

STUDIO DI INGEGNERIA DELLE STRUTTURE

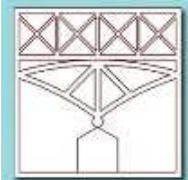
di Andrea Cecconi, Sandro Pustorino, Fabrizio Ristori & Associati

EDIFICIO SCOLASTICO “R. FUCINI” PONSACCO

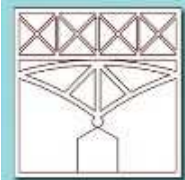
**ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA e STATICA
AI SENSI DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
PROGETTO DEL NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO**



Ing. Andrea CECCONI - Ing. Paolo FORMICHI
Ponsacco 10.12.2018



1. Premessa
2. L'edificio oggetto di studio
3. Indagini condotte in situ sull'edificio esistente – criticità
4. Analisi strutturale dello stato di fatto – criticità
5. Analisi costi-benefici interventi di consolidamento dell'esistente / realizzazione di un nuovo edificio
6. Progetto del nuovo edificio



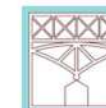
STUDIO DI INGEGNERIA DELLE STRUTTURE

di Andrea Cecconi, Sandro Pustorino, Fabrizio Ristori & Associati

Con convenzione in data **12 giugno 2017** il Comune di Ponsacco ha conferito allo Studio di Ingegneria delle Strutture (SIS) l'incarico per l'esecuzione di analisi finalizzate alle **prime valutazioni della vulnerabilità**, così da poter individuare le maggiori criticità di carattere strutturale, da affrontare prima di procedere ad ogni altro eventuale intervento di adeguamento architettonico-impiantistico-funzionale dell'edificio.

La relazione sulle indagini e sulle analisi condotte, datata **28 Agosto 2017**, è stata consegnata al Comune di Ponsacco in data **6 Settembre 2017**.

Premessa



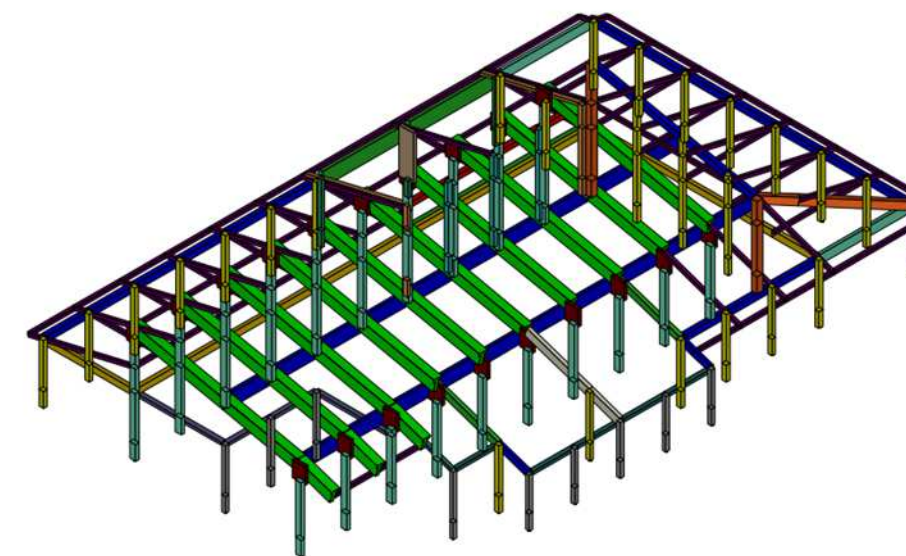
STUDIO DI INGEGNERIA DELLE STRUTTURE

di Andrea Cecconi, Sandro Pustorino, Fabrizio Ristori & Associati

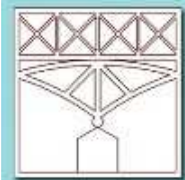
Lavori di "Ampliamento e adeguamento funzionale e tecnologico della Scuola Elementare Fucini"

INDAGINI ESPLORATIVE E VALUTAZIONI PRELIMINARI SULLA SICUREZZA DELL'EDIFICIO SCOLASTICO "R. FUCINI", PROPEDEUTICHE AD UNA EVENTUALE SUCCESSIVA ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA

Livorno, 28 Agosto 2107



Via Borra, 35 • 57123 Livorno (Italy) • Tel. +39.0586.834339 Fax +39.0586.834010
Website: www.sis-ingegneria.com • E mail: info@sis-ingegneria.com • P.IVA 01284100490

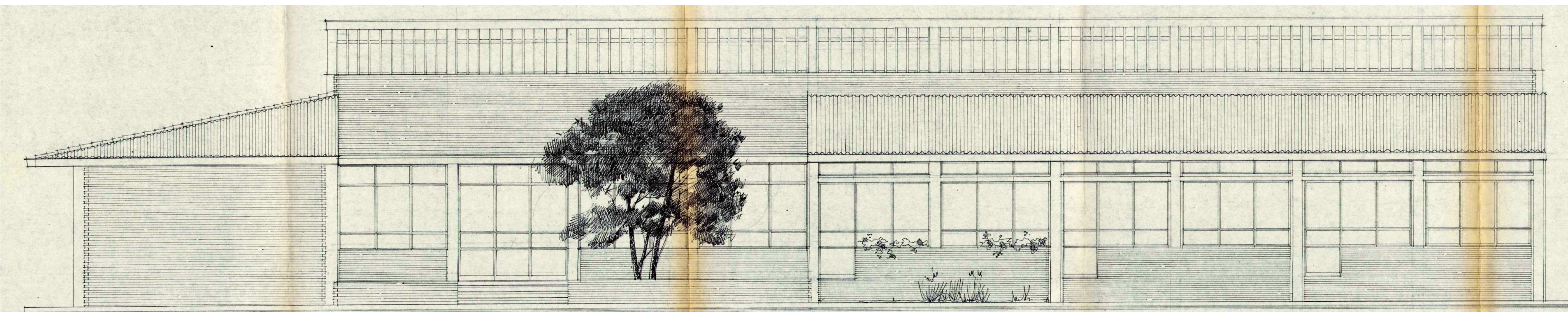
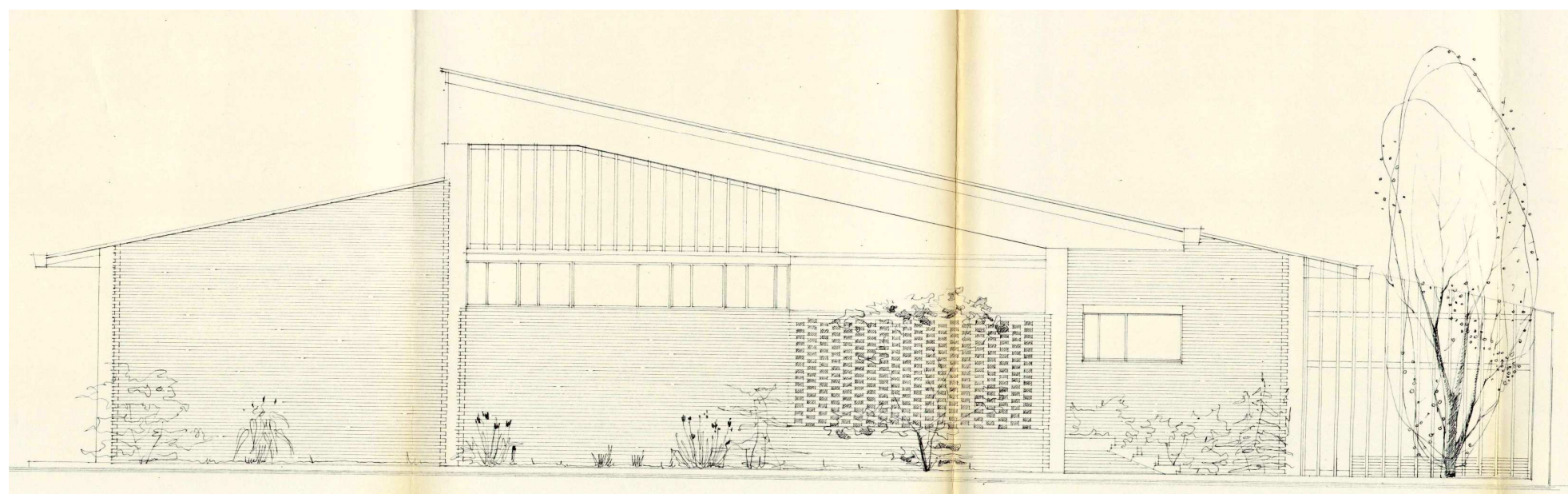


