccanico-fisiche e del profilo stratigrafico dei terreni risultanti dalla relazione geotecnica.

Tab. 11.2.III

Origine del materiale da riciclo	Classe del calcestruzzo	percentuale di impiego
demolizioni di edifici (macerie)	= C 8/10	fino al 100%
demolizioni di solo calcestruzzo e c.a. (frammenti di calcestruzzo ≥ 90%, UNI EN 933-11:2009)	≤ C20/25	fino al 60%
	≤ C30/37	≤ 30%
	≤ C45/55	≤ 20%
Riutilizzo di calcestruzzo interno negli stabilimenti di prefabbricazione qualificati - da qualsiasi classe	Classe minore del calcestruzzo di origine	fino al 15%
	Stessa classe del calcestruzzo di origine	fino al 10%

7 TECNICHE COSTRUTTIVE

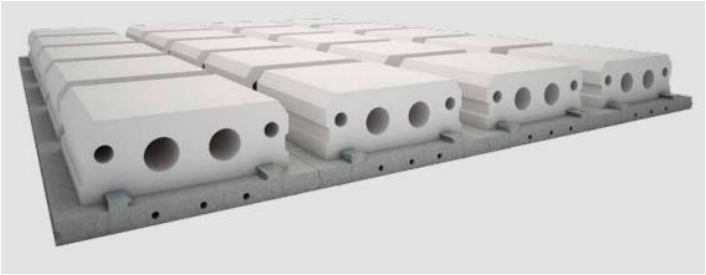
Tale analisi è stata il presupposto necessario alla scelta dei materiali e delle tecniche costruttive più opportune per le diverse parti del complesso.

opzioni considerate per i vari locali

Edificio	Legno	c.a. in opera	c.a. prefab.
Laboratori	✗	✓ ✓	✓
Uffici	✓	✓ ✓	✓
Aule	✗	✓ ✓	✓ ✓
Auditorium (copertura)	✓ ✓	✓	✓
Atrio (copertura)	✓ ✓	✗	✗
Palestra (copertura)	✓ ✓	✗	✗

Solai fuori terra: le fasce esterne dell'edificio (aule, uffici e laboratori) presentano una struttura intelaiata in calcestruzzo armato con elementi verticali (pilastri e setti) gettati in opera e solai a soletta nervata per gli orizzontamenti. Più nello specifico, si prevede di utilizzare solette parzialmente prefabbricate con blocchi di polistirene espanso aventi funzione di alleggerimento e getto integrativo di calcestruzzo. Il sistema proposto per questo specifico progetto è il "Cube" prodotto dalla Sicilferro. Tale scelta, sebbene comporti maggiori spessori del solaio, è legata ai seguenti tre fattori. Leggerezza e Miglioramento della riposta simica. Un solaio alleggerito consente una riduzione delle masse di piano, con conseguente diminuzione delle azioni di taglio e momento flettente sulle strutture verticali. Inoltre la sua armatura doppia consente di ripartire i carichi, anche elevati, in modo uniforme sulle travi o sui muri di bordo, senza appesantire eccessivamente una orditura preferenziale.

Schema tridimensionale del solaio "Cube"



Rapidità di costruzione. La lastra prefabbricata costituisce il fondo del cassero per il successivo getto di completamento; pertanto sono necessari solo supporti puntuali (puntellatura rompitratta) durante la costruzione.

Rigidezza. Questo sistema costruttivo presenta, a seconda del proprio spessore, una rigidezza fuori piano tale da consentire il funzionamento ininterrotto di apparecchiature sensibili alle vibrazioni come quelle di cui saranno dotati alcuni dei laboratori.

Puntellatura in fase di costruzione

Solai aerati piano terra: il solaio al piano terra è realizzato con casseri a perdere costituiti da cupolette in plastica riciclata.

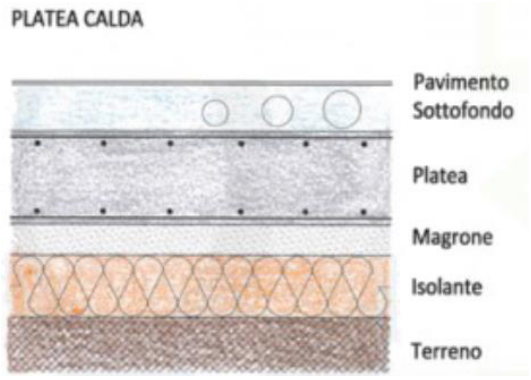
Solai aerati con casseri a perdere

Integrazione impianti e Comfort: sotto le cupolette si crea un vano libero che consente la circolazione d'aria in tutte le direzioni e il passaggio delle tubazioni degli impianti, le condotte e i cavi, massimizzando al contempo il comfort.

Ridotto volume di scavo: questo sistema consente di supportare il piano di calpestio sullo strato di calcarenite sottostante minimizzando la necessità di scavi con conseguente risparmio economico.

Rapidità di costruzione: le cupolette (comunemente conosciute con i nomi commerciali di dette cupolex o iglù) possono essere disposte rapidamente sul sottofondo in calcestruzzo e dopo riutilizzate come casseri a perdere.

Platea calda piano interrato: considerata la destinazione d'uso degli ambienti al piano interrato (palestra e locali tecnici), unita alla difficoltà di realizzare una efficace ventilazione passante e la complessità e il costo di una maggiore profondità scavo, si è optato per una platea contro terra.