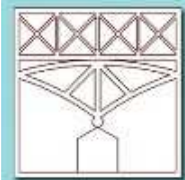
STUDIO DI INGEGNERIA DELLE STRUTTURE

di Andrea Cecconi, Sandro Pustorino, Fabrizio Ristori & Associati

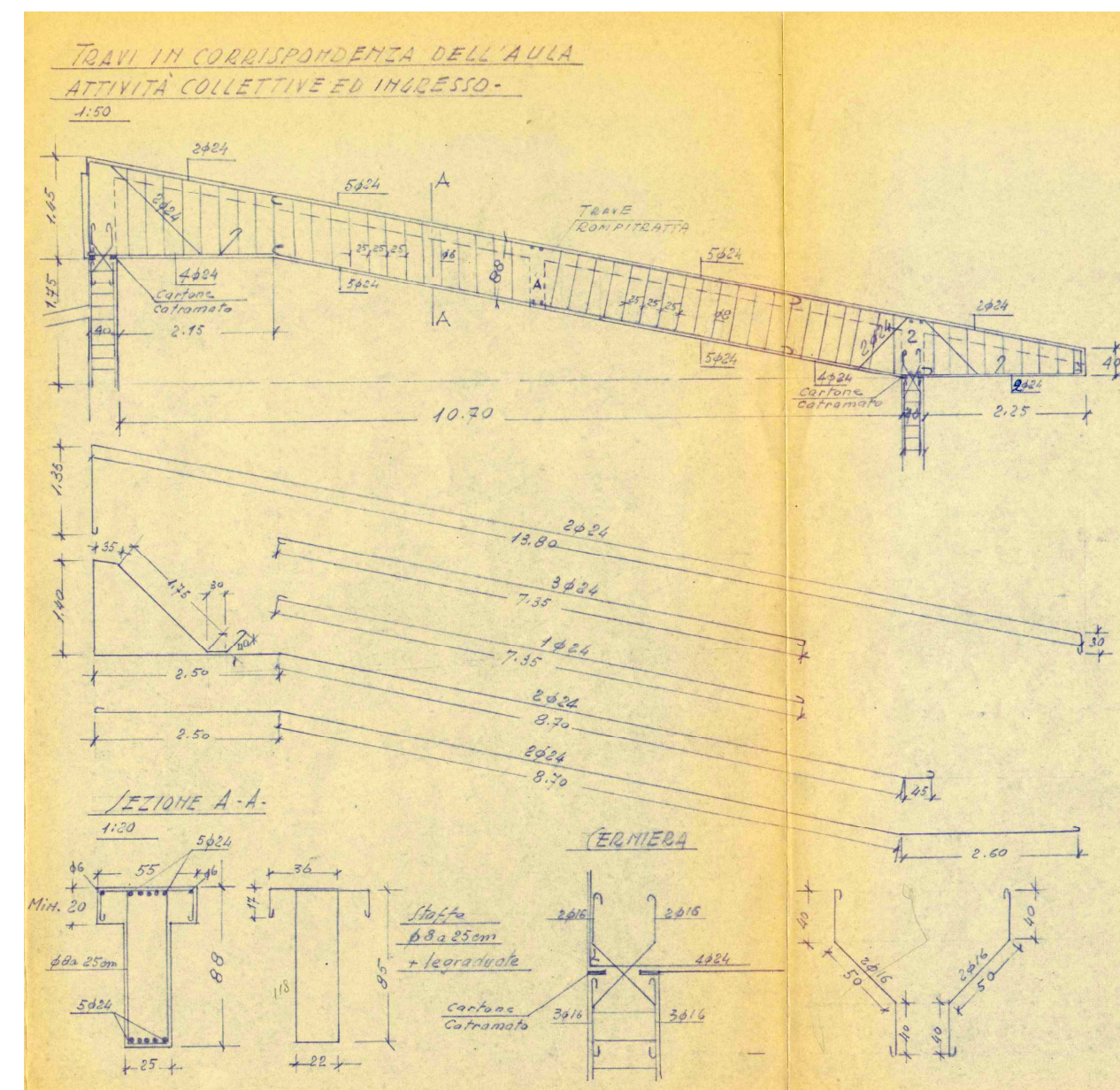
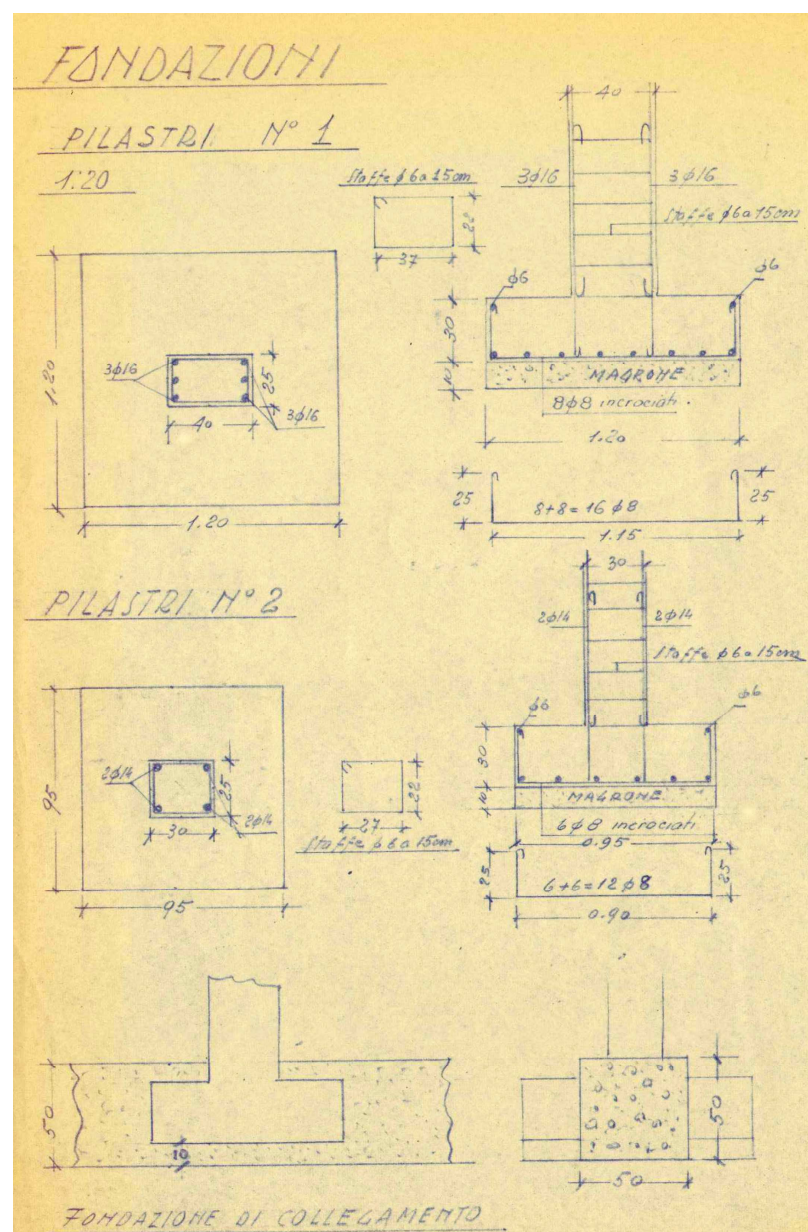
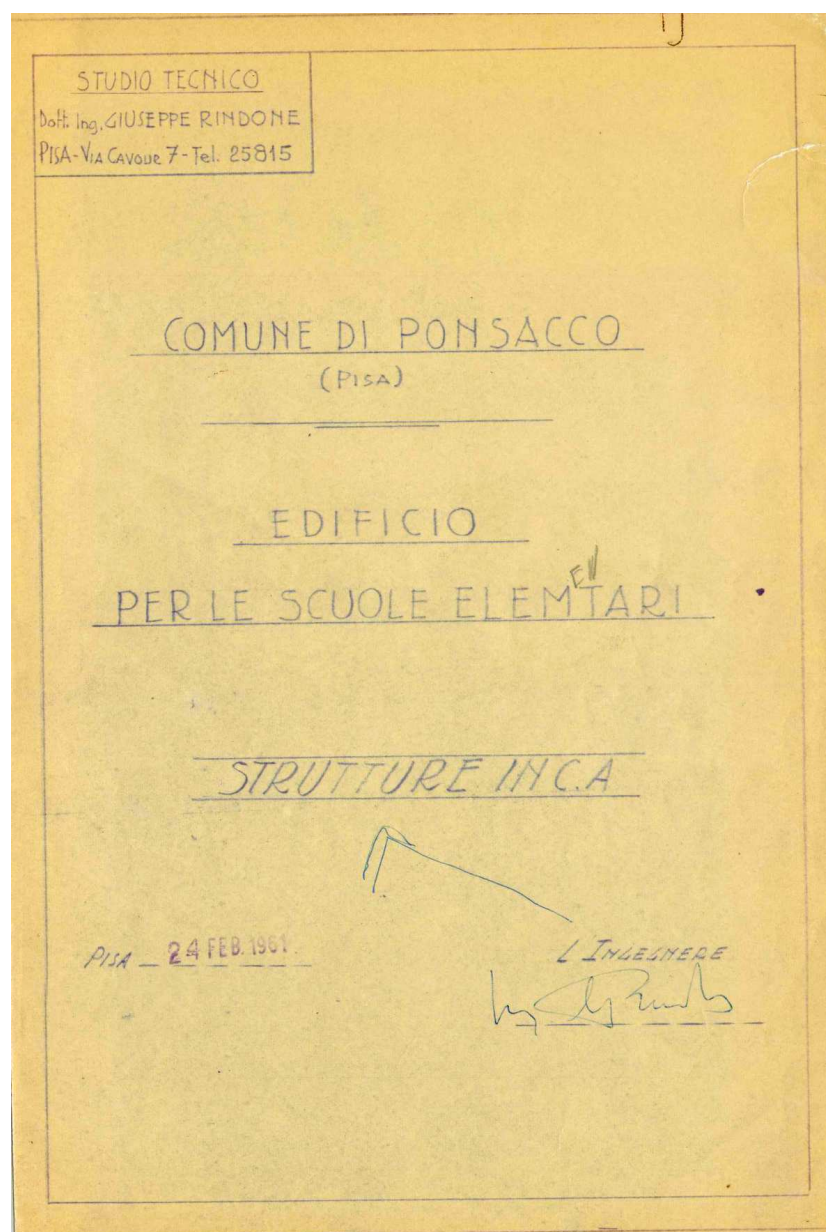
L'edificio oggetto di studio

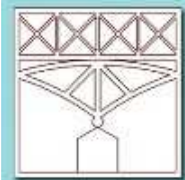
Progetto architettonico: Arch. Renzo Bellucci
Progetto strutturale: Ing. Giuseppe Rindone





Progetto architettonico: Arch. Renzo Bellucci
Progetto strutturale: Ing. Giuseppe Rindone





STUDIO DI INGEGNERIA DELLE STRUTTURE

di Andrea Cecconi, Sandro Pustorino, Fabrizio Ristori & Associati

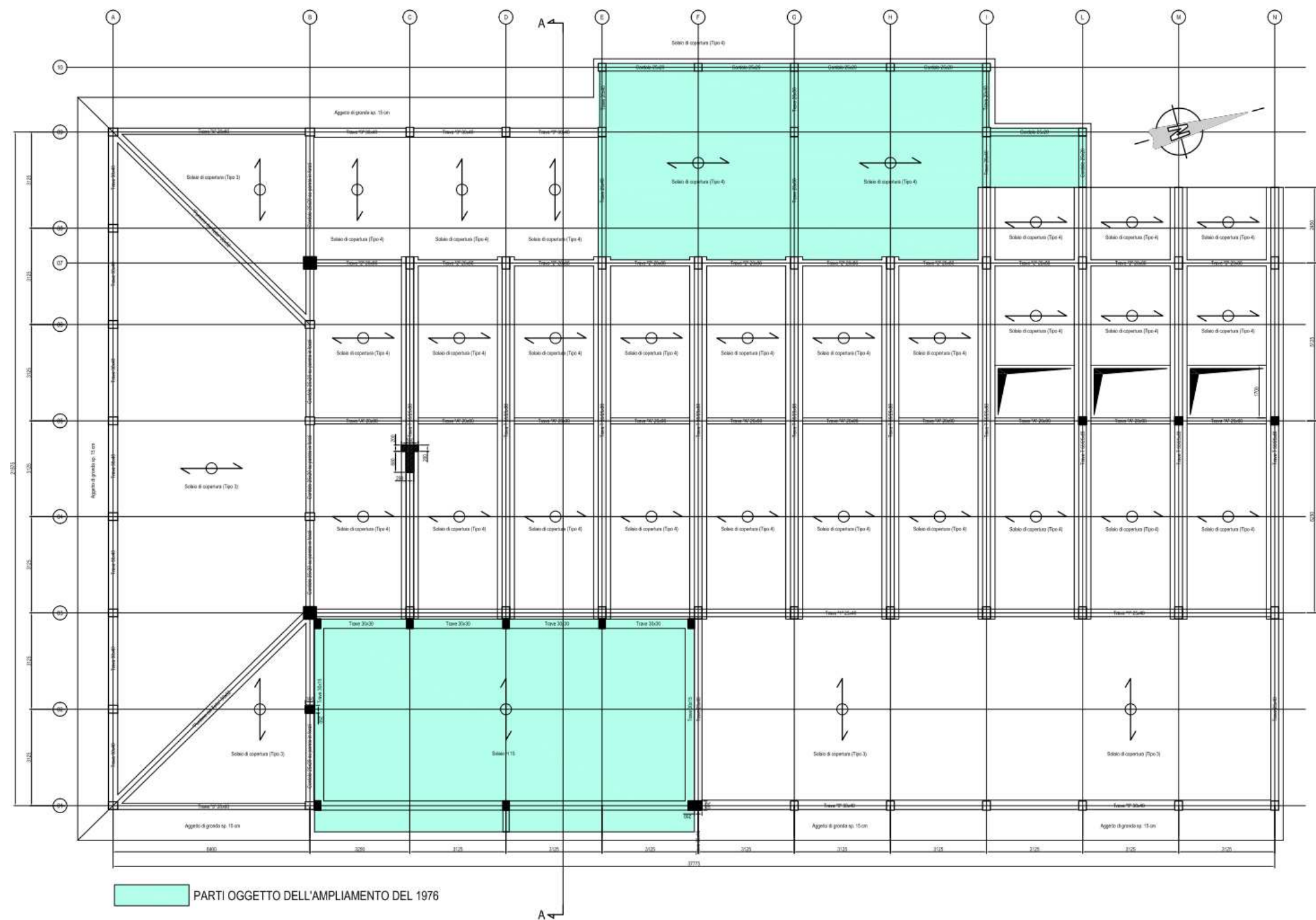
L'edificio oggetto di studio

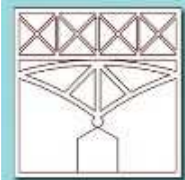
Ampliamento - 1976

Progetto architettonico:
Arch. Renzo Bellucci

Progetto strutturale:
Ing. Scanderberg Minisci

CARPENTERIA DELLA COPERTURA



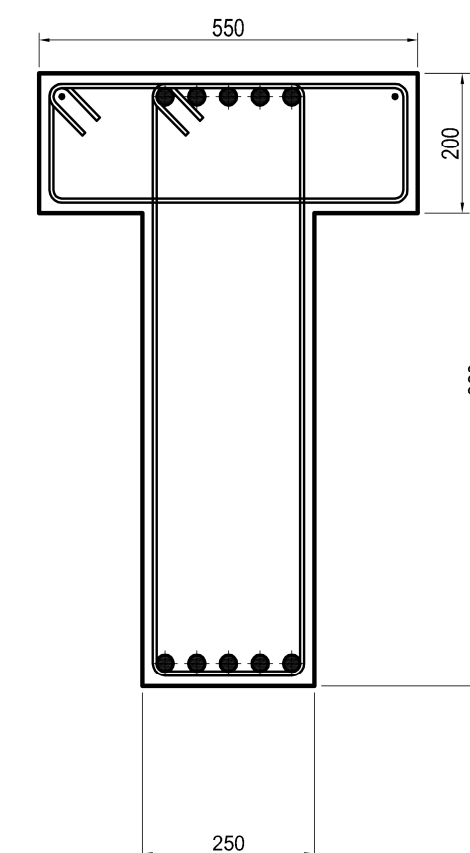
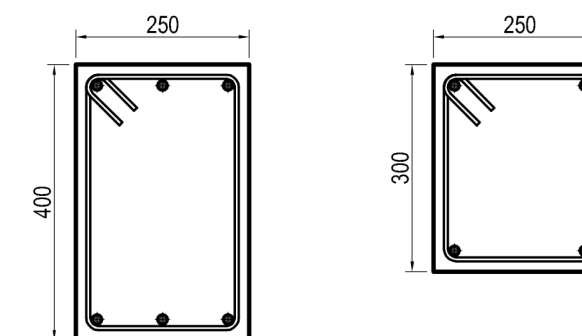


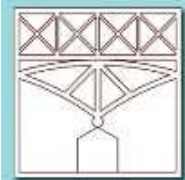
Pilastri:

- **25x30 cm** per le stilate perimetrali;
- **25x40 cm** per le campate interne, a sostegno delle travi di copertura dell'atrio centrale (Sala Attività Collettive);
- **40x40 cm** per due pilastri posti alle estremità sud dell'atrio centrale;
- **20x30 cm** e **25x25 cm** per le parti dell'ampliamento del 1976.

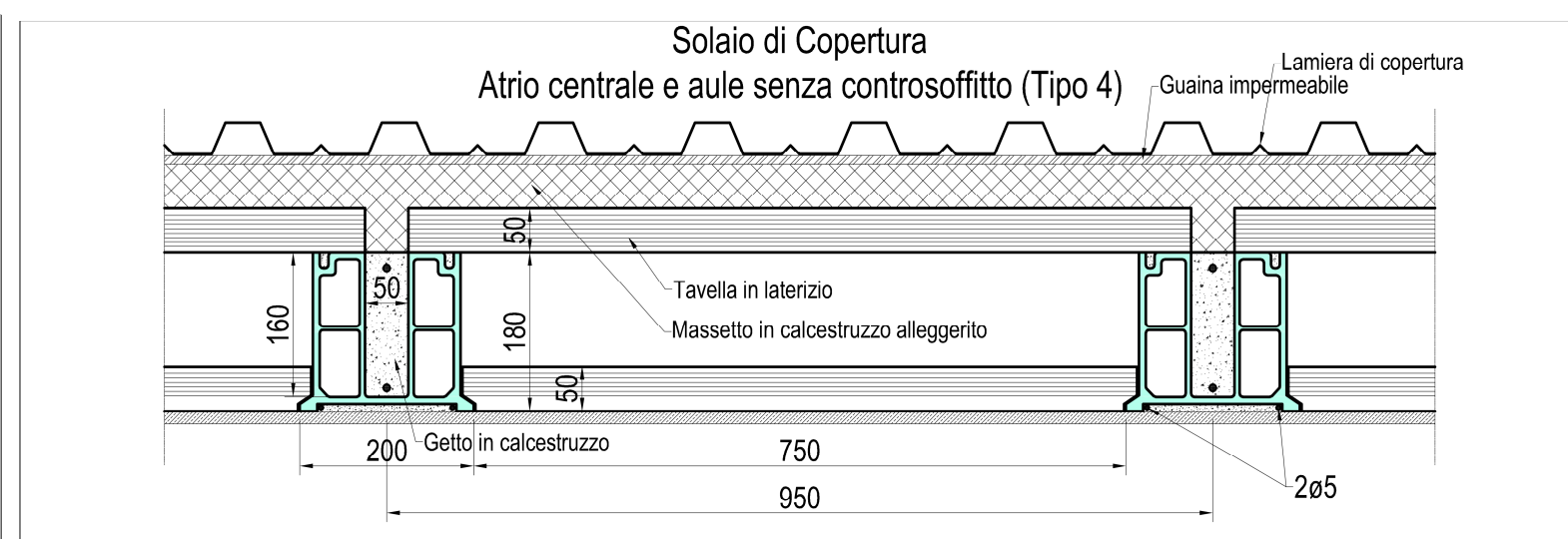
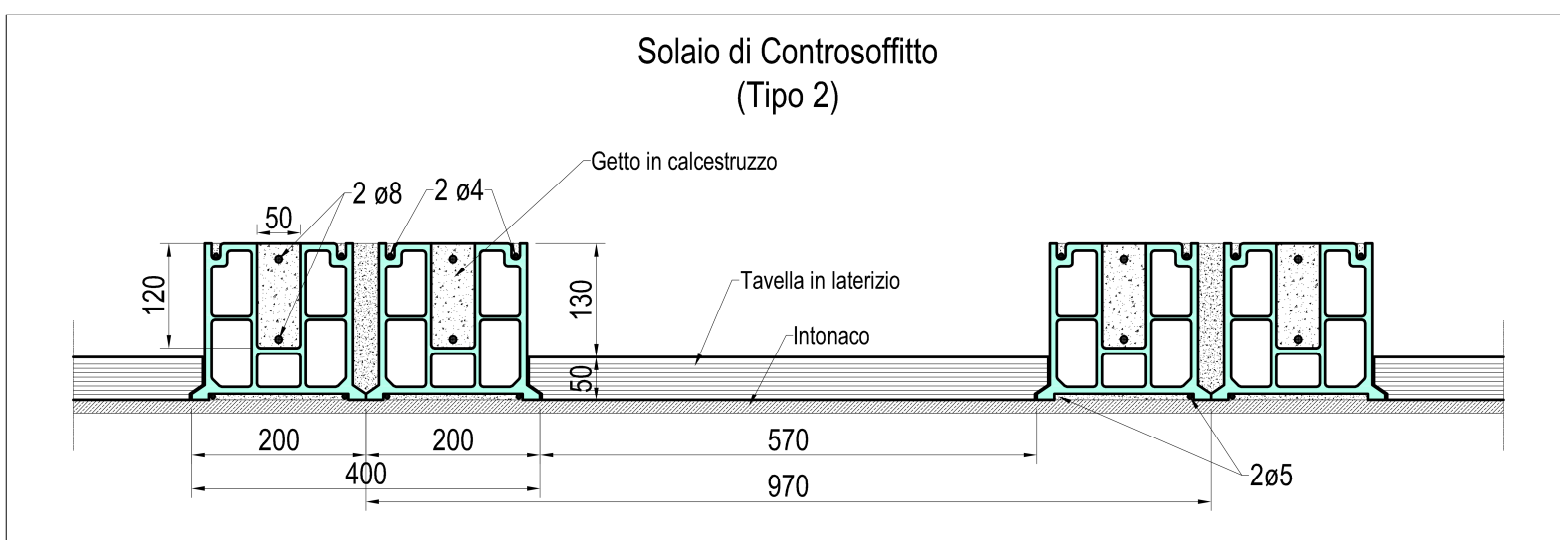
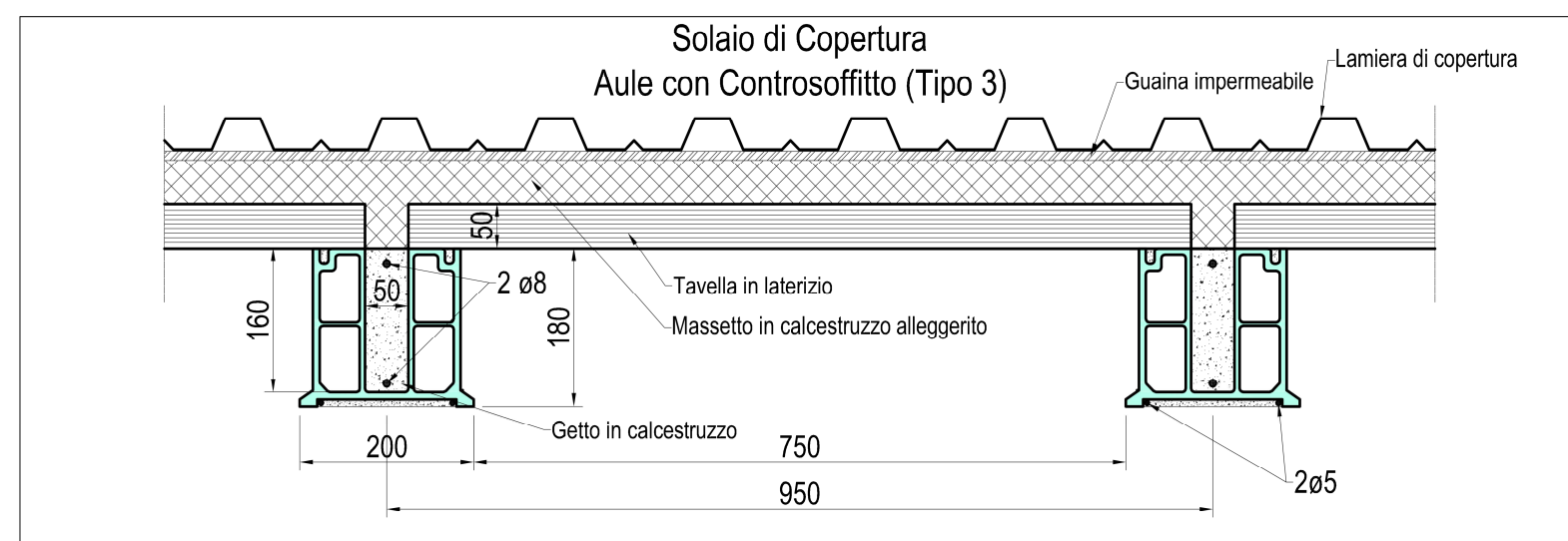
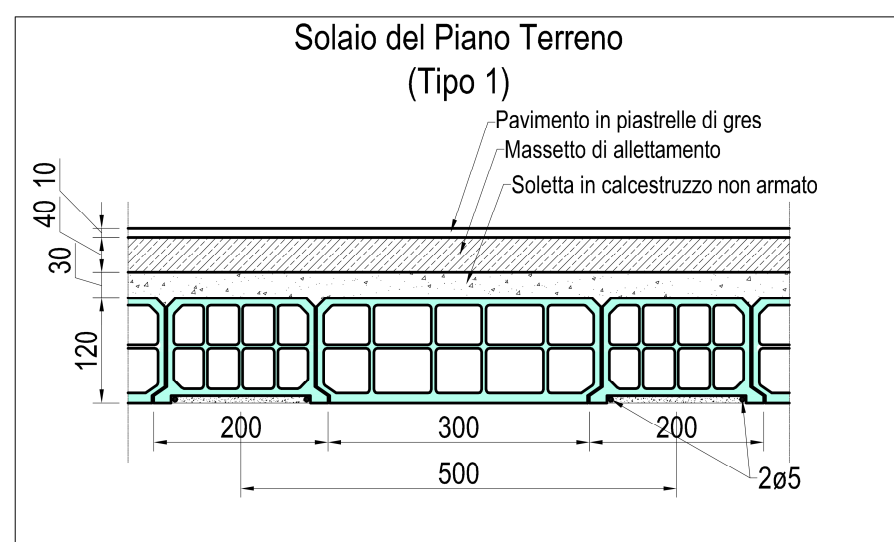
Travi:

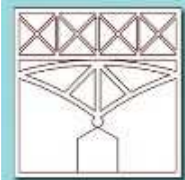
- Travi a T di copertura dell'atrio centrale, **altezza totale pari a 88 cm**, larghezza della piattabanda superiore **55 cm**, **spessore dell'anima 25 cm** e spessore della **piattabanda superiore 20 cm**, su luce totale di circa **11.50 m**;
- Travi **rettangolari 20x90 cm** di collegamento delle travi principali a T di cui al punto precedente;
- Travi **rettangolari 30x40 cm** e **20x60 cm** ordite sul perimetro del fabbricato.