Copertura lignea fascia centrale: La copertura della fascia centrale dell'edificio (avente luci comprese tra 15 e 23 metri) è sostenuta da travi in legno lamellare aventi sezioni e interasse variabili a seconda della luce

8 SISTEMI DI STABILITA;

La stabilità di ciascuno dei blocchi in cui l'edificio è suddiviso tramite giunti è affidata a una struttura di tipo misto con telaio a trasmissione di momento – progettato secondo il criterio della gerarchia delle resistenze – e pareti non accoppiate.

Le pareti forniscono stabilità lungo il lato corto dei blocchi mentre lungo il lungo il lato lungo si utilizza un telaio a trasmissione di momento, progettato secondo il criterio della gerarchia delle resistenze.

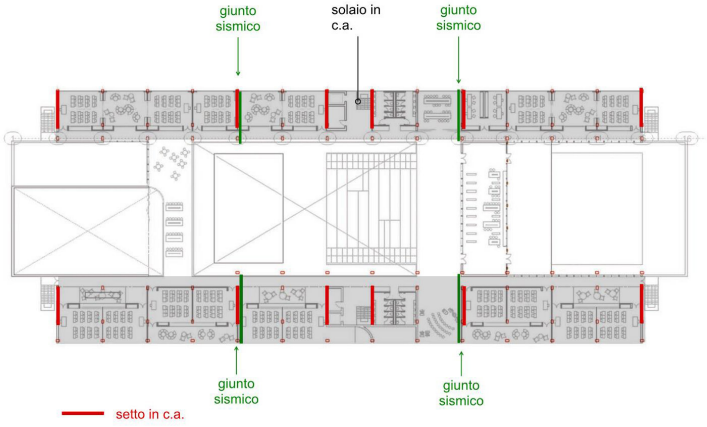
In generale, si è mantenuto un alto livello di regolarità in pianta e in alzato attraverso un'opportunità distribuzione dei giunti tecnici. Tali giunti, necessari peraltro anche ai fini del getto del calcestruzzo limitando il ritiro igrometrico del calcestruzzo, sono disposti con un interasse di circa 35 metri.

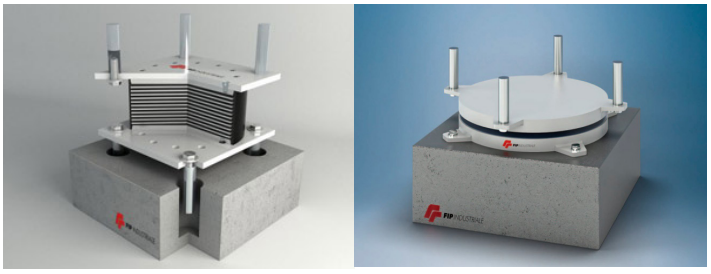
I giunti sono realizzati senza raddoppiare la struttura portante ma creando delle selle Gerber a sbalzo dai pilastri disposti lungo i giunti.

Sulle selle vengono realizzati appoggi con dissipatori multidirezionali di tipo misto elastomerico e pendolo doppio, garantendo in tal modo un ideale ricentramento del sistema al termine del sisma non richiedendo alcuna manutenzione straordinaria. Tale sistema consente l'abbattimento delle forze sismiche a cui deve resistere la struttura con conseguente risparmio di materiale.

Le azioni orizzontali, da azione del vento e del sisma, sono trasferite attraverso azione di diaframma orizzontale agli elementi verticali e da questi in fondazione e infine al terreno. I frangisole verticali in facciata sono elementi prefabbricati in calcestruzzo che, collegati al telaio in calcestruzzo armato ne aumentano la rigidezza riducendo gli spostamenti di interpiano, calcolati allo stato limite di operatività, riducendo il rischio di danneggiamento degli elementi non strutturali in caso di terremoti di lieve entità e di conseguenza contribuendo a mantenere la scuola in operatività in queste circostanze.

Sella Gerber a sbalzo dal pilastro in corrispondenza dei giunti





Appoggi con isolatori elastomerici (sinistra) e a pendolo doppio (destra)

9 STIMA SOMMARIA DEI COSTI

		Quantità	Costo unitario	Costo
SCAVI	M3	10'648.00	15.00 €	159'720.00 €
DEMOLIZIONI	M3	-		- €
MAGRONE	M2	3'500.00	30.00 €	105'000.00 €
FONDAZIONI CA	M3	850.00	250.00 €	212'500.00 €
STRUTTURE IN ELEVATO CA	M3	1'050.00	350.00 €	367'500.00 €
TRAVI E PILASTRI IN LAMELLARE	M3	300.00	2'000.00 €	600'000.00 €
SOLAI PREFABBRICATI IN CA	M2	4'354.00	150.00 €	653'100.00 €
VESPAI CUPOLEX	M2	5'122.00	65.00 €	332'930.00 €
				2'430'750.00 €

10 INDIRIZZI PER LE FUTURE FASI PROGETTUALI

Relazione geologica e geotecnica di dettaglio

Un'analisi geologica dettagliata basata su un'opportuna campagna di indagini dovrà fornire un quadro completo della stratigrafia del terreno nelle varie parti del lotto, anche in relazione al livello della falda freatica.
La campagna di indagini dovrà prevedere anche prove dinamiche di tipo MASW finalizzate alla caratterizzazione della risposta sismica locale.

Relazione di calcolo strutturale di dettaglio

Una volta definite le esatte specifiche del progetto edili e sulla base delle relazioni geologiche e geotecniche, si procederà ad un affinamento del calcolo strutturale.