Solai





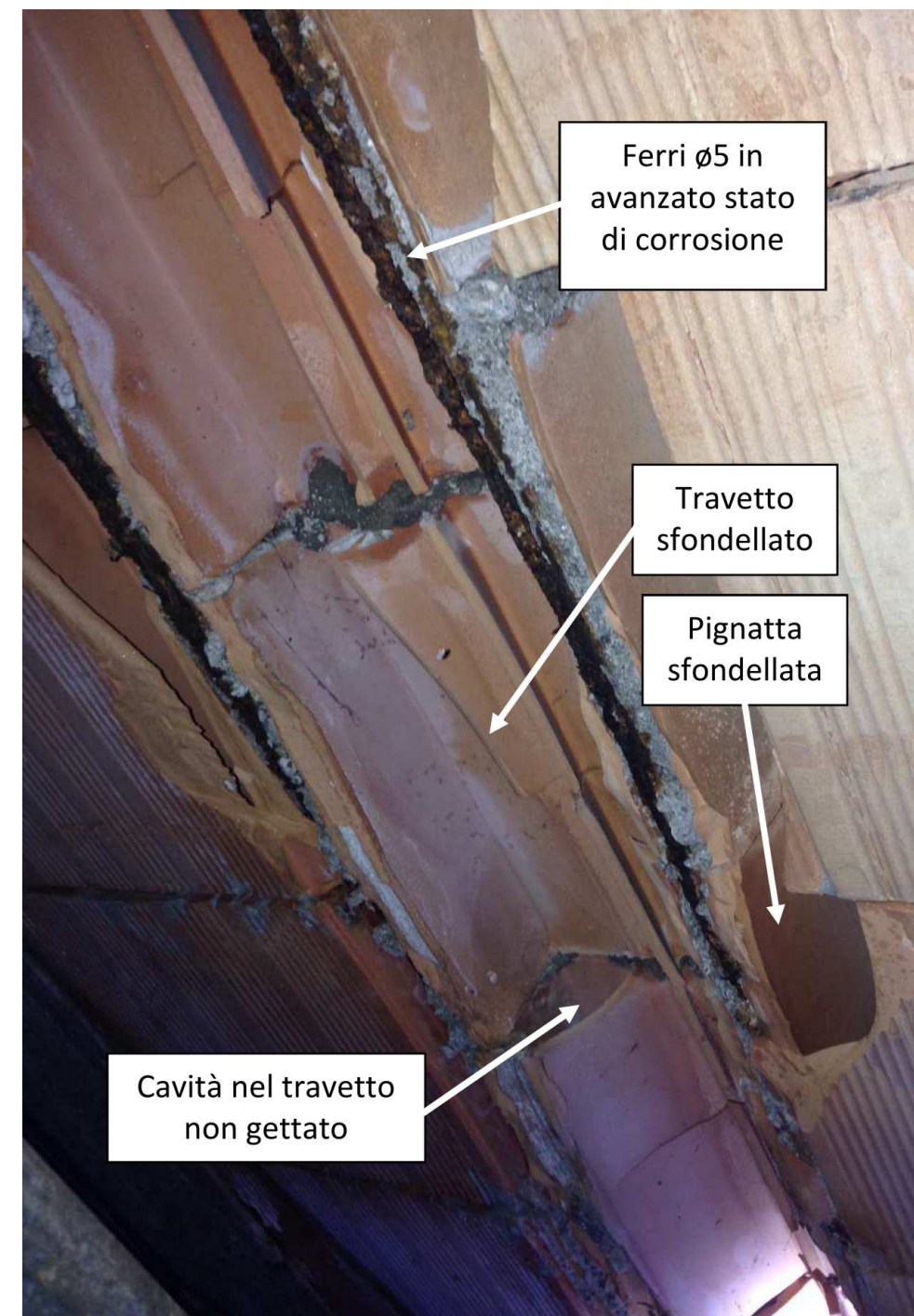
Solaio PT

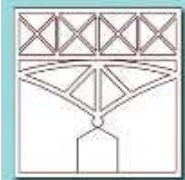


Solaio Copertura + Controsoffitto



Solaio PT

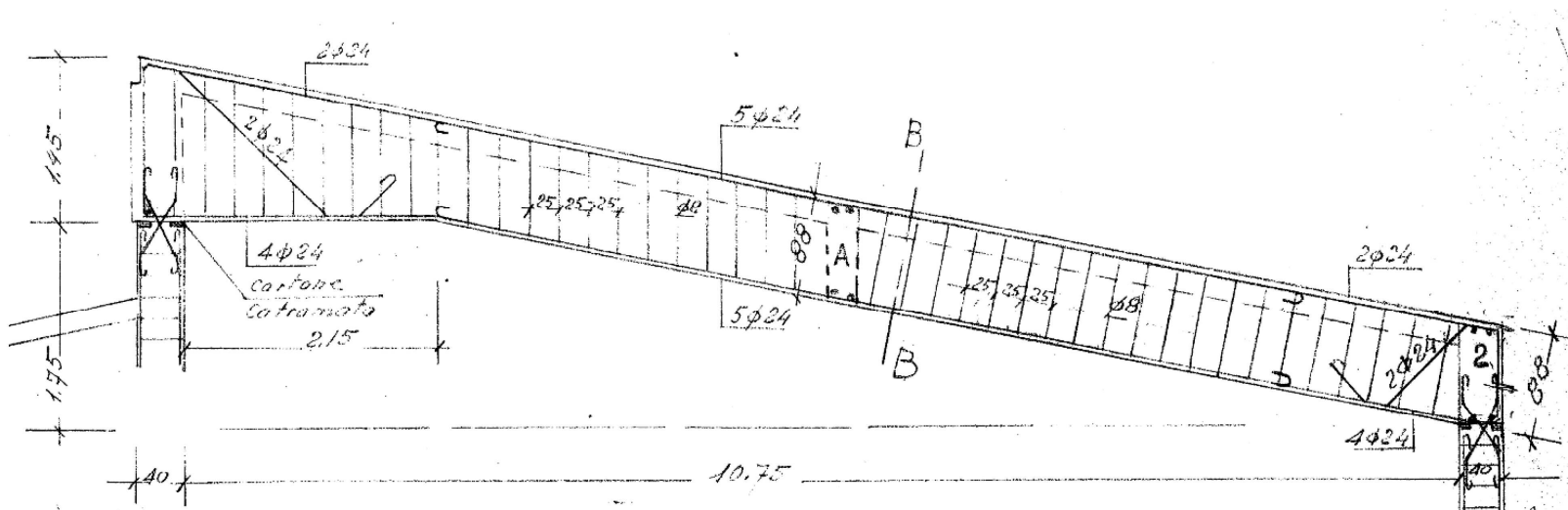
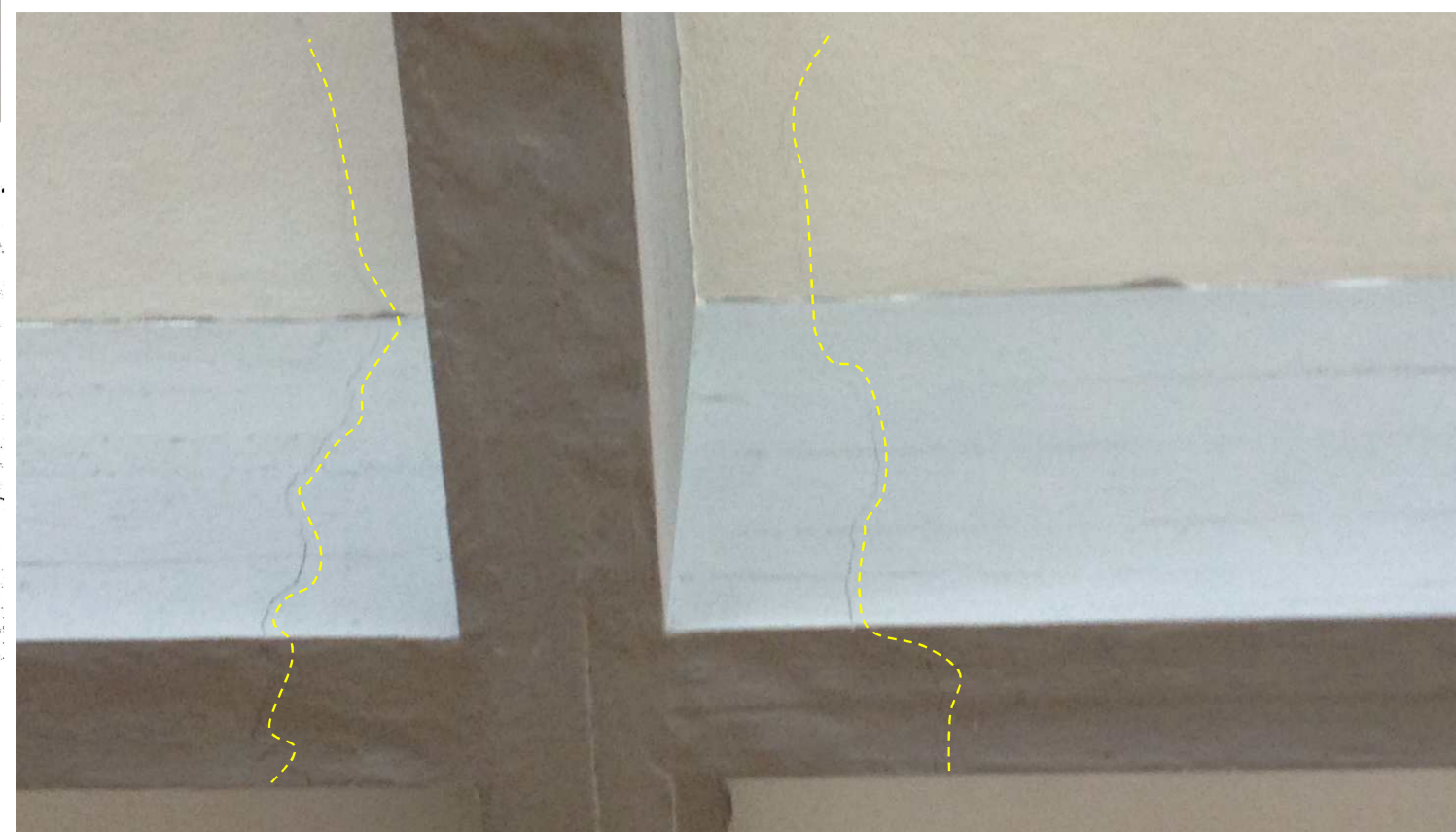
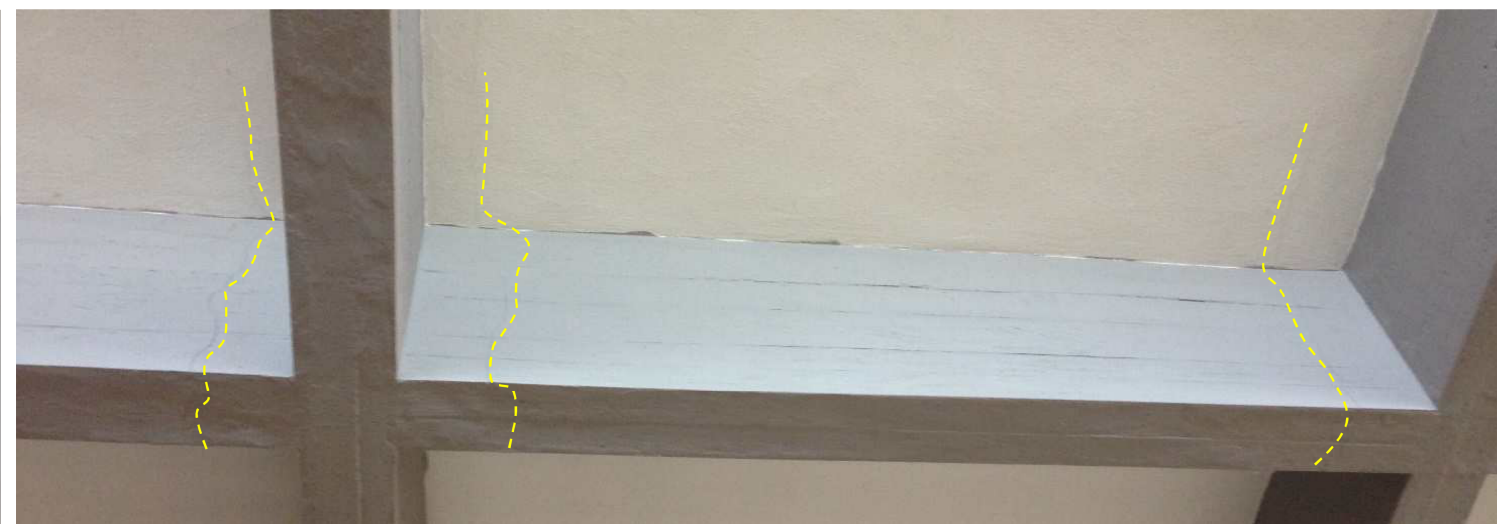
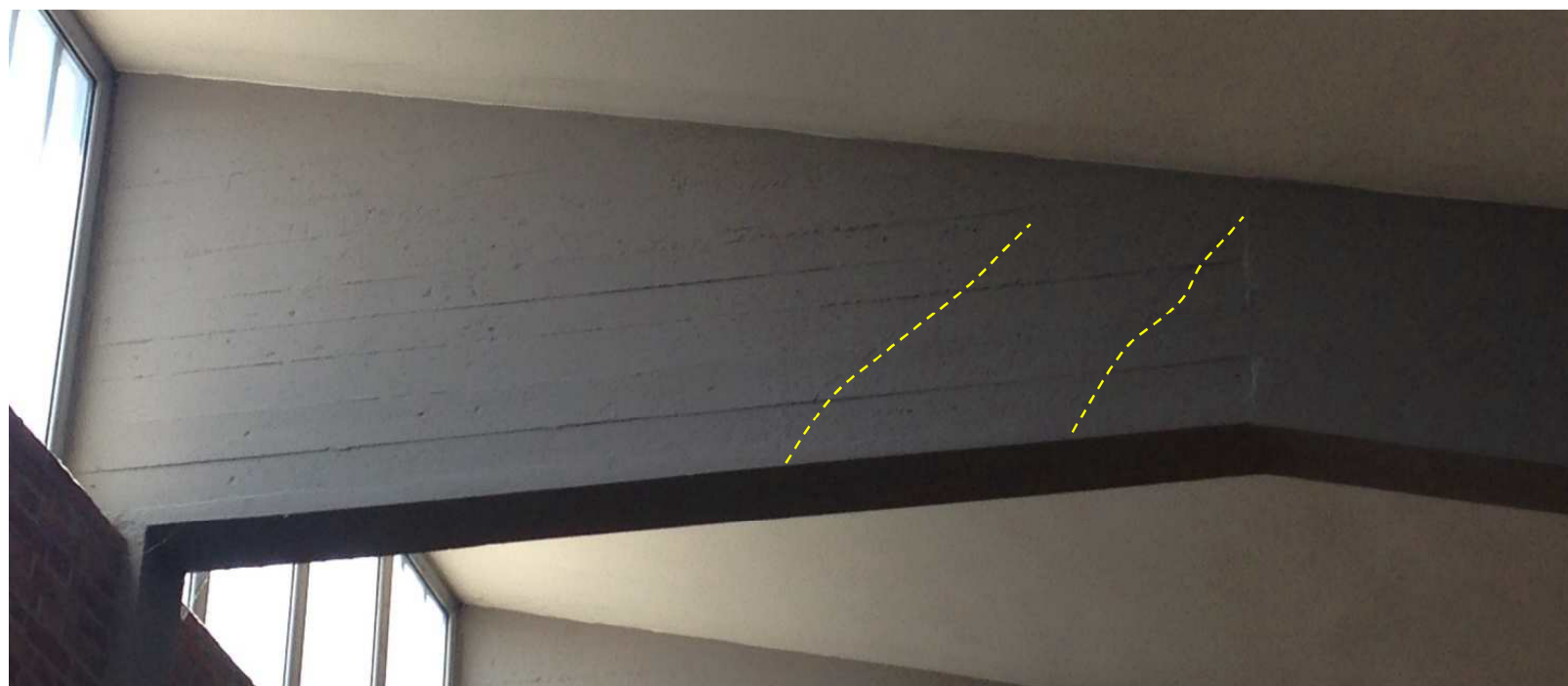




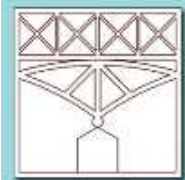
STUDIO DI INGEGNERIA DELLE STRUTTURE

di Andrea Cecconi, Sandro Pustorino, Fabrizio Ristori & Associati

Indagini condotte in situ sull'edificio esistente – criticità



Significativo quadro fessurativo delle strutture in c.a.



Saggi sui materiali

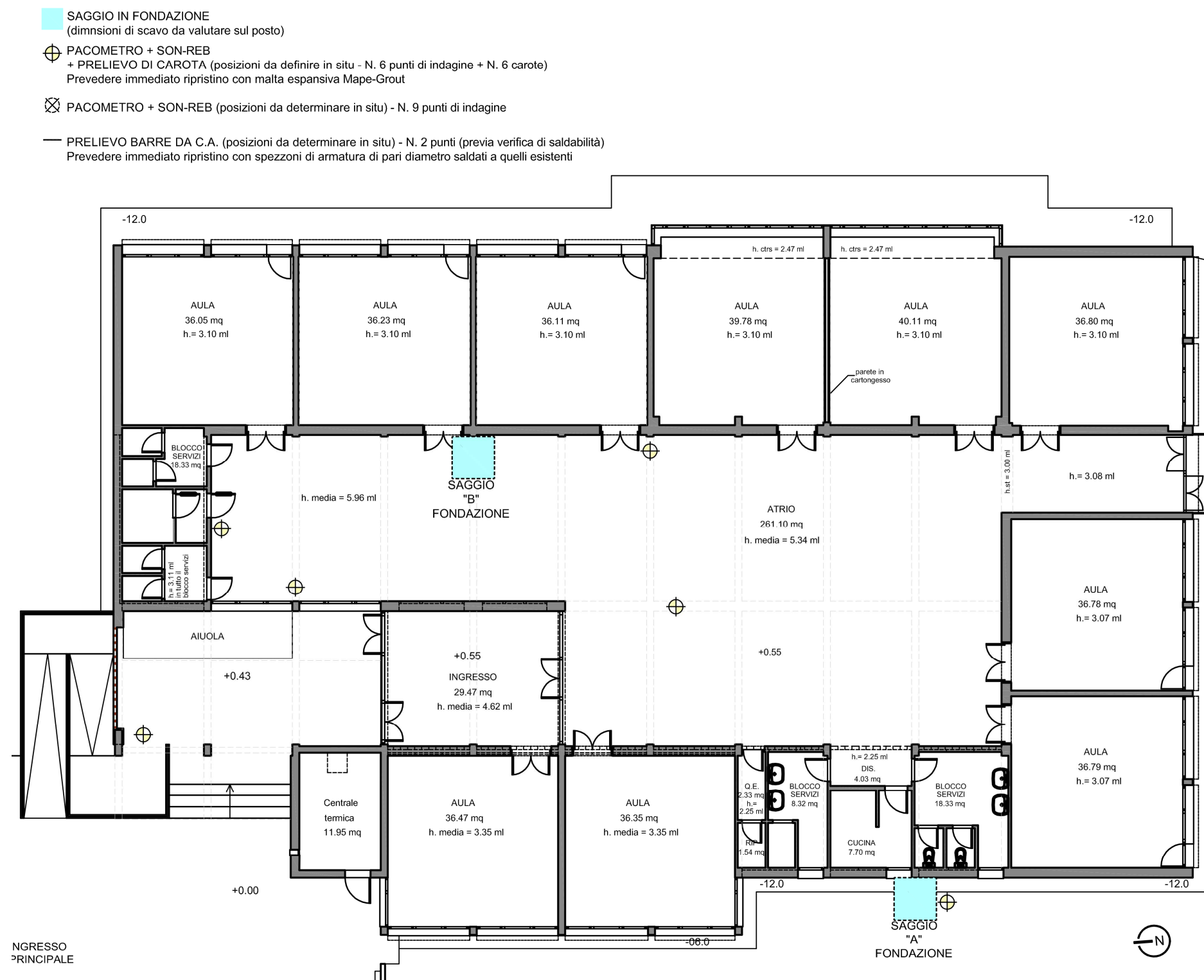
Prove parzialmente distruttive

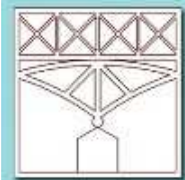
- Estrazione di n. **6 carote** di calcestruzzo
- Estrazione di n. **2 spezzoni** di barre di armatura

Prove Non Distruttive

- 23 prove con metodo combinato SONREB

Le prove sono state condotte su nostra indicazione da un Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture





Materiali

Dalle specifiche di progetto...

Caratteristiche dei materiali indicate nei documenti del progetto originario (1960):

- Calcestruzzo: 300 kg/m³ di cemento realizzato in opera per fondazioni, pilastri e travi (resistenza ~ **250 kg/cm²**)
- Acciaio in barre tonde, senza ulteriori specificazioni (probabilmente Aq 42)

Caratteristiche dei materiali indicate nei documenti del progetto di ampliamento (1976):

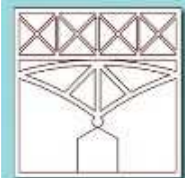
- Calcestruzzo: classe di resistenza > **350 kg/cm²**
- Acciaio FeB44k

Nella realtà...

Le barre di armatura hanno mostrato caratteristiche meccaniche comparabili ad un acciaio Aq 42. **Le carote estratte dalle travi principali e secondarie hanno resistenza media di 105 kg/cm², con minimi (ben due uguali) pari a 84 kg/cm²** rilevati sulle travi di copertura principali e secondarie. **Le carote estratte dai pilastri hanno resistenza media di 138 kg/cm²**



MAGRONE
100÷150 kg/cm²

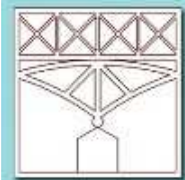


Esempi di rottura di carote di calcestruzzo con resistenza «normale» per uso strutturale



Carote estratte dalle strutture della Scuola Fucini dopo la prova di compressione

Secondo le vigenti Norme Tecniche il Calcestruzzo per uso strutturale deve avere una resistenza di almeno 200 kg/cm²



Determinazione della profondità di carbonatazione (test con Fenolftaleina)



Esempio tipico di prova con Fenolftaleina (Carota non proveniente dalla Scuola Fucini)

- **Degrado del materiale**
- **Maggiore aggressione delle barre = corrosione**

DATI FORNITI DAL COMMITTENTE

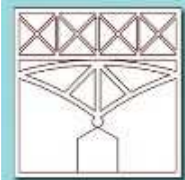
DATI DI LABORATORIO

Struttura di prelievo	Sigla	Dimensioni mm			Area mm ²	Massa Vol. kg /m ³	T.R.	R.	Rottura N/mm ²	Profondità di carbonatazione cm
		∅	H	H/∅						
PLINTO fili A-6 (parte superiore)	C1 A	78	80	1.03	4778	2335	1	A	13.4	1
PLINTO fili A-6 (parte inferiore)	C1 B	78	82	1.05	4778	2379	1	A	30.9	
PILASTRO fili L-5 (parte esterna)	C2 A	78	79	1.01	4778	2280	1	A	15.6	7
PILASTRO fili L-5 (parte interna)	C2 B	78	71	0.91	4778	2158	1	A	12.4	
TRAVE PRINCIPALE 4 filo I in prossimità filo 3	C3	78	79	1.01	4778	2224	1	A	8.4	tutto il campione
TRAVE PRINCIPALE 9 filo D in prossimità filo 3	C4	78	83	1.06	4778	2328	1	A	12.3	10
TRAVE SECONDARIA filo 5 tra fili G e H	C5	78	81	1.04	4778	2248	1	A	12.4	tutto il campione
TRAVE SECONDARIA filo 7 tra fili C e D	C6	78	76	0.97	4778	2003	1	A	8.5	tutto il campione

NORME Compressione UNI EN 12504-1/2002 e Rettifica UNI EN 12390-3/2003

Estratto dal certificato di prova sulle carote Scuola Fucini

Profondità di carbonatazione eccezionalmente elevate



Quindi...

Edificio Originario (1960-61)

- Calcestruzzo: **76 kg/cm²** per le strutture originarie (comprende il minimo coefficiente di sicurezza di normativa)
- Acciaio Aq 42: $f_{yk} = 2'300 \text{ kg/cm}^2$; $f_{tk} = 4'200 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{adm} = 1'400 \text{ kg/cm}^2$

Ampliamento (1976)

- Calcestruzzo: **350 kg/cm²**
- Acciaio FeB44K: $f_{yk} = 4'300 \text{ kg/cm}^2$; $f_{tk} = 5'400 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{adm} = 2'600 \text{ kg/cm}^2$

Calcestruzzo modestissimo

+

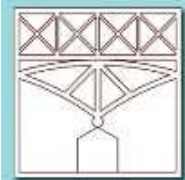
Difetti di realizzazione



Carote Calcestruzzo Scuola Fucini



Pilastro Scuola Fucini zona ingresso



Modello numerico per il calcolo e verifica della struttura nella sua condizione attuale

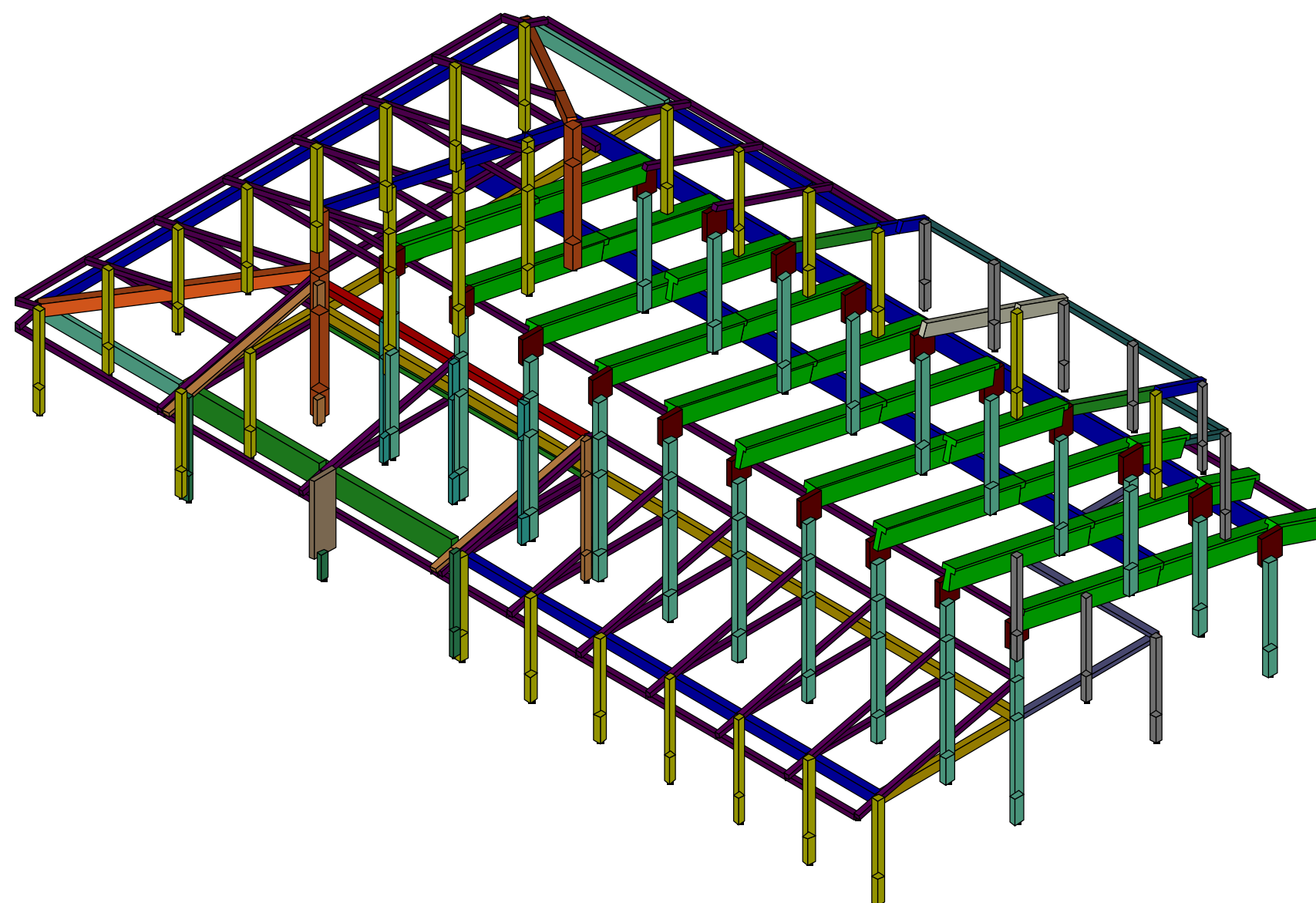
- Carichi permanenti (peso proprio delle strutture e delle finiture)
- Carichi variabili (alunni, mobilio, neve, vento ecc.)
- Azioni sismiche così come previste oggi per il sito

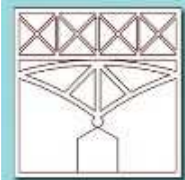


Verifiche delle strutture



Sollecitazione [Ed] / Resistenza [Rd] < 1,0





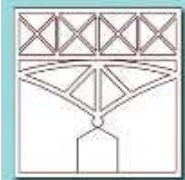
PILASTRI

Sollecitazione [Ed] / Resistenza [Rd] < 1,0

Pilastro	Max Ed/Rd pressoflessione deviata	Max Ed/Rd Taglio
Pilastro 25x30	5.49	0.93
Pilastro 25x40	3.52	1.67
Pilastro 40x40	3.93	1.29
Pilastro 25x25 (compresi pilastri Ampliamento Lato Ovest)	2.05	0.87
Pilastro 20x30 Ampliamento Lato Est (1-3)	1.32	0.35
Pilastro 20x100 Ampliamento Lato Est (2)	0.55	0.15
Pilastro 20x30 Ampliamento Lato Est (4-8)	1.69	0.21
Pilastro 20x30 Ampliamento Lato Est (5-6-7)	1.13	0.17

Considerando le Azioni Sismiche



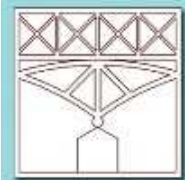


PILASTRI

Sollecitazione [Ed] / Resistenza [Rd] < 1,0

Pilastro	Max Ed/Rd pressoflessione deviata	Max Ed/Rd Taglio
Pilastro 25x30	0.77	0.29
Pilastro 25x40	0.66	0.55
Pilastro 40x40	1.14	0.38
Pilastro 25x25 (compresi pilastri Ampliamento Lato Ovest)	0.61	0.31
Pilastro 20x30 Ampliamento Lato Est (1-3)	0.23	0.17
Pilastro 20x100 Ampliamento Lato Est (2)	0.05	0.02
Pilastro 20x30 Ampliamento Lato Est (4-8)	0.21	0.05
Pilastro 20x30 Ampliamento Lato Est (5-6-7)	0.13	0.02

Trascurando le Azioni Sismiche



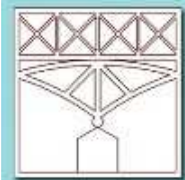
TRAVI

Sollecitazione [Ed] / Resistenza [Rd] < 1,0

Trave	Max Ed/Rd pressoflessione deviata	Max Ed/Rd Taglio
Trave 25x40 (interna)	3.74	2.39
Trave 20x86 tipo "2"	3.78	0.80
Trave di copertura a T – Sezione appoggio con ferri piegati	-	1.17
Trave di copertura a T – Sezione corrente senza ferri piegati	1.10	1.41
Trave 30x40 (perimetrale)	2.53	1.69
Trave 20x60 tipo "5" (perimetrale)	1.01	1.20
Trave 30x52 (puntone del tetto)	0.63	1.88
Trave 20x90 tipo "A"	3.89	0.68
Trave 30x18 tipo "8"	4.00	1.05
Trave 20x40 Ampliamento Ovest	2.65	0.82
Trave 20x50 Ampliamento Ovest	1.39	0.42
Trave 25x40 Ampliamento Ovest	1.74	0.68
Cordolo 25x20 Ampliamento Ovest	1.82	0.33
Cordolo 30x15 Ampliamento Est	0.30	0.15
Cordolo 30x20 Ampliamento Est	0.76	0.15
Cordolo 30x30 Ampliamento Est	0.68	0.13
Trave 30x95 Ampliamento Est	0.41	0.94

Considerando le Azioni Sismiche



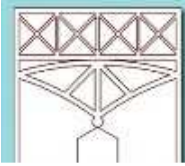


TRAVI

Sollecitazione [Ed] / Resistenza [Rd] < 1,0

Trave	Max Ed/Rd pressoflessione deviata	Max Ed/Rd Taglio
Trave 25x40 (interna)	1.74	1.33
Trave 20x86 tipo "2"	1.22	0.35
Trave di copertura a T – Sezione appoggio con ferri piegati	-	1.17 (*)
Trave di copertura a T – Sezione corrente senza ferri piegati	1.10 (*)	1.41 (*)
Trave 30x40 (perimetrale)	1.51	1.59
Trave 20x60 tipo "5" (perimetrale)	0.60	1.20
Trave 30x52 (puntone del tetto)	0.56	1.88
Trave 20x90 tipo "A"	2.46	0.68
Trave 30x18 tipo "8"	1.66	0.56
Trave 20x40 Ampliamento Ovest	0.25	0.12
Trave 20x50 Ampliamento Ovest	1.39	0.42
Trave 25x40 Ampliamento Ovest	1.74	0.68
Cordolo 25x20 Ampliamento Ovest	1.30	0.29
Cordolo 30x15 Ampliamento Est	0.10	0.05
Cordolo 30x20 Ampliamento Est	0.33	0.13
Cordolo 30x30 Ampliamento Est	0.42	0.13
Trave 30x95 Ampliamento Est	0.41	0.94

Trascurando le Azioni Sismiche



Conclusioni (estratto) della Relazione «INDAGINI ESPLORATIVE E VALUTAZIONI PRELIMINARI SULLA SICUREZZA DELL'EDIFICIO SCOLASTICO "R. FUCINI", PROPEDEUTICHE AD UNA EVENTUALE SUCCESSIVA ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA»

..... Tali criticità sono così riassumibili:

- le travi principali e quelle secondarie poste a copertura del grande atrio centrale, che in maniera diffusa non risultano verificate per i soli carichi gravitazionali e climatici, presentano lesioni in più punti, riconducibili a sollecitazioni di carattere tagliante e/o flettente; tali lesioni trovano giustificazione nell'analisi dello stato di sollecitazione delle travi stesse, analizzato con la modellazione FEM e si rendono necessari interventi di consolidamento specifici, indipendenti dal comportamento sismico della struttura;
- il solaio del piano terreno necessita di un approfondito rilievo per mappare il degrado dei travetti che lo compongono, auspicabilmente abbinata ad una estesa serie di prove di carico, così da poter ottimizzare gli eventuali interventi necessari per ripristinarne la piena funzionalità (consolidamento o sostituzione);
- il solaio di copertura necessita di una approfondita indagine per verificarne le effettive capacità portanti (anche in relazione all'elevato carico di esercizio, 150 Kg/m², indipendentemente dal carico neve del sito, che il DM 18.12.1975 "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica ..." prescrive per le coperture impraticabili);
- i solai di controsoffitto, elementi di massa significativa che insistono sulle aule poste sui fronti est e sud, sono elementi di vulnerabilità in caso di sismi anche di lieve intensità; la natura di tali solai, con tavole appoggiate in intradosso a travetti di laterizio armato, caratterizzati da un comportamento di tipo "fragile", ne suggerisce la rimozione.

Tutto ciò premesso, in considerazione della rilevanza della destinazione d'uso dell'edificio e delle indicazioni normative (vedasi, ad esempio, il punto C8.3 della Circolare Esplicativa n.617 del 02/02/2009, di cui nel seguito si riporta un estratto significativo), **risulta "necessario ed improcrastinabile" eliminare le criticità menzionate in questo e nei paragrafi precedenti, relative ai carichi "controllati dall'uomo" (vale a dire i carichi permanenti e le altre azioni di servizio), mentre per l'eliminazione delle criticità imputabili alle altre azioni di natura non controllabile dall'uomo, quali il sisma o le azioni di natura climatica, la cui necessità non è in discussione, visti gli esiti delle verifiche condotte, è comunque necessario adottare una adeguata programmazione degli interventi, prima di procedere ad ogni eventuale intervento di riqualificazione architettonico-funzionale, tenendo in adeguata considerazione anche la più radicale ipotesi di sostituzione dell'organismo strutturale con uno progettato secondo moderni criteri antisismici.**

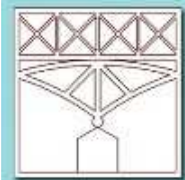
Estratto dalla Circolare Esplicativa n.617 del 02/02/2009 del Ministero delle Infrastrutture.

C8.3 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

"..... Gli esiti delle verifiche dovranno permettere di stabilire quali provvedimenti adottare affinché l'uso della struttura possa essere conforme ai criteri di sicurezza delle NTC. Le alternative sono sintetizzabili nella continuazione dell'uso attuale, nella modifica della destinazione d'uso o nell'adozione di opportune cautele e, infine, nella necessità di effettuare un intervento di aumento o ripristino della capacità portante, che può ricadere nella fattispecie del miglioramento o dell'adeguamento.

Per le opere pubbliche strategiche con finalità di protezione civile o suscettibili di conseguenze rilevanti in caso di collasso, date le possibili implicazioni economiche e sociali degli esiti delle verifiche, è opportuno che le stesse siano anche esaminate da revisori non intervenuti nella valutazione.

È evidente che i provvedimenti detti sono necessari e improcrastinabili nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio; più complessa è la situazione che si determina nel momento in cui si manifesti l'inadeguatezza di un'opera rispetto alle azioni ambientali, non controllabili dall'uomo e soggette ad ampia variabilità nel tempo ed incertezza nella loro determinazione. Per le problematiche connesse, non si può pensare di imporre l'obbligatorietà dell'intervento o del cambiamento di destinazione d'uso o, addirittura, la messa fuori servizio dell'opera, non appena se ne riscontri l'inadeguatezza. Le decisioni da adottare dovranno necessariamente essere calibrate sulle singole situazioni (in relazione alla gravità dell'inadeguatezza, alle conseguenze, alle disponibilità economiche e alle implicazioni in termini di pubblica incolumità). Saranno i proprietari o i gestori delle singole opere, siano essi enti pubblici o privati o singoli cittadini, a definire il provvedimento più idoneo, eventualmente individuando uno o più livelli delle azioni, commisurati alla vita nominale restante e alla classe d'uso, rispetto ai quali si rende necessario effettuare l'intervento di incremento della sicurezza entro un tempo prestabilito.".



17.09.2017 «Analisi Costi / Benefici»

Stima dei costi di intervento per adeguamento funzionale e sismico/statico

	€/m ²	m ²	
Costo parametrico opere edili	400.00 €	900	360'000.00 €
Costo parametrico opere impiantistiche	250.00 €	900	225'000.00 €
Consolidamento fondazionale			41'000.00 €
Demolizione e ricostruzione solai (o consolidamento) + demolizione e ricostruzione soffitti			129'000.00 €
Consolidamento travi in c.a.			52'000.00 €
Consolidamento pilastri in c.a.			27'000.00 €
Controventamento in acciaio del piano dell'edificio			77'000.00 €
Setti di controventamento			8'000.00 €
Interferenze edili per il consolidamento strutturale	35.00 €	900	31'500.00 €
		Totale	951'000.00 €
		Incidenza superficiale	1'100.00 €

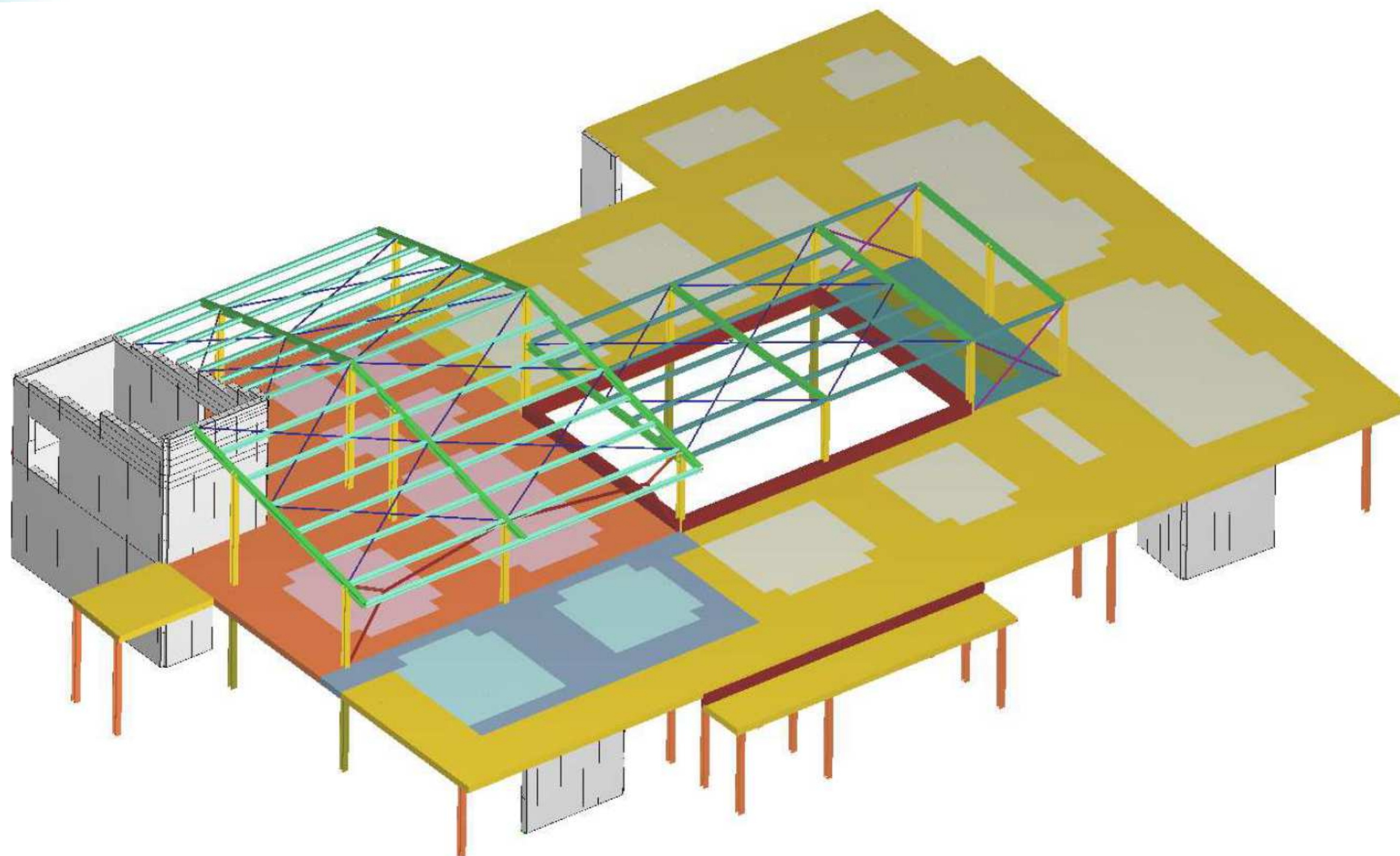
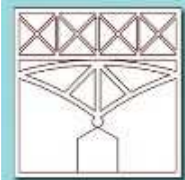
Costi di intervento per demolizione e ricostruzione

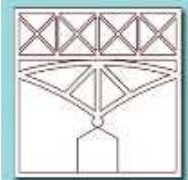
	€/m ²	m ²	
Demolizione			60'000.00 €
Costo parametrico opere edili	480.00 €	900	432'000.00 €
Costo parametrico opere impiantistiche	360.00 €	900	324'000.00 €
Costo parametrico Strutture	360.00 €	900	324'000.00 €
		Totale	1'140'000.00 €
		Incidenza superficiale	1'270.00 €
		Delta	189'000.00 €

- Il consolidamento pone problemi in ordine alle inevitabili **interferenze** causate dall'inserimento delle nuove strutture controventanti.
- La **qualità del calcestruzzo delle strutture esistenti è molto scadente** ed è presumibile che le opere di consolidamento delle membrature strutturali saranno necessariamente diffuse ed invasive e potranno, quindi, incidere sulla fruibilità degli spazi interni alla scuola (fasciatura dei pilastri ecc.).
- La demolizione e la ricostruzione offrono certamente **maggiori garanzie in termini di affidabilità strutturale globale** (sicurezza strutturale).
- Anche in ordine alla **durabilità** non vi sono dubbi sulla convenienza della demolizione e ricostruzione. Lo stato del calcestruzzo è fortemente degradato (carbonatazione) e, nel in caso di consolidamento, non si potrebbe porre alcun rimedio a questa condizione.
- Da ultimo si evidenzia come le **due soluzioni**, raffrontate in termini economici, siano **sostanzialmente equivalenti**, potendosi stimare in questa fase una differenza tra le due opzioni inferiore a 200'000 €.

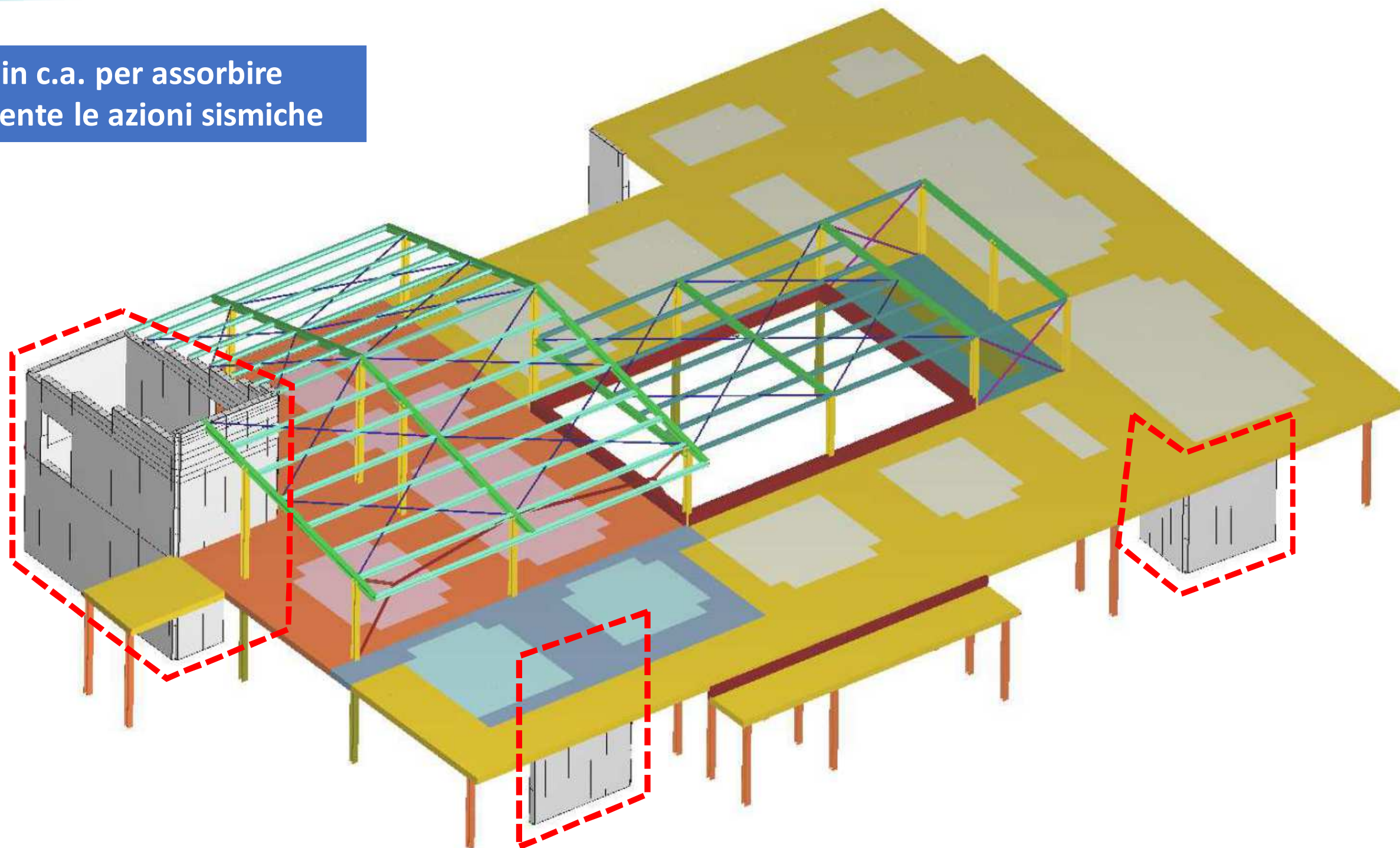
- Il costo finale delle strutture, a seguito del successivo Progetto Esecutivo (2018), ha poi confermato i valori economici stimati nel Settembre 2017. Il costo complessivo delle strutture è risultato essere pari a circa 545'000 €, essendo cresciuta del 57% la superficie del costruito, determinando una incidenza superficiale pari a 385 €/m².

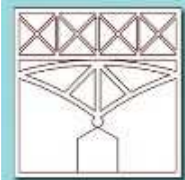
Tutte le considerazioni di cui sopra hanno condotto a ritenere l'intervento di demolizione e ricostruzione tecnicamente ed economicamente più conveniente rispetto al consolidamento dell'esistente.





Setti in c.a. per assorbire
interamente le azioni sismiche

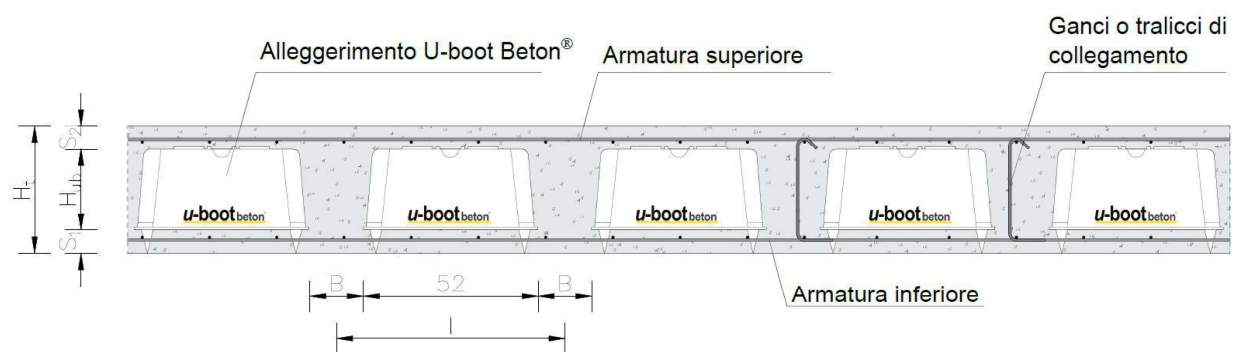




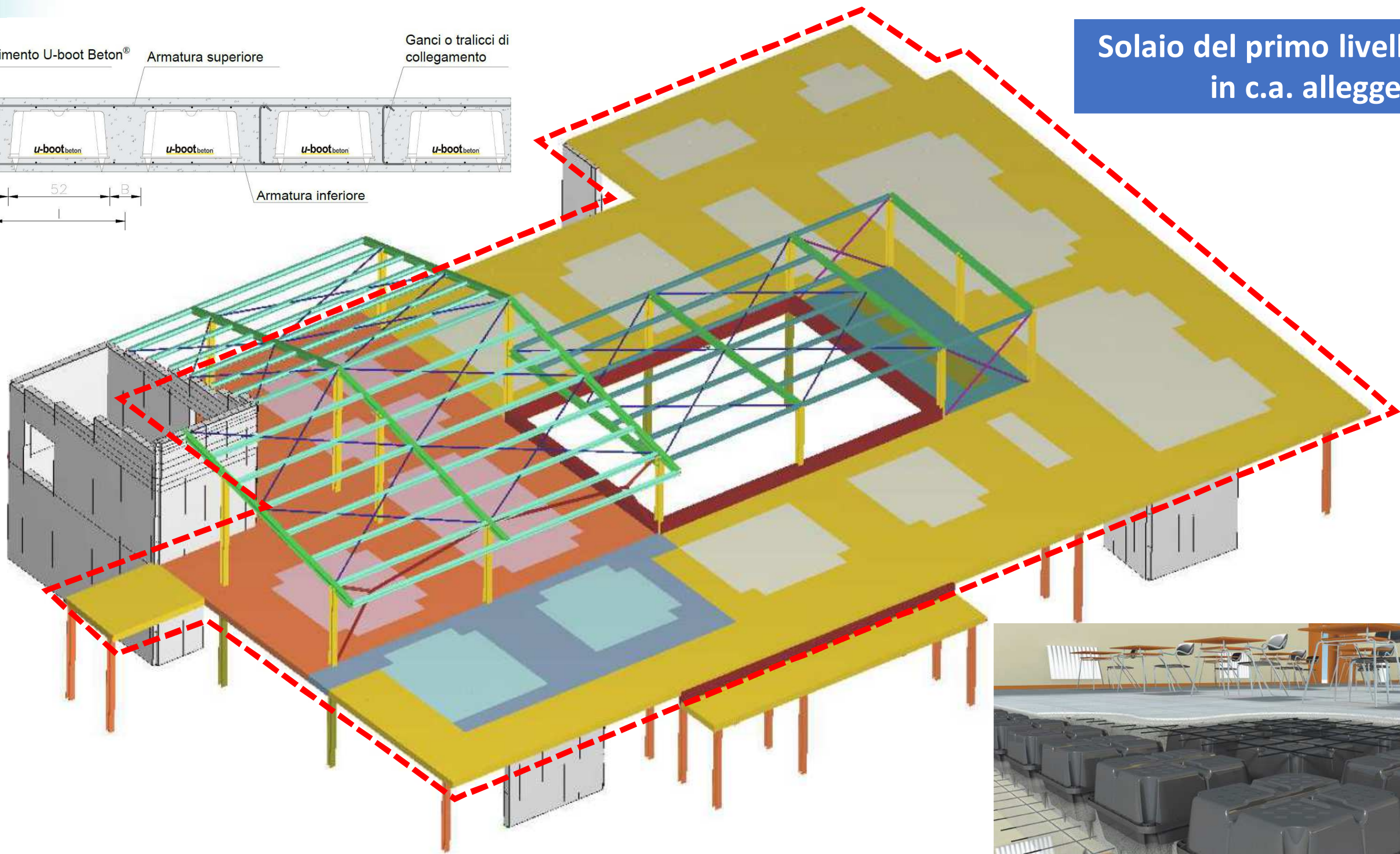
STUDIO DI INGEGNERIA DELLE STRUTTURE

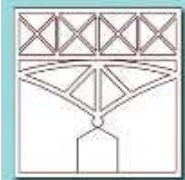
di Andrea Cecconi, Sandro Pustorino, Fabrizio Ristori & Associati

Progetto del nuovo edificio



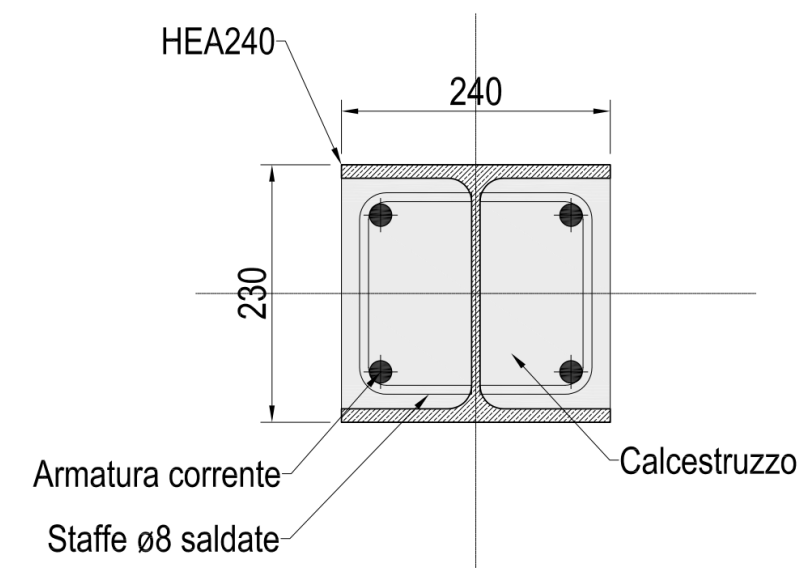
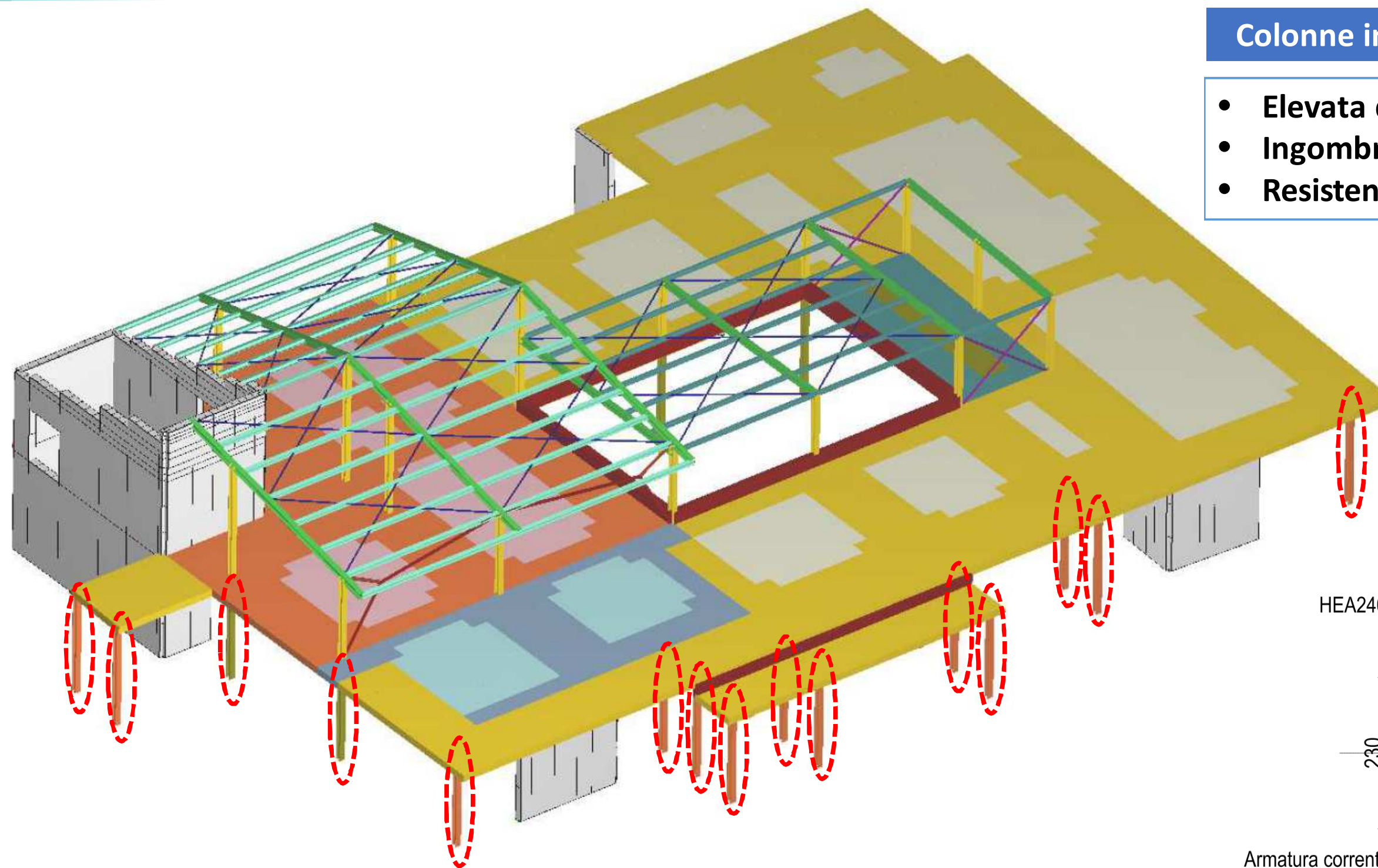
Solaio del primo livello in soletta in c.a. alleggerita

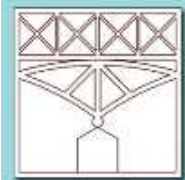




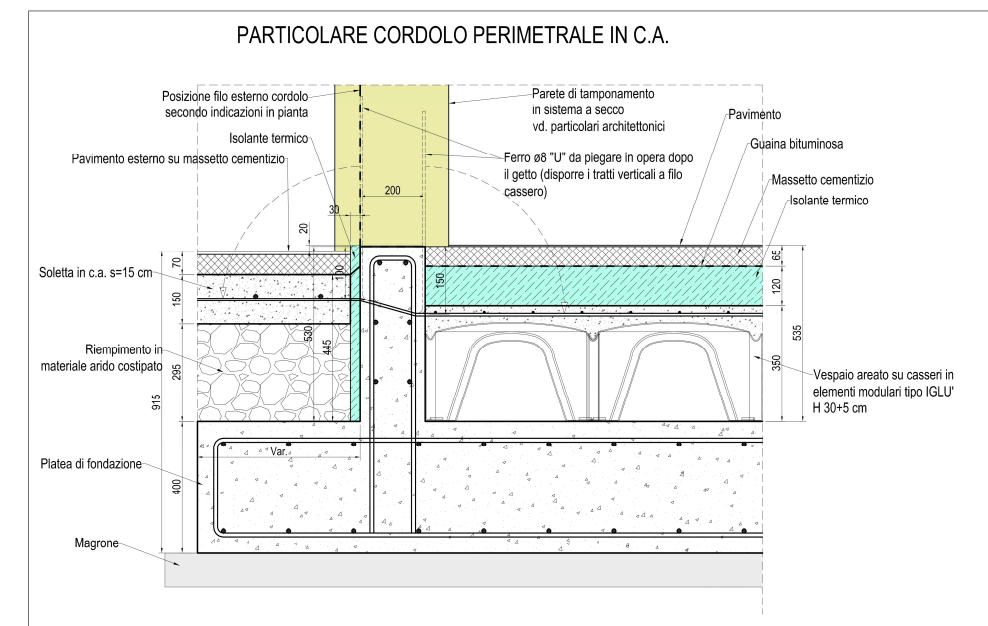
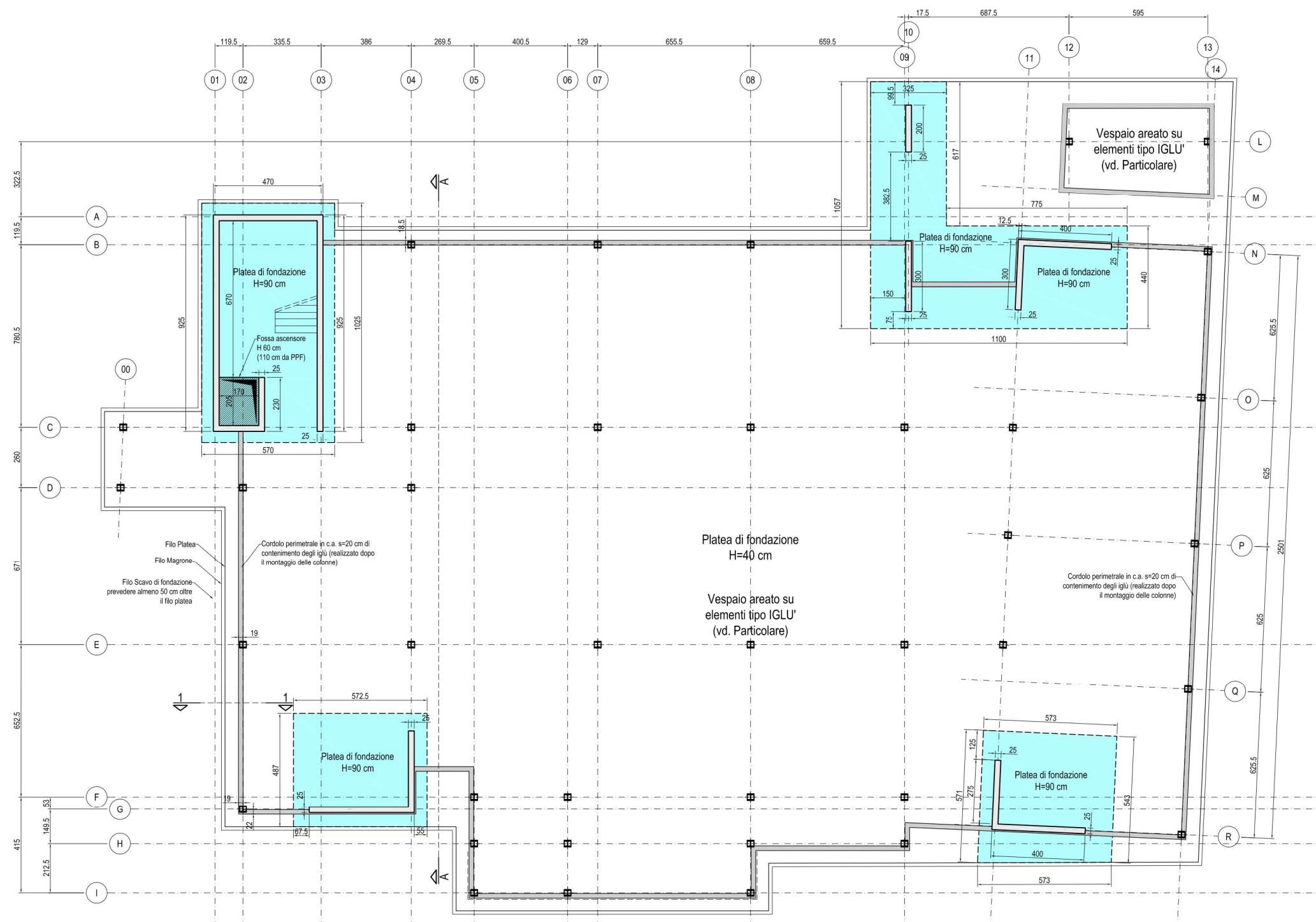
Colonne in acciaio - calcestruzzo

- **Elevata durabilità**
- **Ingombro ridotto (25x25 cm)**
- **Resistenza al fuoco**



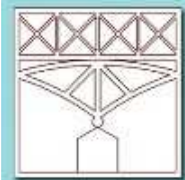


CARPENTERIA DELLE FONDAZIONI

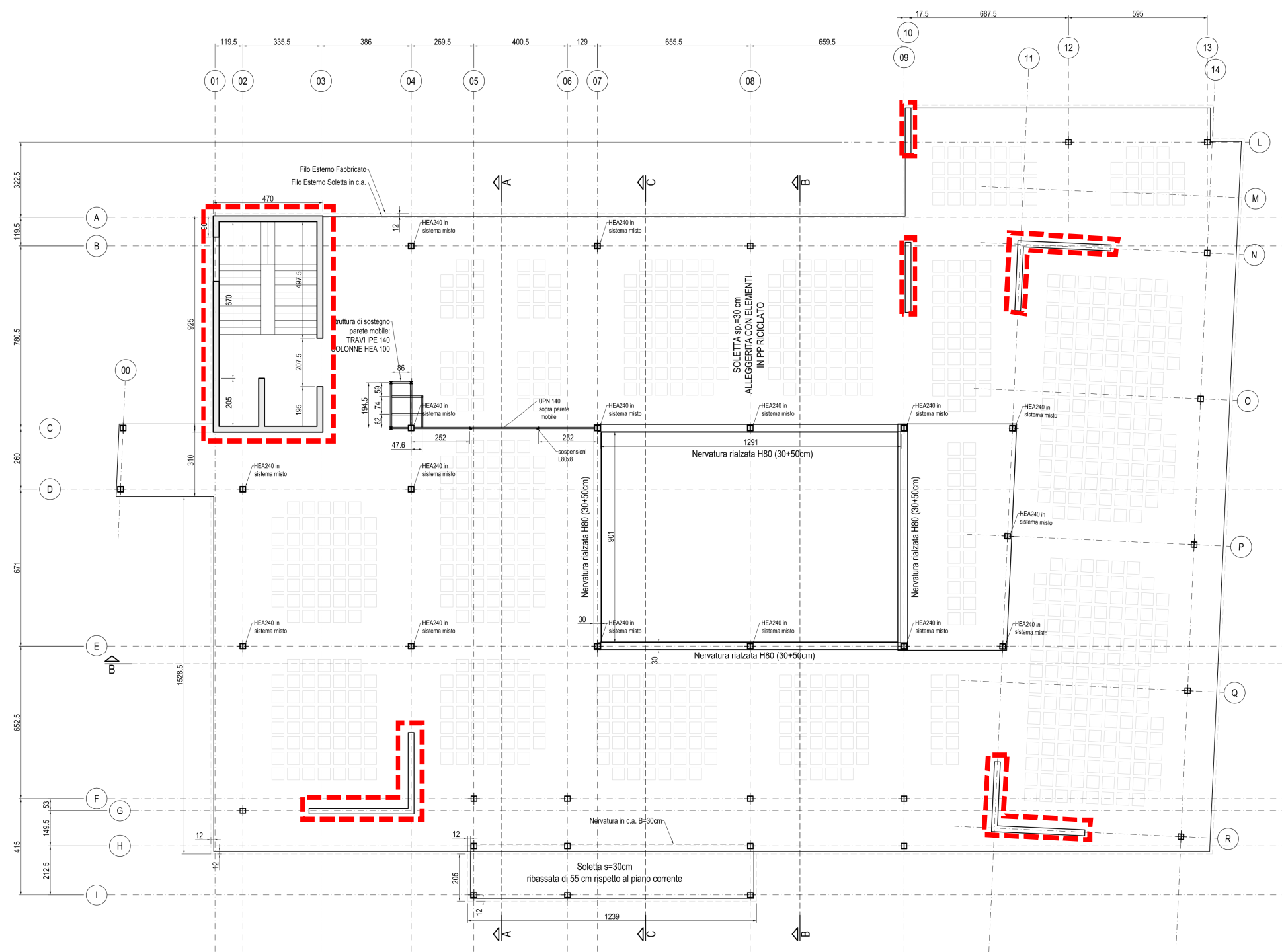


Platea di fondazione

- Grande rigidezza
- Ridotti cedimenti
- Con vespaio areato efficace isolamento termico e difesa dall'umidità

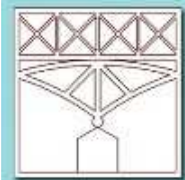


CARPENTERIA DEL PIANO PRIMO



Soletta in c.a. alleggerita

- Elevata rigidezza
- Grandi luci (fino a 8 m) senza pilastri intermedi
- Efficienza sismica – collaborazione con i setti in c.a.



Prestazioni strutturali

- Livello di sicurezza come prescritto dalle Norme Tecniche attuali
- Edificio antisismico
- Elevata durabilità = ridotti costi di manutenzione futura
- Resistenza al fuoco delle strutture
- Ottimizzazione dello sfruttamento dei materiali utilizzati

